



Technische  
Universität  
Braunschweig

**iBMB** **MPA**  
TU BRAUNSCHWEIG

# **Bemessung von bewehrten Betonbauteilen bei Teilflächenbelastung unter Berücksichtigung der Rissbildung**

**Marco Wichers**

**Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB)**  
Materialprüfanstalt für das Bauwesen (MPA) Braunschweig

**Heft 219**

**Braunschweig**

**2013**

**ISBN 978-3-89288-204-6**

**ISSN 1439-3875**

Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften  
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig  
zur Erlangung des Grades eines Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte Dissertation

|                  |  |
|------------------|--|
| Eingereicht am   | 29. Juni 2012  |
| Disputation am   | 25. Januar 2013  |
| Berichterstatter | Prof. Dr.-Ing. Martin Empelmann<br>Prof. Dr.-Ing. Dieter Dinkler |

Diese Dissertation ist über die Internetseite der Universitätsbibliothek  
Braunschweig online zugänglich.

#### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen  
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

#### **Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie;  
detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

#### **Information bibliographique de la Deutsche Nationalbibliothek**

La Deutsche Nationalbibliothek a répertorié cette publication dans la Deutsche  
Nationalbibliografie; les données bibliographiques détaillées peuvent être consultées sur  
Internet à l'adresse <http://dnb.d-nb.de>.





## **Kurzfassung**

### **Bemessung von bewehrten Betonbauteilen bei Teilflächenbelastung unter Berücksichtigung der Rissbildung**

Zur Bemessung und konstruktiven Auslegung von teilflächenbelasteten Betonbauteilen stehen in der Fachliteratur unterschiedliche Modellansätze und Empfehlungen zur Verfügung. Diese basieren überwiegend auf Ergebnissen von Untersuchungen an ungerissenen bzw. unbewehrten Körpern.

Eine detaillierte Untersuchung teilflächenbelasteter Stahlbetonbauteile erfordert die Betrachtung im gerissenen Zustand. Die angestellten Untersuchungen konzentrieren sich daher auf die Einflüsse der Rissbildung und konstruktiven Durchbildung auf die Spaltzugbeanspruchungen sowie die erreichbaren Grenztragfähigkeiten. Im Rahmen der Analysen werden ebene und räumliche Fälle der Teilflächenbelastung von Bauteilen aus bewehrtem Normalbeton betrachtet.

Hierzu werden experimentelle Untersuchungsergebnisse aus der Fachliteratur in einer Versuchsdatenbank zusammengefasst und analysiert. Darauf aufbauend erfolgen vertiefende Untersuchungen zur Erstrissbildung in teilflächenbelasteten Bauteilen, durch die eine Mindest-Spaltzugbewehrung abgeleitet wird.

Zur Analyse der Auswirkungen der Spaltrissbildung auf die Spaltzugbeanspruchungen in gerissenen Bauteilen werden numerische Berechnungen durchgeführt. Hierzu kommen Finite-Elemente-Modelle zur Anwendung, mit denen verschiedene Steifigkeitszustände im Kräfteinleitungsbereich abgebildet werden. Die Ergebnisse ermöglichen die Ableitung von Ansätzen zur Bestimmung der steifigkeitsbezogenen Spaltzugkraft.

Zur Bewertung verschiedener konstruktiver Durchbildungen werden nichtlineare numerische Berechnungen genutzt. Nach der Zusammenstellung der Grundlagen und der Kalibrierung der Modelle erfolgt eine Parameterstudie an Scheiben und Prismen unterschiedlicher Ausbildung. Die Berechnungsergebnisse münden in einen Vorschlag für eine verbesserte Bewehrungsanordnung im Kräfteinleitungsbereich.

Abschließend werden die Ergebnisse der Untersuchungen in Vorschlägen zur Bemessung und konstruktiven Durchbildung zusammengefasst.



## **Abstract**

### **Design of reinforced concrete structural elements under concentrated loading with consideration of cracking**

Different model approaches and recommendations for the design and reinforcement detailing of concrete structural elements under concentrated loadings are given in technical literature. These are mainly based on results of investigations of uncracked respectively unreinforced elements.

A detailed investigation of reinforced concrete structural elements under concentrated loadings requires the consideration of cracked conditions. Thus the carried-out investigation concentrates on the influence of cracking and reinforcement detailing on the splitting stresses and the obtainable load-bearing capacity. Within the analysis plane and spatial cases of concentrated loadings for structural members made of reinforced normal strength concrete are considered.

For this purpose results of experimental testing from technical literature are summarized in a database and analyzed. After that detailed investigations concerning the first crack state in structural elements under concentrated loadings are carried out and an approach for the minimum splitting reinforcement is derived.

For the analysis of the influence of split cracking on the splitting stresses in cracked structural members numerical calculations are used. Herein finite-element models are applied which consider different stiffness states in the force transmission zone. With the results approaches for the determination of the stiffness depending splitting stresses are derived.

For the evaluation of different reinforcement detailings nonlinear numerical calculations are applied. After summarization of basics and calibration of model parameters studies on plates and prisms with different reinforcement detailings are carried out. The results lead to a proposal for an improved reinforcement arrangement in the force transmission zone.

Concluding, the results of the investigation are combined in proposals for design calculations and reinforcement detailings.



---

# Inhaltsverzeichnis

|   | Seite     |
|---|-----------|
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                                       | <b>I</b>  |
| <b>Vorwort</b>  | <b>V</b>  |
| <b>Bezeichnungen</b>  | <b>VI</b> |
| <b>1 Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Motivation und Ziel der Arbeit                              | 1         |
| 1.2 Methodik  | 2         |
| 1.3 Gliederung  | 2         |
| <b>2 Überblick zum Stand der Forschung</b>                      | <b>4</b>  |
| 2.1 Einführung  | 4         |
| 2.2 Grundlagen zum Tragverhalten teilflächenbelasteter Körper   | 6         |
| 2.2.1 Spannungszustände im Krafteinleitungsbereich              | 6         |
| 2.2.2 Spannungszustände im Bereich der Lastfläche               | 6         |
| 2.2.3 Spalt- und Randzugspannungen                              | 8         |
| 2.3 Verlauf und Größe der Spaltzugspannungen und Spaltzugkräfte | 9         |
| 2.3.1 Grundlagen  | 9         |
| 2.3.2 Ebener Fall der Teilflächenbelastung                      | 9         |
| 2.3.3 Räumlicher Fall der Teilflächenbelastung                  | 17        |
| 2.4 Modelle zur Bestimmung der Grenztragfähigkeit               | 22        |
| 2.4.1 Grundlagen  | 22        |
| 2.4.2 Empirische Modelle  | 23        |
| 2.4.3 Stabwerkmodelle   | 28        |
| 2.4.4 Modelle mit Versagen bei Erstrissbildung                  | 34        |
| 2.4.5 Starr-plastische Bruchmodelle                             | 35        |
| 2.4.6 Schlussfolgerungen  | 37        |
| 2.5 Einfluss der konstruktiven Bewehrungsdurchbildung           | 38        |
| 2.6 Tragmechanismen und Versagensarten                          | 41        |
| <b>3 Versuchsdatenbank</b>                                      | <b>45</b> |
| 3.1 Aufbau der Versuchsdatenbank                                | 45        |
| 3.1.1 Motivation  | 45        |
| 3.1.2 Überblick und Definitionen                                | 45        |
| 3.1.3 Einfluss der Körperschlankheit                            | 49        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.2      | Auswertung der Datenbank  | 50        |
| 3.2.1    | Überblick über die Ziele der Auswertungen   | 50        |
| 3.2.2    | Vergleich unbewehrter und bewehrter Probekörper des räumlichen Falls  | 51        |
| 3.2.3    | Vergleich unbewehrter und bewehrter Probekörper des ebenen Falls  | 52        |
| 3.2.4    | Einfluss der Größe der Spaltzugbewehrung auf die Grenztragfähigkeit   | 53        |
| 3.2.5    | Einfluss der Bewehrung auf die Erstrissbildung  | 55        |
| 3.2.6    | Vergleich mit empirischen Modellen zur Grenztragfähigkeit   | 57        |
| <b>4</b> | <b>Untersuchungen zum Tragverhalten bei Erstrissbildung</b>   | <b>61</b> |
| 4.1      | Grundlagen  | 61        |
| 4.2      | Lastflächenspannung bei Erstrissbildung   | 61        |
| 4.2.1    | Erkenntnisse aus experimentellen Untersuchungen   | 61        |
| 4.2.2    | Rechnerische Bestimmung der Lastflächenspannungen bei Erstrissbildung   | 64        |
| 4.3      | Spannungszustände bei eintretender Rissbildung und erforderliche Mindestbewehrung   | 67        |
| <b>5</b> | <b>Auswirkung der Rissbildung in Kraffteinleitungsbereichen</b>   | <b>71</b> |
| 5.1      | Aufgabenstellung und Ziele  | 71        |
| 5.2      | Rissbildung in teilflächenbelasteten Körpern  | 71        |
| 5.3      | Tragmechanismen in gerissenen Bauteilen   | 72        |
| 5.3.1    | Allgemeines   | 72        |
| 5.3.2    | Steifigkeitsverringering infolge der Einzelrissbildung  | 76        |
| 5.4      | Numerische Berechnungen unter Berücksichtigung der absinkenden Bauteil-Querdehnsteifigkeit bei einer zentrischen Spaltrissbildung | 82        |
| 5.4.1    | Grundlagen  | 82        |
| 5.4.2    | Modelle   | 83        |
| 5.4.3    | Berechnungsergebnisse für ebene Fälle   | 84        |
| 5.4.4    | Berechnungsergebnisse für räumliche Fälle   | 91        |
| 5.4.5    | Ansatz zur Bestimmung der steifigkeitsabhängigen Spaltzugkraft  | 94        |
| <b>6</b> | <b>Nichtlineare numerische Untersuchungen teilflächenbelasteter Körper</b>  | <b>97</b> |
| 6.1      | Grundlagen  | 97        |
| 6.2      | Modellbildung   | 99        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.3      | Modellierung des Betonverhaltens  | 101        |
| 6.3.1    | Materialverhalten unter ein- und mehraxialen Beanspruchungszuständen                                  | 101        |
| 6.3.2    | Elasto-plastische Materialbeschreibung mit dem Fließkriterium nach DRUCKER-PRAGER                     | 102        |
| 6.3.3    | Parameter zur Materialmodellierung  | 106        |
| 6.3.4    | Modellierung des unmittelbaren Bereichs der Krafteinleitung   | 113        |
| 6.3.5    | Modellierung der Rissbildung  | 115        |
| 6.4      | Modellierung der Bewehrung  | 116        |
| 6.5      | Modellierung des Verbundverhaltens zwischen Betonstahlbewehrung und Betonmatrix                       | 117        |
| 6.5.1    | Grundlagen zum Verbund  | 117        |
| 6.5.2    | Modellierung des Verbunds   | 117        |
| 6.6      | Kalibrierung der Modelle  | 122        |
| 6.6.1    | Allgemeines   | 122        |
| 6.6.2    | Numerische Berechnung ausgewählter Versuchskörperscheiben zum ebenen Fall der Teilflächenbelastung    | 123        |
| 6.6.3    | Numerische Berechnung ausgewählter Versuchskörperprismen zum räumlichen Fall der Teilflächenbelastung | 132        |
| 6.7      | Schlussfolgerung zur Modellierung   | 139        |
| <b>7</b> | <b>Untersuchungen zur konstruktiven Durchbildung</b>  | <b>140</b> |
| 7.1      | Grundlagen  | 140        |
| 7.1.1    | Bedeutung der konstruktiven Durchbildung  | 140        |
| 7.1.2    | Bewertungskriterien   | 140        |
| 7.2      | Parameterstudie zur konstruktiven Durchbildung  | 142        |
| 7.2.1    | Modell und berechnete Varianten   | 142        |
| 7.2.2    | Ergebnisse der Parameterstudie und Analyse  | 146        |
| 7.2.3    | Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Parameterstudie  | 158        |
| 7.3      | Untersuchungen zu einer verbesserten konstruktiven Durchbildung                                       | 160        |
| 7.3.1    | Ansatz  | 160        |
| 7.3.2    | Ergebnisse der Modelle mit modifizierter Bewehrungsanordnung  | 162        |
| <b>8</b> | <b>Ansätze zur Bemessung und konstruktiven Durchbildung</b>   | <b>167</b> |
| 8.1      | Grundlagen  | 167        |

## Inhaltsverzeichnis

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 8.2      | Lastflächenspannungen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit | 167        |
| 8.2.1    | Ansatz   | 167        |
| 8.2.2    | Ebene Fälle der Teilflächenbelastung                       | 168        |
| 8.2.3    | Räumliche Fälle  | 172        |
| 8.3      | Resultierende Zugkräfte in der Spaltzugbewehrung           | 175        |
| 8.4      | Konstruktive Durchbildung                                  | 178        |
| <b>9</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                        | <b>181</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                | <b>185</b> |

|           |  |
|-----------|--|
| Anhang A: | Bestimmung der Spannungszustände in teilflächenbelasteten Scheiben auf Basis der Elastizitätstheorie nach IYENGAR                        |
| Anhang B: | Datenbank zu Versuchen an teilflächenbelasteten Betonbauteilen   |
| Anhang C: | Parameter der numerischen Berechnungen zum Einfluss der Steifigkeitsabnahmen infolge der Rissbildung (Kapitel 5.4)                       |
| Anhang D: | Parameter der numerischen Berechnungen zur Modellierung des Betonverhaltens (Kapitel 6.3)  |
| Anhang E: | Parameter der numerischen Berechnungen zur Modellierung des Verbundverhaltens zwischen Betonstahlbewehrung und Betonmatrix (Kapitel 6.5) |
| Anhang F: | Parameter der numerischen Berechnungen zur Kalibrierung und Verifizierung des Modells zum ebenen Fall (Kapitel 6.6)                      |
| Anhang G: | Parameter der numerischen Berechnungen zur Kalibrierung und Verifizierung des Modells für den räumlichen Fall (Kapitel 6.6)              |
| Anhang H: | Parameter der numerischen Berechnungen zur Untersuchung unterschiedlicher konstruktiver Durchbildungen (Kapitel 7)                       |

---

## **Vorwort**

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Massivbau des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der TU Braunschweig. Anstoß zu der Arbeit waren verschiedene Fragestellungen, die im Rahmen der Untersuchungen von bewehrten Tunneltübbingen auftraten. Die entdeckten Wissenslücken zur realitätsnahen Analyse und Bemessung teilflächenbelasteter Bauteile aus Stahlbeton waren Anlass und Motivation für meine Untersuchungen.

Für die vielen Anregungen und das entgegengebrachte Vertrauen während meiner Zeit am Fachgebiet Massivbau sowie die gewährten Freiheiten zur Fertigstellung dieser Arbeit bedanke ich mich besonders bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Empelmann.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dinkler bin ich sehr dankbar für das Interesse an der Arbeit und die Anfertigung des Zweitberichts. Ich danke Herrn Prof. Dr.-Ing. Hosser sehr für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes und die gewährte Unterstützung sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Niemeier für die Ausübung der Prüfertätigkeit.

Bei allen Kollegen des iBMBs und der MPA Braunschweig, besonders denen des Fachgebiets Massivbau bedanke ich mich für die gute Zusammenarbeit, das harmonische Arbeitsklima und die vielen Ratschläge und Hilfen zur Erstellung dieser Arbeit. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Droese und meinem Onkel Theo für das Korrekturlesen der Dissertation und die fachlichen sowie formalen Verbesserungsvorschläge. Darüber hinaus danke ich den studentischen Hilfskräften, die ebenfalls zum Gelingen beigetragen haben.

Einen großen Dank möchte ich auch allen Freunden aussprechen, die auf vielfältige Weise ausgleichend, unterstützend und beratend für mich waren.

Meiner Familie danke ich für die Unterstützung und den Rückhalt während der gesamten Bearbeitungszeit. Besonderer Dank gebührt meiner Freundin Ilka, die stets Verständnis für meine Arbeit aufbrachte und wertvolle Unterstützung geleistet hat.

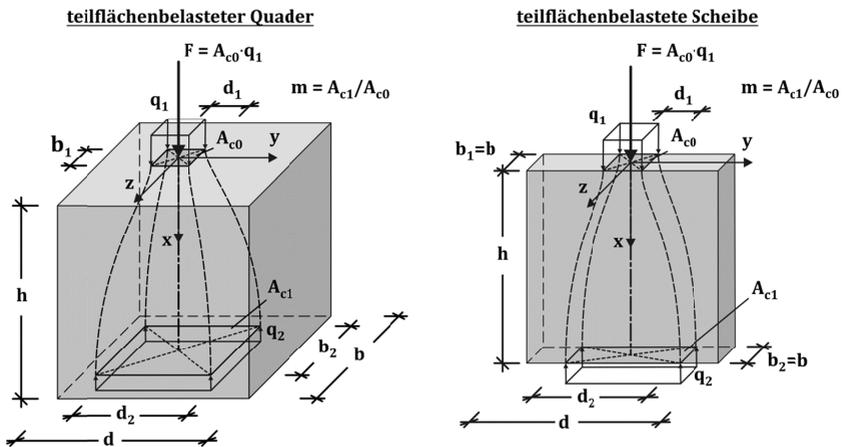
Marco Wichers

Hamburg, April 2013

## Bezeichnungen

Die im Text verwendeten Symbole und Bezeichnungen orientieren sich weitgehend an der Nomenklatur der DIN 1045-1 [DIN-2008] und des Eurocodes 2 [EC-2008] [EC-2010]. An dieser Stelle nicht definierte Bezeichnungen werden bei Gebrauch erläutert. Bei unterschiedlicher Bedeutung gleichnamiger Bezeichnungen ist auf die lokale Definition zurückzugreifen.

Die Bezeichnungen der grundlegenden geometrischen Abmessungen, Flächen und Spannungen teilflächenbelasteter Bauteile sowie die Lage der lokalen Koordinatensysteme werden entsprechend den Angaben in den nachfolgenden Skizzen verwendet.



## Geometrische Größen

|                     |   |            |   |
|---------------------|---|------------|---|
| $d, b$              | Dicke, Breite des Körpers   | $A_c$      | Betonfläche                                     |
| $d_1, b_1$          | Abmessung der Lastfläche in Dicken- und Breitenrichtung des Körpers | $A_{s,sp}$ | Fläche der Spaltzugbewehrung                    |
| $h$                 | Körperhöhe  | $d_s$      | Durchmesser Betonstahl                          |
| $\lambda$           | Körperschlankheit   | $l$        | Länge   |
| $A_{c0}$            | belastete Fläche  | $l_{es}$   | Einleitungslänge                                |
| $A_{c1}$            | Verteilungsfläche   | $l_{gr}$   | Grenzlänge zwischen kurzer und langer Zugstrebe |
| $m = A_{c1}/A_{c0}$ | Lastkonzentrationsfaktor  | $a$        | Abstand   |
| $t$                 | Tiefe / Dicke   | $\delta$   | Schlupf (vgl. sonstige Variablen)               |
| $e_y, e_z$          | Ausmitte in y- und z-Richtung                                       | $u$        | Verschiebung / aufgebrachtener Weg              |

|           |   |       |   |
|-----------|---|-------|---|
| $x_{B,a}$ | Abstand des Anfangs des bewehrten Bereichs von der bel. Oberfläche      | $w_k$ | rechnerische Rissbreite (charakteristischer Wert) |
| $x_{B,e}$ | Abstand des Endes des bewehrten Bereichs von der bel. Oberfläche        |       |   |
| $x_{B,s}$ | Abstand des Schwerpunkts des bewehrten Bereichs von der bel. Oberfläche |       |   |

**Einwirkungen / Beanspruchungen / Steifigkeiten**

|              |   |              |  |
|--------------|---|--------------|--|
| $F$          | Kraft   | $c_c$        | Steifigkeit des ungerissenen Betonkörpers  |
| $N$          | Normalkraft   | $c_s$        | Steifigkeit des „nackten“ Bewehrungsstahls |
| $D$          | Druckkraft  | $c_{elast}$  | elastische Steifigkeit                     |
| $Z$          | Zugkraft  | $c_{cr}$     | Steifigkeit des gerissenen Körpers         |
| $Z_{sp}$     | Spaltzugkraft   | $c_{fed}$    | Steifigkeit der (Ersatz-)Feder             |
| $F_s$        | Zugkraft in der Bewehrung                               | $\epsilon_c$ | Betondehnung                               |
| $\sigma$     | Spannung  | $\epsilon_s$ | Stahldehnung                               |
| $max \sigma$ | maximale Spannung                                       | $\tau_s$     | Verbundspannung                            |
| $q_1$        | Spannung auf der Lastfläche                             |              |  |
| $q_2$        | Ausgleichsspannung / Spannung auf der Verteilungsfläche |              |  |

**Festigkeiten / Materialwiderstände / Bewehrungsgrade**

|              |   |             |   |
|--------------|---|-------------|---|
| $f_c$        | Betondruckfestigkeit  | $E_c$       | Elastizitätsmodul des Betons  |
| $f_{ck}$     | charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit (Zylinder Ø150 / 300 mm) | $E_{cm}$    | mittlerer Sekanten-Elastizitätsmodul des Betons                                     |
| $f_{cd}$     | Bemessungswert der Betondruckfestigkeit (Zylinder Ø150 / 300 mm)          | $E_{com}$   | mittlerer Tangenten-Elastizitätsmodul des Betons                                    |
| $f_{cm}$     | Mittelwert der Betondruckfestigkeit (Zylinder Ø150 / 300 mm)              | $E_s$       | Elastizitätsmodul des Betonstahls   |
| $f_{c,cube}$ | Beton-Würfeldruckfestigkeit (Würfel 150 / 150 / 150 mm)                   | $\alpha_E$  | Verhältnis der Elastizitätsmoduln von Betonstahl und Beton                          |
| $f_{c,cyl}$  | Beton-Zylinderdruckfestigkeit (Zylinder Ø150 / 300 mm)                    | $\rho$      | geometrischer Bewehrungsgrad  |
| $f_{c,pr}$   | Beton-Prismendruckfestigkeit (Prisma 150 / 150 / 600 mm)                  | $\rho^*$    | mod. geometrischer Bewehrungsgrad (Bezug Stahlstreckgrenze)                         |
| $f_{ct}$     | Betonzugfestigkeit  | $\mu$       | mechanischer Bewehrungsgrad (Bezug Betonzugfestigkeit)                              |
| $f_{ctm}$    | Mittelwert der Betonzugfestigkeit   | $\omega$    | mechanischer Bewehrungsgrad (Bezug Betondruckfestigkeit)                            |
| $c$          | Kohäsion  | $\rho_{1d}$ | geometrischer Bewehrungsgrad auf der Bezugslänge $1d$ von der Lasteinleitungsstelle |

## Bezeichnungen

---

|            |   |               |   |
|------------|---|---------------|---|
| $\phi$     | Winkel der inneren Reibung                    | $\rho_{2d}$   | geometrischer Bewehrungsgrad auf der Bezugslänge $2d$ von der Lasteinleitungsstelle |
| $\psi$     | Dilatationswinkel                             | $\mu_{1d}$    | mechanischer Bewehrungsgrad auf der Bezugslänge $1d$ von der Lasteinleitung         |
| $f_y$      | Stahlstreckgrenze                             | $\mu_{2d}$    | mechanischer Bewehrungsgrad auf der Bezugslänge $2d$ von der Lasteinleitung         |
| $f_{yk}$   | charakteristischer Wert der Stahlstreckgrenze | $\omega_{1d}$ | mechanischer Bewehrungsgrad auf der Bezugslänge $1d$ von der Lasteinleitung         |
| $f_{yd}$   | Bemessungswert der Stahlstreckgrenze          | $\omega_{2d}$ | mechanischer Bewehrungsgrad auf der Bezugslänge $2d$ von der Lasteinleitung         |
| $f_{ym}$   | Mittelwert der Stahlstreckgrenze              | $\rho_{min}$  | Mindest-Bewehrungsgrad  |
| $\gamma_c$ | Teilsicherheitsbeiwert Beton                  | $\rho_{gr}$   | Grenz-Bewehrungsgrad  |
| $\gamma_s$ | Teilsicherheitsbeiwert Betonstahl             |               |   |
| $F_{Rdu}$  | Bemessungswert der aufnehmbaren Kraft         |               |   |

## Sonstige Variablen

|     |  |                |  |
|-----|--|----------------|--|
| $K$ | empirisch abgeleiteter Parameter Ansatz NIYOGI | $\alpha_{cap}$ | Völligkeitsbeiwert der Spaltzugspannungen                                    |
| $k$ | Parameter Ansatz WURM / DASCHNER               | $\delta$       | Parameter zur Beschreibung der Dehnungsverteilung (vgl. geometrische Größen) |
| $n$ | Anzahl   | $\kappa_F$     | Parameter zur Beschreibung der Größe der Spaltzugbeanspruchungen             |

## Indizes und Exponenten

|         |                            |              |                          |
|---------|----------------------------|--------------|--------------------------|
| $c$     | Beton                      | $d$          | Bemessung („design“)     |
| $s$     | Stahl                      | $min$        | Minimum / minimal        |
|         |                            | $max$        | Maximum / maximal        |
| $E$     | Einwirkung / Beanspruchung | $u$          | Bruch („ultimate“)       |
| $R$     | Widerstand                 | $calc$       | rechnerisch              |
| $d$     | Druck                      | $exp$        | Versuch / experimentell  |
| $z$     | Zug                        |              |                          |
| $sp$    | Spaltzug                   | $duct$       | Robustheit („ductility“) |
|         |                            | $uni$        | einaxial                 |
| $unbew$ | unbewehrt                  | $hydro$      | hydrostatisch            |
| $bew$   | bewehrt                    | $el / elast$ | elastisch                |
| $e$     | ebener Fall                | $pl$         | plastisch                |
| $r$     | räumlicher Fall            | $I$          | Zustand I (ungerissen)   |
|         |                            | $II$         | Zustand II (gerissen)    |

|            |                       |               |                |
|------------|-----------------------|---------------|----------------|
| <i>1d</i>  | Bezugslänge <i>1d</i> | <i>cr / r</i> | Riss („crack“) |
| <i>2d</i>  | Bezugslänge <i>2d</i> | <i>lat</i>    | Umschnürung    |
| <i>a</i>   | Anfang                |               |                |
| <i>e</i>   | Ende                  |               |                |
| <i>StV</i> | ST. VENANT            |               |                |
| <i>m</i>   | mittel                |               |                |
| <i>gr</i>  | Grenze                |               |                |
| <i>ref</i> | Referenz              |               |                |
| <i>ges</i> | gesamt                |               |                |
| <i>res</i> | resultierend          |               |                |

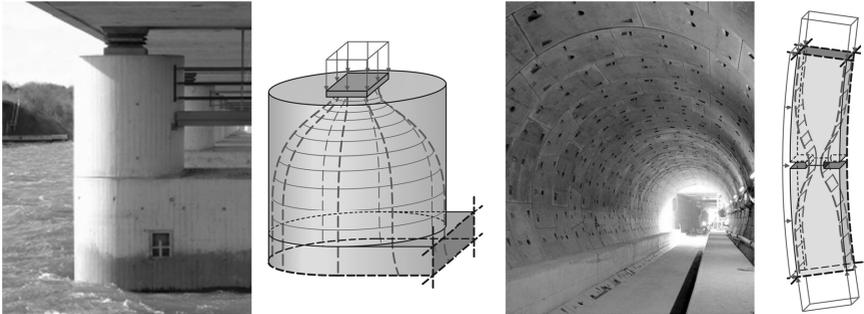


---

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Ziel der Arbeit

Die Einleitung konzentrierter Druckkräfte in Betonbauteile, die sogenannte Teilflächenbelastung, kommt in vielen verschiedenen Anwendungen der Baupraxis vor. Im Allgemeinen werden hierbei auf einer verhältnismäßig kleinen Belastungsfläche Anker-, Koppel- oder Auflagerkräfte von außen auf Bauteile übertragen.



**Bild 1-1: Beispiele für Teilflächenbelastungen:**  
**Lagerung des Überbaus einer Brücke auf einem Pfeiler (links),**  
**Längsfuge zwischen Tübbing eines Tunnels (rechts)**

Zur Bemessung und konstruktiven Auslegung von Krafteinleitungsbereichen in Betonbauteilen stehen in der Fachliteratur (z. B. [Leo-1986], [Gra-1991], [Schl-2001]) unterschiedliche Modellansätze und Empfehlungen zur Verfügung. Diese basieren überwiegend auf Ergebnissen theoretischer Untersuchungen auf Grundlage der Elastizitätstheorie sowie auf Erkenntnissen aus Bruchversuchen an unbewehrten Probekörpern, die auf bewehrte Bauteile übertragen wurden.

Die Notwendigkeit einer differenzierten und realitätsnahen Betrachtung von Krafteinleitungsbereichen in Stahlbetonbauteilen stellt sich u. a. bei der Erhöhung der Einwirkungen teilflächenbelasteter Bauteile infolge von Nutzungsänderungen. Aufgrund des aktuellen Trends zur Nutzung filigraner Bauteile (aus Hochleistungsbeton) mit geringen Lastübertragungsflächen gewinnt die Bemessung von Krafteinleitungsbereichen generell an Bedeutung.

Zur realitätsnahen Bestimmung des Tragwiderstands von Krafteinleitungsbereichen in Stahlbetonbauteilen ist es erforderlich, diese im gerissenen Zustand zu betrachten oder zumindest die Effekte der Rissbildung zu berücksichtigen. Hierzu sind Kenntnisse zu den Tragmechanismen in gerissenen Bauteilen unter Berücksichtigung der konstruktiven Durchbildung nötig, die bisher nur teilweise bestehen.

## **1 Einleitung**

---

Die eigenen Untersuchungen zum Tragverhalten von Krafteinleitungsbereichen konzentrieren sich daher auf die Einflüsse der Rissbildung und konstruktiven Bewehrungsdurchbildung, auf die Größe und Verteilung der Spaltzugbeanspruchungen sowie die erreichbaren Grenztragfähigkeiten. Im Rahmen der Analysen werden ebene und räumliche Fälle der zentrischen Druckkrafteinleitung in Bauteile aus bewehrtem Normalbeton mit dem Ziel betrachtet, die bestehenden Bemessungsansätze für zentrisch teilflächenbelastete Betonbauteile zu erweitern und verbesserte konstruktive Durchbildungen anzugeben.

### **1.2 Methodik**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Tragmechanismus von Körpern unter zentrischer Teilflächenbelastung grundlegend analysiert.

Zur Feststellung des Stands der Forschung und Technik erfolgt eine umfangreiche Recherche der Fachliteratur und Auswertung der dokumentierten Forschungsergebnisse. Die aus experimentellen Untersuchungen vorliegenden Versuchsergebnisse werden in einer Datenbank zusammengestellt und ausgewertet.

Die anschließende analytische Untersuchung der im Krafteinleitungsbereich vorherrschenden Spannungszustände erfolgt zunächst auf Basis der Elastizitätstheorie. Zur Bestimmung der Auswirkungen einer Rissbildung sowie zur Untersuchung unterschiedlicher konstruktiver Durchbildungen kommen weiterhin nichtlineare numerische Analysen mit Hilfe des Programms DIANA [TNO-2010] der TNO DIANA BV (Delft, Niederlande) zum Einsatz.

### **1.3 Gliederung**

Kapitel 2 gibt eine Einführung in die mechanischen Grundlagen der Teilflächenbelastung und erläutert die Systematik der Fallunterscheidungen mit ihren spezifischen Einflussparametern. Die bestehenden Kenntnisse zu den auftretenden Spaltzugbeanspruchungen sowie unterschiedliche Modelle zur Bestimmung der Grenztragfähigkeit teilflächenbelasteter Bauteile werden zusammengestellt und miteinander verglichen.

Kapitel 3 dokumentiert die Ergebnisse der Literaturrecherche zu experimentellen Untersuchungsergebnissen, die in einer Versuchsdatenbank zusammengefasst und analysiert werden. Anhand von Datenauswertungen werden die Einflüsse der Spaltzugbewehrung und der Rissbildung aufgezeigt.

Kapitel 4 enthält vertiefende Analysen zur Erstrissbildung in teilflächenbelasteten Bauteilen. Hierauf aufbauend wird untersucht, wie sprödes Bauteilversagen vermieden

werden kann. Die Betrachtungen bauen auf analytischen Auswertungen der Spaltzugspannungszustände nach IYENGAR [Iye-1960] auf.

Kapitel 5 widmet sich den Auswirkungen einer Rissbildung in Krafterleitungsbereichen auf die Größe und Verteilung der Spaltzugspannungen. Auf der Grundlage von numerischen Untersuchungen erfolgt die Analyse der Spaltzugspannungen, die im ebenen bzw. räumlichen Fall der Teilflächenbelastung bei verschiedenen Steifigkeitszuständen im Krafterleitungsbereich auftreten.

Kapitel 6 dient der Zusammenstellung von Randbedingungen für realitätsnahe numerische Untersuchungen teilflächenbelasteter Bauteile. Hierbei werden unterschiedliche Ansätze und Verfahren vorgestellt und hinsichtlich ihrer Eignung für den vorliegenden Anwendungsfall bewertet.

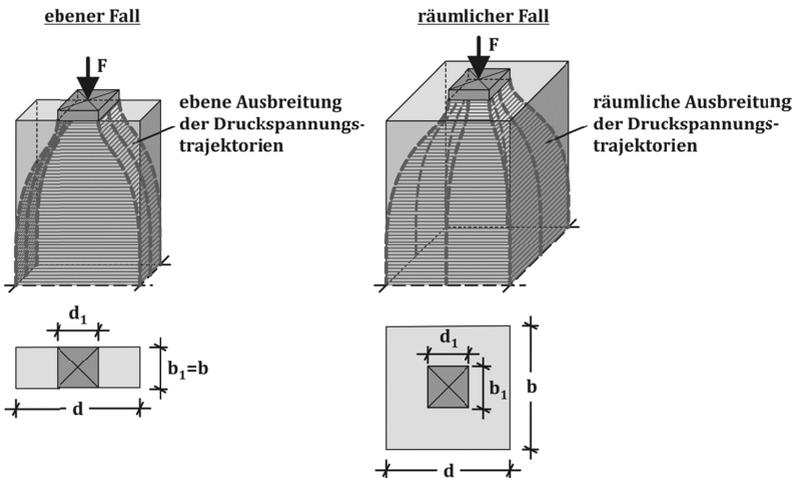
Kapitel 7 umfasst numerische Parameterstudien an teilflächenbelasteten Scheiben und Prismen unterschiedlicher konstruktiver Durchbildungen. Auf Basis der in Kapitel 6 gelegten Grundlagen erfolgt die Analyse und Bewertung verschiedener Bewehrungsanordnungen für den ebenen und räumlichen Fall der Teilflächenbelastung.

Kapitel 8 stellt eigene Ansätze zur Bemessung zentrisch teilflächenbelasteter Stahlbetonbauteile und zu deren konstruktiven Durchbildung dar, die auf Basis der erzielten Ergebnisse abgeleitet werden.

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

### 2.1 Einführung

Bei der Teilflächenbelastung von Betonbauteilen werden Druckkräfte auf einer eng begrenzten Lastfläche übertragen und erzeugen lokal hohe Druckspannungen, die sich im Körper ausbreiten, bis ein gleichmäßiger Spannungszustand erreicht ist. Die verschiedenen Fälle der konzentrierten Lasteinleitung werden entsprechend der Art der Spannungsausbreitung unterteilt. Hierbei wird zwischen der Teilflächenbelastung mit weitgehend zweidimensionaler und der mit dreidimensionaler Spannungsausbreitung unterschieden (Bild 2-1).

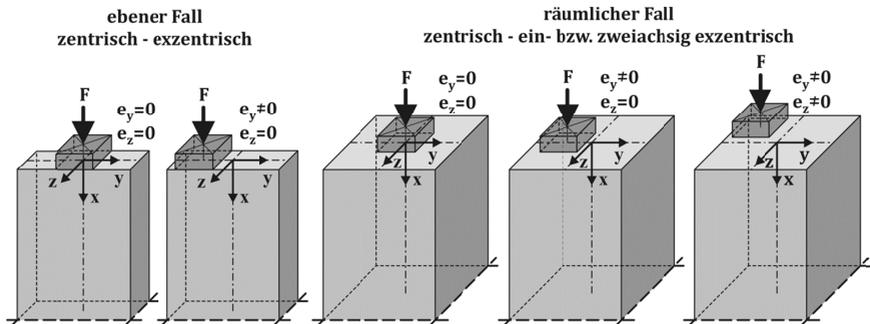


**Bild 2-1: Unterscheidung des ebenen (links) und räumlichen Falls (rechts) der Teilflächenbelastung**

Der ebene Fall der Teilflächenbelastung liegt vor, wenn die Breite der Lasteinleitung der Abmessung des Körpers in einer Richtung entspricht. Die über die Lastplatte eingeleitete Druckkraft strahlt dann lediglich in einer Richtung quer zur Lastrichtung aus (Bild 2-1 links). Dieser Fall der Teilflächenbelastung tritt beispielsweise an Längsfugen von Tunneltübbingen auf.

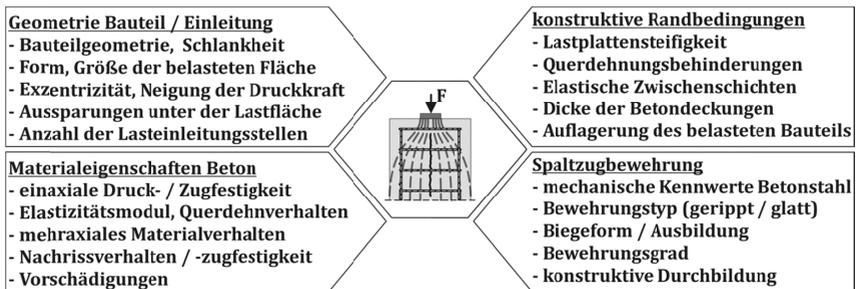
Beim räumlichen Fall der Teilflächenbelastung wird die eingeleitete Druckkraft quer zur Lastachse in radialer Richtung verteilt (Bild 2-1 rechts). Dieser Fall kommt in der Praxis zum Beispiel bei der Übertragung von Lagerlasten auf Brückenunterbauten oder bei der Einleitung von Vorspannkräften über Spannanker vor.

Unterschiede im Tragverhalten ergeben sich weiterhin aus der Lage der eingeleiteten Druckkraft in Bezug auf den Körperschwerpunkt (Bild 2-2). Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit erfolgen zur zentrischen Druckkräfteinleitung beim ebenen und räumlichen Fall der Teilflächenbelastung. Bei exzentrisch einwirkenden Druckkräften treten keine maßgebenden Abweichungen der Tragmechanismen auf, solange die Ausmitte der Druckkraft innerhalb der ersten Kernweite des Körpers liegt [Gra-1991].



**Bild 2-2: Unterschiedliche Anordnungen der Lasteinleitung**

Neben den Unterscheidungsmerkmalen der Art der Spannungsausbreitung und der Kraftexzentrizität gibt es zahlreiche weitere Einflussparameter auf das Tragverhalten von Betonbauteilen unter Teilflächenbelastung. In Bild 2-3 sind einige maßgebende Parameter zusammengefasst.

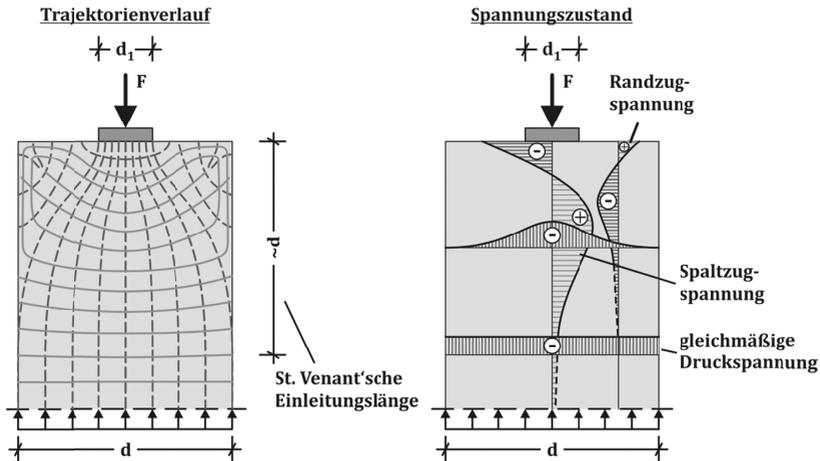


**Bild 2-3: Maßgebende Einflussparameter auf das Tragverhalten eines Betonbauteils unter Teilflächenbelastung**

### 2.2 Grundlagen zum Tragverhalten teillächenbelasteter Körper

#### 2.2.1 Spannungszustände im Krafteinleitungsbereich

Bei der Einleitung konzentrierter Druckkräfte breiten sich die auf der Lastfläche wirkenden Druckspannungen mit zunehmendem Abstand zur Einleitungsstelle aus, bis eine gleichmäßige Spannungsverteilung im Querschnitt vorliegt. In diesem sogenannten „ST. VENANT’schen Einleitungsbereich“, dessen Länge ungefähr der Körperabmessung in Richtung der Ausbreitung entspricht, liegt ein charakteristischer Spannungszustand vor. Bild 2-4 zeigt den Verlauf der Hauptspannungstrajektorien in einer zentrisch teillächenbelasteten Scheibe im Zustand I und den resultierenden Spannungszustand.



**Bild 2-4:** Charakteristischer Verlauf der Hauptspannungstrajektorien einer zentrisch teillächenbelasteten Scheibe im Zustand I (ungerissen) und resultierender Spannungszustand

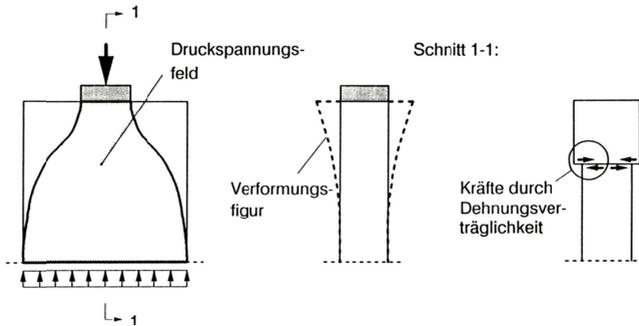
#### 2.2.2 Spannungszustände im Bereich der Lastfläche

Im unmittelbaren Bereich der Lastfläche tritt ein mehraxialer Druckspannungszustand auf, dessen Art und Größe maßgeblich von der Körperausbildung und der Lastkonzentration bestimmt wird.

Beim ebenen Fall der Teilflächenbelastung liegt definitionsgemäß eine Spannungsausbreitung in lediglich einer Raumrichtung quer zur Richtung der eingeleiteten Kraft vor. Unterhalb der Lastfläche treten infolge der Umlenkung der Druckspannungstrajektorien Querdruckspannungen auf, so dass in der Scheibenebene ein zweiachsender Druckspannungszustand entsteht.

Der reine ebene Spannungszustand ohne Spannungskomponente in Dickenrichtung tritt in der Realität nicht auf, da die Querdehnung des Betons im Einleitungsbereich schon

bei geringen Bauteildicken aufgrund der Dehnungsverträglichkeit Spannungen in der Dickenrichtung hervorruft (Bild 2-5). Im ebenen Fall der Teilflächenbelastung liegt daher im Bereich der Lasteinleitung ein dreiaxialer Druckspannungszustand vor, wobei die Größe der Spannungskomponente senkrecht zur Scheibenebene maßgebend von der Dicke des Bauteils bestimmt wird.

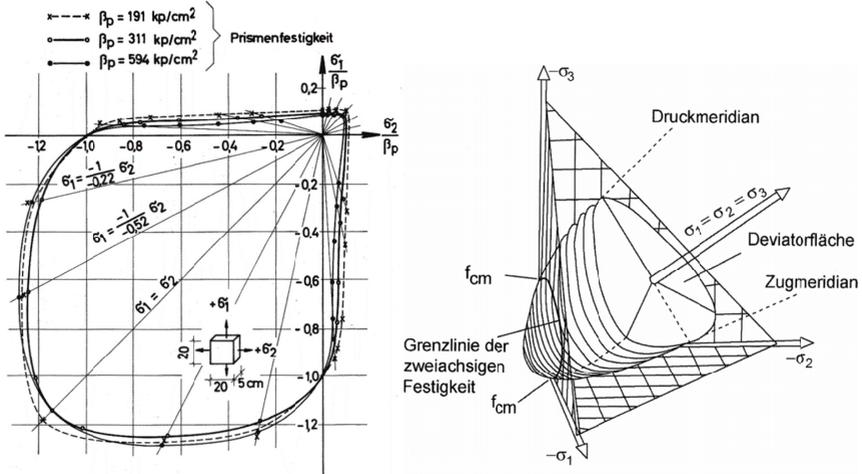


**Bild 2-5: Ebener Fall der Teilflächenbelastung – Druckspannungen in Dickenrichtung infolge der Querdehnungsbehinderung [Sun-1997]**

Im räumlichen Fall der zentrischen Teilflächenbelastung tritt im Bereich unmittelbar unterhalb der belasteten Oberfläche infolge der Umlenkung der Druckspannungstrajektorien und der Querdehnungsbehinderung des belasteten Betons stets ein dreiaxialer Druckspannungszustand auf.

Untersuchungen von KUPFER [Kup-1973] zur Festigkeit von Normalbeton unter zwei-axialer Druckbeanspruchung ergaben, dass die aufnehmbaren Spannungen um bis zu 25 % über der einaxialen Betondruckfestigkeit liegen können (Bild 2-6 links). VAN MIER et al. [Mie-1987] ermittelten in Versuchen an dreiaxial beanspruchten Betonprobekörper aus Normalbeton, dass die ertragbaren Spannungen in der Hauptbelastungsrichtung bereits bei geringen Druckspannungen in den Nebenrichtungen stärker als im zweidimensionalen Beanspruchungszustand ansteigen und bei Spannungszuständen auf dem Druckmeridian ( $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ , Druckspannungen negativ) ein Mehrfaches der einaxialen Druckfestigkeit erreichen können (Bild 2-6 rechts).

## 2 Überblick zum Stand der Forschung



**Bild 2-6: Betondruckfestigkeit unter mehraxialen Beanspruchungen - Grenzlinie bei zweiachsiger Beanspruchung [Kup-1973] (links), Grenzfläche bei dreiaxialer Beanspruchung [Rei-2010] (rechts)**

Beim räumlichen Fall der zentrischen Teilflächenbelastung sind daher im Vergleich zum ebenen Fall größere maximale Druckspannungen auf der Lastfläche ertragbar, die die einaxiale Betondruckfestigkeit deutlich überschreiten können. Beim ebenen Fall der Teilflächenbelastung wird die Größe der maximal ertragbaren Lastflächenspannungen maßgeblich durch die Bauteilabmessung senkrecht zur Scheibenebene geprägt. In dünnen Scheiben, in denen die Spannungskomponente in Scheibendickenrichtung nahezu verschwindet, ist die Druckspannung auf der Lastfläche bei Normalbeton auf ca. 125 % der einaxialen Druckfestigkeit begrenzt.

### 2.2.3 Spalt- und Randzugspannungen

Ab einer Tiefe, die ungefähr der Breite der belasteten Fläche entspricht, treten infolge der Umlenkung der Druckspannungstrajektorien Spaltzugspannungen im Inneren des Körpers auf, die in ungerissenen Bauteilen ungleichmäßig über die Höhe verteilt sind (Bild 2-4). In den Bereichen neben der Lastfläche entstehen oberflächennahe Randzugspannungen, die im Vergleich zu den Spaltzugspannungen klein bleiben, solange die eingeleitete Druckkraft innerhalb der ersten Kernweite des Querschnitts wirkt.

Im ungerissenen Zustand werden die Spaltzugbeanspruchungen durch den Beton aufgenommen. Nach Überschreiten der Betonzugfestigkeit können die resultierenden Spaltzugkräfte in Stahlbetonbauteilen durch entsprechende Spaltzughewehrungen abgetragen werden. Die Größe und Verteilung der Spaltzugspannungen bzw. der resultierenden

Spaltzugkräfte werden maßgeblich von der Lastkonzentration beeinflusst und können sich infolge von Kraftumlagerungen nach der Rissbildung ändern.

### 2.3 Verlauf und Größe der Spaltzugspannungen und Spaltzugkräfte

#### 2.3.1 Grundlagen

Zur Größe und Verteilung der Spaltzugbeanspruchungen stehen Ergebnisse unterschiedlicher Untersuchungen zur Verfügung, die mit folgenden Analysemethoden gewonnen wurden:

- Theoretische Modelle und Ableitungen
- Spannungsoptische Untersuchungen
- Numerische Untersuchungen (z. B. mit der Finite-Elemente-Methode)
- Experimentelle Untersuchungen (Bauteilprüfungen und Bruchversuche)

Die maßgebenden Erkenntnisse werden nachfolgend, getrennt für den ebenen und räumlichen Fall der Teilflächenbelastung zusammengestellt.

#### 2.3.2 Ebener Fall der Teilflächenbelastung

##### 2.3.2.1 Theoretische Modelle und Ansätze auf Basis der Elastizitätstheorie

MÖRSCH [Mör-1924] berichtete über Methoden zur Bestimmung der Querszugspannungen sowie der resultierenden Spaltzugkräfte. Er ging dabei vereinfachend von einer parabel-förmigen Verteilung der Spaltzugspannungen im Körper aus und fasste die Hauptdruckspannungen in Richtung der Trajektorien zu einer Resultierenden zusammen. Die Ermittlung der auftretenden Zugkraft kann mit dieser Annahme anhand eines einfachen Stabwerkmodells erfolgen (Bild 2-7).

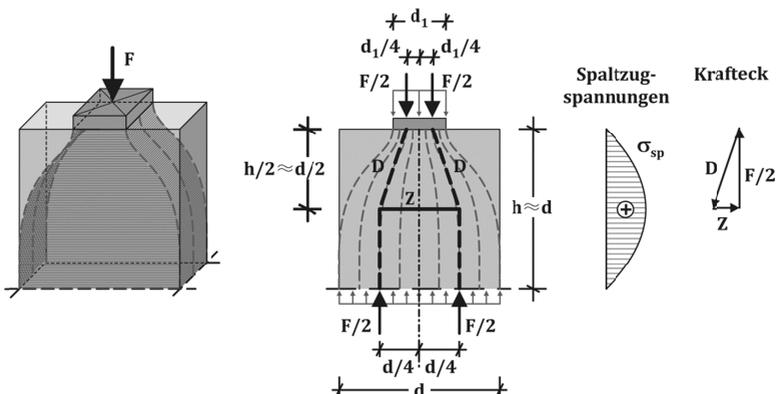


Bild 2-7: Stabwerkmodell nach MÖRSCH [Mör-1924]

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

Die resultierende Spaltzugkraft  $Z_{sp}$  ergibt sich bei diesem Ansatz zu

$$Z_{sp} = \frac{F}{4} \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right) \quad \text{Gl. 2-1}$$

und kann als bezogene Spaltzugkraft mit

$$\frac{Z_{sp}}{F} = 0,25 \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right) \quad \text{Gl. 2-2}$$

beschrieben werden.

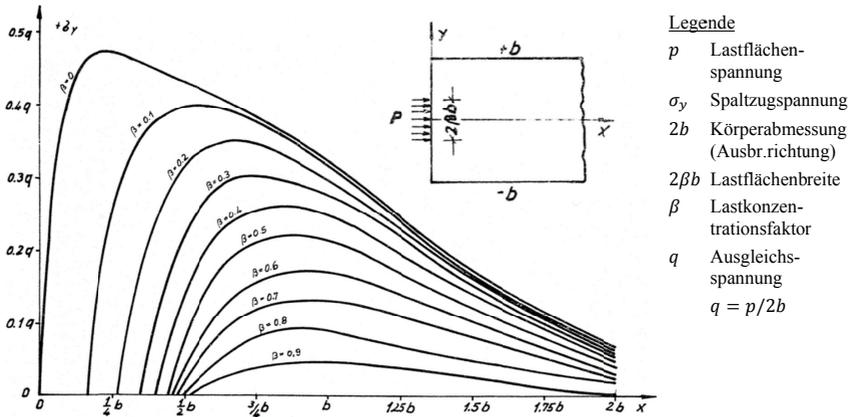
Die maximale Spaltzugspannung  $\max \sigma_{sp}$  liegt bei diesem Modell in einem Abstand zur belasteten Oberfläche von  $x = d/2$  mit

$$\max \sigma_{sp} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Z_{sp}}{b \cdot d} \quad \text{Gl. 2-3}$$

vor.

Zur Ermittlung des genauen zweidimensionalen Spannungszustands in teilflächen-belasteten Scheiben wurden weitere theoretische Untersuchungen u. a. durch BORTSCH [Bor-1935] [Bor-1938], MAGNEL [Zie-1960], GUYON [Guy-1963], BLEICH und SIEVERS [Blei-1923] [Siev-1952], IYENGAR [Iye-1960] und TRAHAIR durchgeführt.

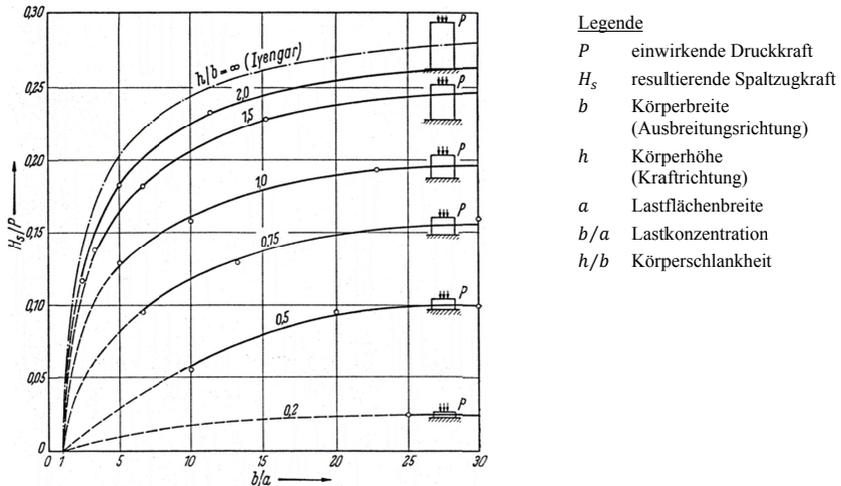
Die strenge zweidimensionale Lösung für einen unendlich langen elastischen, an der Schmalseite belasteten Halbstreifen leitete schließlich IYENGAR [Iye-1960] mit Hilfe von Fourierreihen ab. In Bild 2-8 sind die Verläufe der Spaltzugspannungen für unterschiedliche Lastkonzentrationen dargestellt.



**Bild 2-8:** Querzugspannungsverteilungen eines unendlich langen elastischen, an der Schmalseite belasteten Halbstreifens nach IYENGAR [Iye-1960]

Die theoretisch abgeleiteten Verteilungen der Spaltzugspannungen konnten von HILTSCHER / FLORIN [Hil-1962] mit spannungsoptischen Versuchen bestätigt werden. In Untersuchungen zum Einfluss der Körperschlankheit auf die Höhe der Spaltzug-

beanspruchungen zeigten HILSCHER / FLORIN [Hil-1968] weiter, dass die Spaltzugkräfte bei Verkleinerung der relativen Höhe ebenfalls abnehmen. Die nach IYENGAR ermittelte Spaltzugkraft an einem unendlich langen Halbstreifen stellt das Maximum dar, welches ab einer Höhe erreicht wird, die der zwei- bis dreifachen Breite des Körpers entspricht (Bild 2-9).



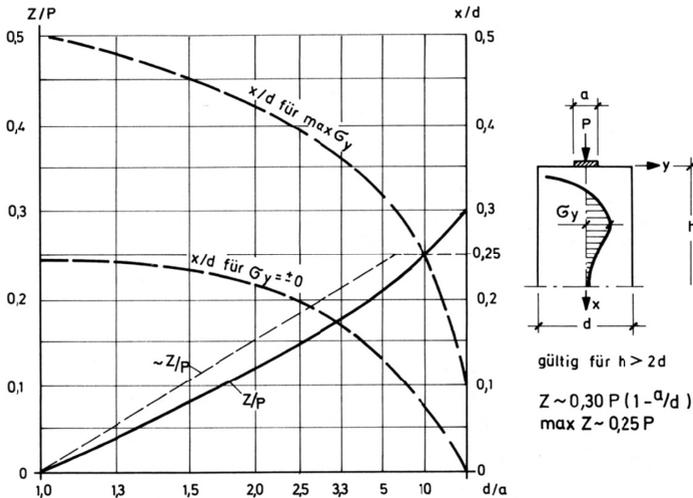
**Bild 2-9: Entwicklung der Spaltzugkraft in Abhängigkeit von der Körperschlankheit nach HILSCHER / FLORIN [Hil-1968]**

LEONHARDT [Leo-1973] [Leo-1986] entwickelte auf Basis der exakten Lösung des Spannungszustands bei elastischem Materialverhalten einen vereinfachten Ansatz zur rechnerischen Ermittlung der resultierenden bezogenen Spaltzugkraft mit

$$\frac{z_{sp}}{F} = 0,3 \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right). \quad \text{Gl. 2-4}$$

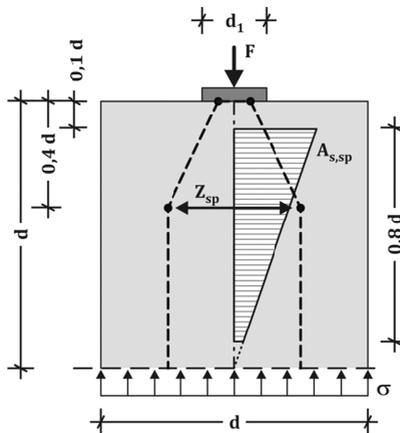
Das von LEONHARDT für linear-elastische Körper unter ebener zentrischer Teilflächenbelastung erarbeitete Bemessungsdiagramm enthält die bezogenen Spaltzugkräfte und maßgebenden Stellen der Spaltzugspannungsverläufe in Abhängigkeit von der Lastkonzentration (Bild 2-10).

## 2 Überblick zum Stand der Forschung



**Bild 2-10:** Bezogene Spaltzugkräfte und maßgebende Stellen der Spaltzugspannung beim ebenen Fall der zentrischen Teilflächenbelastung nach [Leo-1986]

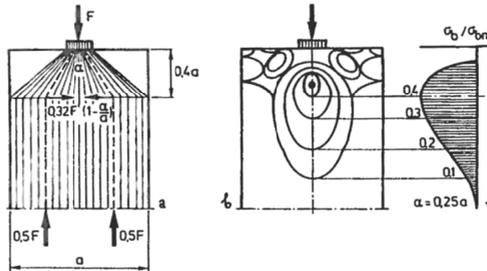
GRASSER / THIELEN [Gra-1991] beschrieben in dem vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) herausgegebenen Heft 240 Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetonbauwerken nach DIN 1045 [DIN-1988]. Für eine mittig angreifende Längsdruckkraft wird die bezogene Spaltzugkraft entsprechend dem Ansatz von MÖRSCH (Gl. 2-2) angegeben. Bild 2-11 zeigt die Lage der resultierenden Spaltzugkraft, das zugrundeliegende Stabwerkmodell sowie die empfohlene Verteilung der Spaltzugbewehrung im Einleitungsbereich.



**Bild 2-11:** Stabwerkmodell und Bewehrungsanordnung in Scheiben unter zentrischer Teilflächenbelastung nach [Gra-1991]

Trotz des identischen Ansatzes für die resultierende Spaltzugkraft geben GRASSER / THIELEN den Abstand zwischen der unterhalb der Lastplatte wirkenden Druckkraft und der resultierenden Spaltzugkraft abweichend vom Modell nach MÖRSCH (Bild 2-7) mit  $0,4 d$  an.

BRUGGELING [Bru-1990] schlug für die Bemessung zentrisch teilflächenbelasteter Bauteile auf Grundlage analytischer Betrachtungen ein Stabwerkmodell in Anlehnung an das Modell von MÖRSCH vor (vgl. Bild 2-7). Er empfahl jedoch, die Lage der Zugstrebe im Bereich des Maximums der Spaltzugspannungen des ungerissenen Körpers in einem Abstand zur belasteten Oberfläche von  $x/d = 0,40$  anzunehmen (Bild 2-12) und diese auch bei der Bestimmung der resultierenden Spaltzugkraft zu berücksichtigen.



**Bild 2-12: Spaltzugkräfte in Scheiben unter zentrischer Teilflächenbelastung nach [Bru-1990]**

Mit dieser Festlegung ergibt sich aufgrund der größeren Umlenkwinkel eine bezogene Spaltzugkraft von

$$\frac{Z_{sp}}{F} = 0,32 \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right). \quad \text{Gl. 2-5}$$

### 2.3.2.2 Ansätze mit Berücksichtigung nichtlinearer Materialeigenschaften

Numerische Berechnungen unter Annahme nichtlinearer Materialeigenschaften stellten u. a. SPITZ [Spit-1977], SAMKARI [Sam-1987], FENWICK / LEE [fen-1986], UKHAGBE [Ukh-1990], IBELL / BURGOYNE [Ibe-1994-1] [Ibe-1994-2] und FOSTER / ROGOWSKI [Fost-1997] an. Für die Modelle wurden vereinfachende nichtlineare Materialarbeitslinien für den Beton angesetzt und die Spaltzugbewehrungen überwiegend als gleichmäßig verteilt angenommen.

SPITZ [Spit-1977] zeigte mittels nichtlinearer Finite-Elemente-Berechnungen, dass sich die auftretenden Spaltzugkräfte unmittelbar nach Eintreten der Erstrissbildung deutlich verringern und bei weiterem Rissfortschritt zunehmend abfallen. Für den maßgebenden „ersten Risszustand“ gibt SPITZ die resultierende bezogene Spaltzugkraft mit

$$\frac{Z_{sp}}{F} = 0,82 \cdot \frac{Z_{sp,Iye}}{F} \quad \text{Gl. 2-6}$$

im Vergleich zur Lösung für elastisches Materialverhalten nach IYENGAR ( $Z_{sp,Iye}$ ) an.

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

---

FENWICK / LEE [fen-1986] untersuchten die zentrische Einleitung von Vorspannkraften in Balken mit rechteckigen und profilierten Querschnitten experimentell und numerisch. Sie stellten fest, dass die im gerissenen Körper auftretenden Spannungszustände stark von dem Verhältnis der vorliegenden Querdehnsteifigkeiten vor und nach der Rissbildung abhängen. Zur rechnerischen Beschreibung der resultierenden Spaltzugkräfte geben sie einen Ansatz in Abhängigkeit von der Querdehnsteifigkeit im gerissenen Zustand an, der auf dem MÖRSCH'EN Ansatz gemäß Gl. 2-2 basiert. Die resultierende bezogene Spaltzugkraft ergibt sich zu:

$$\frac{z_{sp}}{F} = 1,2 \cdot \frac{1,25 - 0,25 \cdot \sqrt{R}}{2,9 - 1,9 \cdot \sqrt[4]{R}} \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right) = 0,13 \div 0,30 \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right) \quad \text{Gl. 2-7}$$

mit

$R$  Dehnsteifigkeit des Körpers senkrecht zur eingeleiteten Kraft im gerissenen Zustand bezogen auf die Dehnsteifigkeit im ungerissenen Zustand

Der Vorfaktor, der im MÖRSCH'EN Ansatz in Gl. 2-2 mit 0,25 festgelegt ist, ergibt sich hiernach in Abhängigkeit von den Quersteifigkeitsverhältnissen mit  $R = 0 \div 1,00$  zu  $0,13 \div 0,30$ .

UKHAGBE [Ukh-1990] führte numerische Untersuchungen zur Spannkrafteinleitung in Betonbauteilen durch. Zur rechnerischen Beschreibung der Gesamtspaltzugkraft modifizierte er auf Basis seiner Ergebnisse den MÖRSCH'EN Ansatz aus Gl. 2-2, indem er einen verringerten Vorfaktor (0,23 statt 0,25) ansetzte. Die resultierende bezogene Spaltzugkraft lautet damit

$$\frac{z_{sp}}{F} = 0,23 \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right). \quad \text{Gl. 2-8}$$

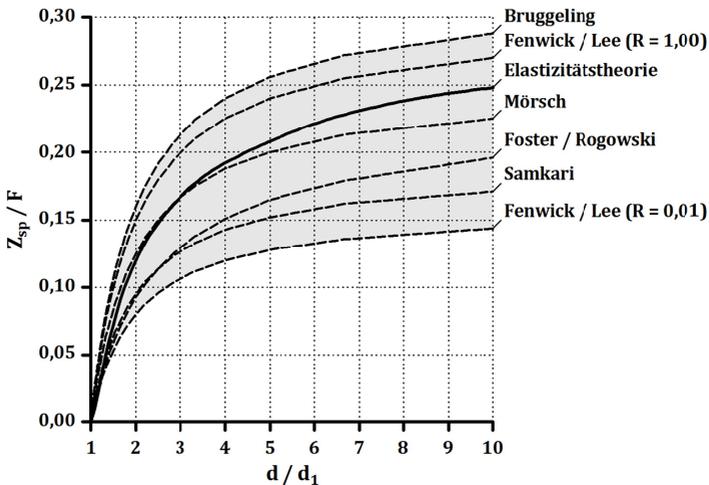
SAMKARI [Sam-1987] gab entsprechend seiner Berechnungsergebnisse eine Verringerung des Vorfaktors auf 0,19 an, die bezogene Spaltzugkraft bestimmt sich hiermit zu

$$\frac{z_{sp}}{F} = 0,19 \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right). \quad \text{Gl. 2-9}$$

FOSTER / ROGOWSKI [Fost-1997] schlugen auf Grundlage ihrer Untersuchungen einen ähnlichen Ansatz vor, modifizierten jedoch den Term der Lastkonzentration bei Beibehaltung des Vorfaktors aus Gl. 2-1 zu

$$\frac{z_{sp}}{F} = 0,25 \cdot \left(1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^{\frac{2}{3}}\right). \quad \text{Gl. 2-10}$$

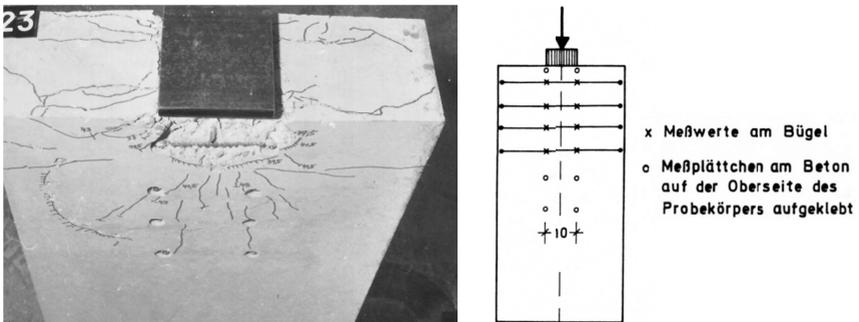
Bild 2-13 zeigt einen Vergleich verschiedener rechnerischer Ansätze zur Bestimmung der resultierenden bezogenen Spaltzugkräfte. Die Abweichungen von der exakten Lösung entsprechend der Elastizitätstheorie nach IYENGAR betragen bis zu ca. 40 %, die markierte Fläche verdeutlicht die Bandbreite der Ergebnisse.



**Bild 2-13:** Bezogene Spaltzugkräfte beim ebenen Fall der zentrischen Teilflächenbelastung nach verschiedenen Ansätzen

### 2.3.2.3 Ergebnisse experimenteller Untersuchungen

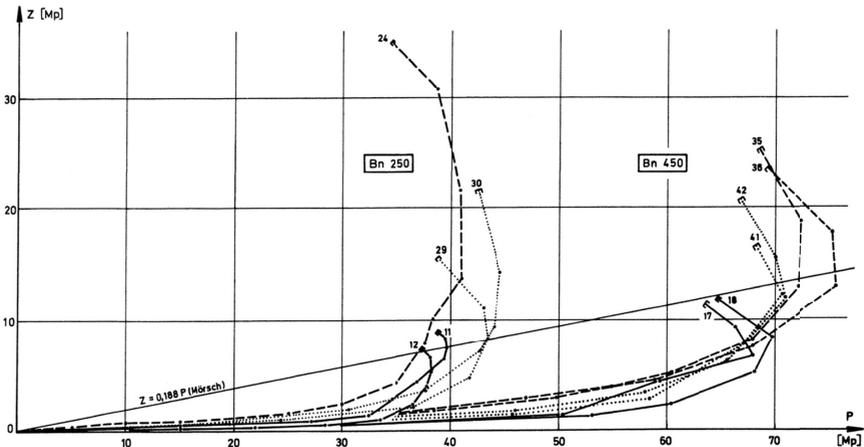
WURM / DASCHNER [Wur-1983] untersuchten teilflächenbelastete Scheiben mit unterschiedlicher Betongüte und verschiedenen konstruktiven Durchbildungen der Spaltzugbewehrung. Während der Versuche wurden die Querverformungen mittels eines Setzdehnmessers an Messpunkten auf der Betonoberfläche und an der Spaltzugbewehrung aufgenommen (Bild 2-14).



**Bild 2-14:** Probekörperscheibe (links) und Messpunkte zur Aufnahme der Querverformung (rechts) [Wur-1983]

Anhand der Messergebnisse konnten die in den Bewehrungen auftretenden mittleren Zugkräfte belastungsabhängig bestimmt werden. Bild 2-15 zeigt die Entwicklung der in den Spaltzugbewehrungen auftretenden Zugkräfte in Abhängigkeit von der eingeleiteten Druckkraft im Vergleich zum rechnerischen Ansatz nach MÖRSCH.

## 2 Überblick zum Stand der Forschung



**Bild 2-15:** Zugkräfte in den Spaltzugbewehrungen – Versuchsergebnisse WURM / DASCHNER [Wur-1983], Versuchsreihe 1 und 2 (Probekörper-Nummer an Kurven), Lastkonzentration  $d/d_1 = 4$

Nach dem Versuchsstart verblieben die Probekörper zunächst ungerissen, so dass die auftretenden Spaltzugbeanspruchungen überwiegend vom Beton aufgenommen wurden. Die Bewehrungen beteiligten sich in diesem Zustand am Abtrag der Spaltzugbeanspruchungen nur geringfügig, so dass die rechnerischen Zugkräfte nach MÖRSCH nicht erreicht wurden.

Bei weiterer Steigerung der Belastung traten bei einem Belastungsniveau von 50 % bis 60 % der Grenztragfähigkeit Spalttrisse auf. Die Zugkräfte in den Bewehrungen stiegen nach der Rissbildung auch bei weiterer Laststeigerung jedoch nur geringfügig an. Erst ab einem Belastungsniveau von 80 % bis 90 % der Grenztragfähigkeit nahmen die Bewehrungszugkräfte überproportional zu. Bei Erreichen der maximal aufnehmbaren Druckkraft lagen die Bewehrungszugkräfte in den Versuchskörpern mit hohen Spaltzugbewehrungsgraden (Nr. 24, 29, 30, 35, 36, 41, 42) im Bereich der Ergebnisse nach dem MÖRSCH'en Ansatz bzw. darüber. Die Bewehrungszugkräfte in den mäßig bewehrten Versuchskörpern (Nr. 11, 12, 17 und 18) erreichten die Werte nach MÖRSCH nur knapp bzw. lagen bei den Körpern aus Beton Bn 450 darunter.

WURM / DASCHNER folgerten, dass die Bewehrungszugkräfte aus den Spaltzugbeanspruchungen und den beobachteten Eindrückungen der Lastplatte resultieren müssen. Die Versuchsergebnisse bestätigen, dass die Rissbildung, die konstruktive Durchbildung sowie die Bruchprozesse im unmittelbaren Einleitungsbereich Einflüsse auf die auftretenden Bewehrungszugkräfte haben. Diesbezügliche Ansätze zur Bemessung der Spaltzugbewehrung werden nicht gegeben.

### 2.3.3 Räumlicher Fall der Teilflächenbelastung

#### 2.3.3.1 Theoretische Modelle und Ansätze auf Basis der Elastizitätstheorie

Die Spannungszustände im räumlichen Fall der zentrischen Teilflächenbelastung wurden durch IYENGAR [Iye-1966], YETTRAM/ROBBINS [Yet-1969] und HILTSCHER / FLORIN [Hil-1972] an Bauteilen mit linear-elastischem Materialverhalten analytisch, numerisch und experimentell untersucht. HILTSCHER / FLORIN verdeutlichen die Auswirkungen der räumlichen Druckspannungsausbreitung mittels einer Gegenüberstellung der Ergebnisse numerischer Berechnungen an zylindrischen Körpern mit den Spannungszuständen im ebenen Fall der Teilflächenbelastung. Im Vergleich zum ebenen Spannungszustand zeigen sich im räumlichen Fall deutlich geringere bezogene Spaltzugspannungen (Bild 2-16). Die Ergebnisse legen zudem dar, dass die maximale Spaltzugspannung bei räumlicher Druckspannungsausbreitung mit steigender Lastkonzentration  $d/d_1$  sehr schnell absinkt, da sich die Zugbeanspruchungen auf zunehmend größere Bereiche verteilen können.

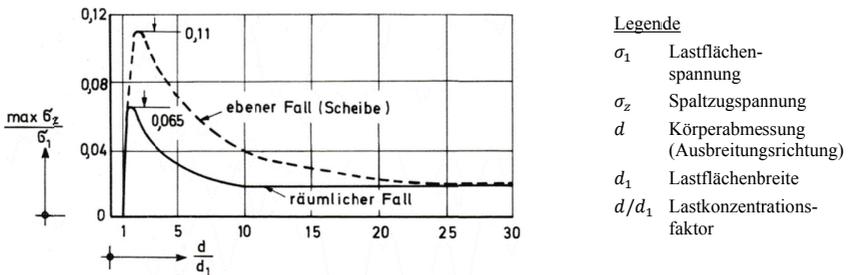


Bild 2-16: Vergleich des ebenen und räumlichen Falls [Hil-1972] - maximale Spaltzugspannung in der Körperachse

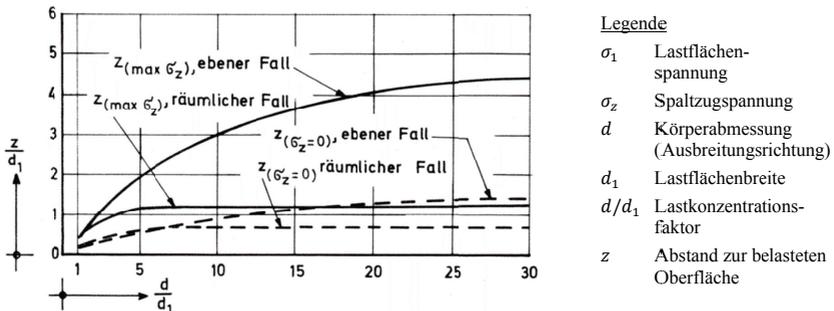


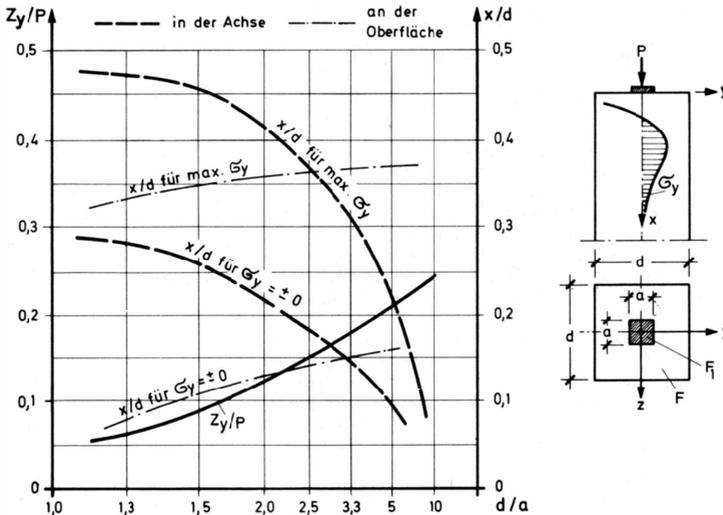
Bild 2-17: Vergleich des ebenen und räumlichen Falls [Hil-1972] - Lage der Null-Linie und des Maximums der Spaltzugspannungen

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

Die Verläufe der Spaltzugspannungen entlang der Körperachse unterscheiden sich ebenfalls. Während sich der Abstand des Nulldurchgangs der Spaltzugspannungen und des Spannungsmaximums von der belasteten Oberfläche im ebenen Fall bei steigender Lastkonzentration  $d/d_1$  stetig vergrößert, bleibt die Lage dieser Punkte im räumlichen Fall bei ansteigenden Lastkonzentrationen über  $d/d_1 = 5$  nahezu unverändert und deutlich näher an der Belastungsfläche (Bild 2-17).

Die Spannungszustände prismatischer Körper im räumlichen Fall der zentrischen Teilflächenbelastung wurden durch IYENGAR [Iye-1966] auf Basis der Elastizitätstheorie analytisch bestimmt. YETTRAM / ROBBINS [Yet-1969] führten numerische Untersuchungen an prismatischen Körpern mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) auf Basis der Elastizitätstheorie durch und erzielten sehr gute Übereinstimmungen mit der analytischen Lösung nach IYENGAR[Iye-1966].

LEONHARDT [Leo-1986] fasste die Ergebnisse von YETTRAM / ROBBINS zur bezogenen Spaltzugkraft sowie zu Angaben der maßgebenden Stellen der Spaltzugspannungsverläufe für den räumlichen Fall der zentrischen Teilflächenbelastung von prismatischen Bauteilen zusammen (Bild 2-18).



**Bild 2-18: Bezogene Spaltzugkräfte und maßgebende Stellen der Spaltzugspannung für den räumlichen Fall der zentrischen Teilflächenbelastung nach YETTRAM / ROBBINS [Leo-1986]**

Danach stellt sich die bezogene resultierende Spaltzugkraft in prismatischen Bauteilen in beiden Körperachsen senkrecht zur eingeleiteten Druckkraft in annähernd gleicher Größe wie im ebenen Fall der Teilflächenbelastung ein.

Für die Auslegung der Spaltzugbewehrung empfehlen daher LEONHARDT [Leo-1986] sowie GRASSER / THIELEN [Gra-1991], die bezogenen Spaltzugkräfte in beiden Achsrichtungen jeweils unter dem Ansatz der gesamten einwirkenden Druckkraft mit

$$\frac{z_{sp,y}}{F} = \frac{z_{sp,z}}{F} = 0,25 \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right) \quad \text{Gl. 2-11}$$

zu ermitteln, was dem Ansatz nach MÖRSCH für ebene Fälle der Teilflächenbelastung aus Gl. 2-1 entspricht. Die Ergebnisse der numerischen Berechnungen von BUCHHARDT [Buch-1978], die unter Annahme eines linear-elastischen Materialverhalten geführt wurden, bestätigen die Näherungslösung für prismatische Bauteile mit zentrischer Belastung.

Nach dem CEB/fib-Model Code 1990 [CEB-1993] erfolgt für den räumlichen Fall der zentrischen Teilflächenbelastung prismatischer Bauteile ebenfalls eine Aufteilung der Spaltzugbeanspruchungen in die beiden Körperachsen. Die Resultierende der Querspannungen  $F_{t,x}$  bzw.  $F_{t,y}$  in den Querrichtungen  $x$  bzw.  $y$  ergibt sich zu:

$$F_{t,x} \approx 0,3 \cdot N \cdot \left(1 - \frac{b_1}{b_2}\right) \quad \text{bzw.} \quad F_{t,y} \approx 0,3 \cdot N \cdot \left(1 - \frac{h_1}{h_2}\right) \quad \text{Gl. 2-12}$$

mit

|            |   |
|------------|---|
| $b_1, h_1$ | Breite bzw. Tiefe der Lastfläche        |
| $b_2, h_2$ | Breite bzw. Tiefe der Verteilungsfläche |
| $N$        | eingeleitete Drucknormalkraft           |

Die in teilflächenbelasteten Bauteilen auftretenden Zugkräfte können beim räumlichen Fall der Teilflächenbelastung anhand von dreidimensionalen Stabwerkmodellen ermittelt werden [Ngu-2002]. Die Ausbildung des Stabwerks hat maßgebenden Einfluss auf die resultierenden Strebenkräfte und orientiert sich im Allgemeinen am Spannungszustand des ungerissenen Bauteils.

Tabelle 2-1 zeigt zwei räumliche Stabwerkmodelle für Bauteile unter zentrischer Teilflächenbelastung sowie die Größe der resultierenden Zugkraft im Körperinneren für die Annahme, dass der Abstand zwischen den senkrecht zur eingeleiteten Kraft verlaufenden Druck- und Zugstreben jeweils der halben Körperbreite entspricht (innerer Hebelarm  $z = d/2$ ). Aus dem räumlichen Modell für prismatische Bauteile resultieren Spaltzugkräfte, die denen des Ansatzes für ebene Fälle nach MÖRSCH (Gl. 2-1) entsprechen. In zylindrischen Bauteilen mit ringförmiger Zugstrebe ergeben sich im Halbschnitt geringere Spaltzugkräfte, die nur  $4/(1,5 \cdot \pi) = 85\%$  der Werte des Modells für den ebenen Fall betragen.

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

Tabelle 2-1: Spaltzugkräfte in zentrisch teilflächenbelasteten prismatischen bzw. zylindrischen Bauteilen aus Stabwerkmodellen

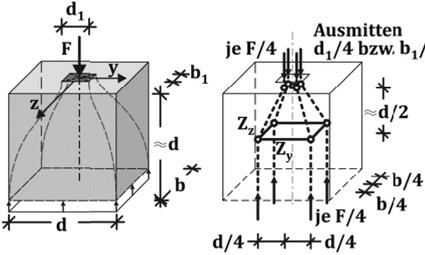
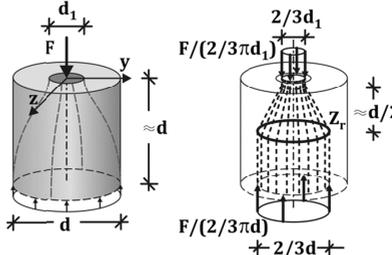
| Prismatisches Bauteil mit rechteckiger Lastfläche $d_1/d = b_1/b$   | Zylindrisches Bauteil mit kreisförmiger Lastfläche  |
|---|---|
|  <p>Ausmitten <math>d_1/4</math> bzw. <math>b_1/4</math></p> <p>je <math>F/4</math></p> <p><math>\approx d/2</math></p> <p><math>b/4</math></p> <p><math>b/4</math></p> <p><math>d/4</math> <math>d/4</math></p> |  <p><math>2/3d_1</math></p> <p><math>F/(2/3\pi d_1)</math></p> <p><math>\approx d/2</math></p> <p><math>F/(2/3\pi d)</math></p> <p><math>2/3d</math></p> |
| <p>Zugkraft in y- und z-Richtung</p> $Z_y = Z_z = \frac{F}{4} \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right)$   | <p>Ringzugkraft</p> $Z_r = \frac{F}{3\pi} \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d}\right)$   |

Bild 2-19 zeigt den Vergleich der bezogenen Spaltzugkräfte in prismatischen Körpern nach MÖRSCH, entsprechend der Lösung auf Grundlage der Elastizitätstheorie (nach YETTRAM / ROBBINS) und dem Ansatz des Model Codes 1990 (MC 1990).

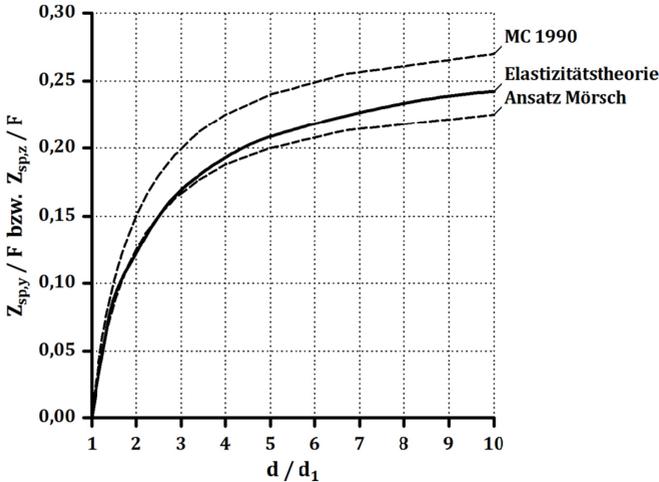


Bild 2-19: Bezogene Spaltzugkräfte in prismatischen Bauteilen beim räumlichen Fall der zentrischen Teilflächenbelastung nach verschiedenen Ansätzen

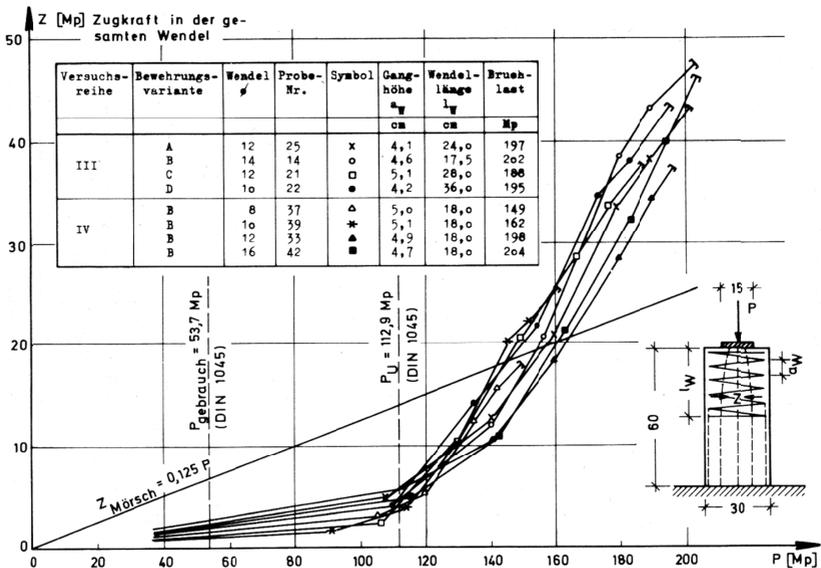
Bei der Bestimmung der resultierenden Spaltzugkräfte nach MÖRSCH ergeben sich Werte, die denen der Elastizitätstheorie annähernd entsprechen. Aus dem Ansatz nach Model Code 1990 resultieren größere Spaltzugkräfte. Weiterführende Modelle zur Ermittlung der Spaltzugkräfte im räumlichen Fall der Teilflächenbelastung sowie

Untersuchungen zum Einfluss der Rissbildung auf die Tragmechanismen sind nicht bekannt.

### 2.3.3.2 Ergebnisse experimenteller Untersuchungen

ZIELINSKI / ROWE [Zie-1960] führten Versuche zur Spannkrafteinleitung an unterschiedlich bewehrten Prismen durch. Aus den Ergebnissen der auf der Betonoberfläche durchgeführten Dehnungsmessungen konnten die Spaltzugspannungen im Beton und deren Verläufe rechnerisch bestimmt werden. Die ermittelten maximalen Spaltzugspannungen übertrafen die entsprechenden theoretisch und numerisch abgeleiteten Werte deutlich. Die Ursachen für die Abweichungen konnten bisher nicht geklärt werden.

WURM / DASCHNER [Wur-1977] führten experimentelle Untersuchungen an zentrisch teilflächenbelasteten Prismen mit unterschiedlicher Betongüte und verschiedenen konstruktiven Durchbildungen der Spaltzugbewehrung durch. Zur Bestimmung der Beanspruchungen in den verwendeten Wendelbewehrungen wurden über Messstellen am Betonstahl Änderungen der Außendurchmesser während der Versuche aufgenommen. Aus den Messergebnissen konnten die in den Bewehrungen auftretenden mittleren Zugkräfte belastungsabhängig bestimmt werden. Bild 2-20 zeigt die Entwicklung der Bewehrungszugkräfte in Abhängigkeit von der eingeleiteten Druckkraft.



**Bild 2-20:** Resultierende Zugkräfte in den Wendelbewehrungen – Versuchsergebnisse WURM / DASCHNER [Wur-1977], Versuchsreihe III und IV, Lastkonzentration  $A_{c1}/A_{c0} = 4$

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

---

Die resultierenden Zugkräfte in den Wendelbewehrungen stiegen nach dem Versuchstart zunächst nur langsam, da die Probekörper ungerissen blieben und die auftretenden Spaltzugbeanspruchungen überwiegend vom Beton aufgenommen wurden. Die rechnerischen Zugkräfte nach MÖRSCH wurden daher in diesem Zustand nicht erreicht.

Die Rissbildung trat bei einem Belastungsniveau von 60 % bis 80 % der Grenztragfähigkeit ein. Bei weiterer Laststeigerung stiegen die Zugkräfte in den Bewehrungen deutlich stärker an. Bis zum Erreichen der maximal aufnehmbaren Druckkraft lagen die Bewehrungszugkräfte in allen untersuchten Probekörpern deutlich über den Ergebnissen nach dem MÖRSCH<sup>2</sup>en Ansatz.

WURM / DASCHNER folgerten, dass die Bewehrungszugkräfte aus den Spaltzugbeanspruchungen sowie den beobachteten Eindrückungen der Lastplatte und der Querdehnungsbehinderung des Kernbetons resultieren. Die Messergebnisse zeigten zudem, dass stark bewehrte Probekörper eine höhere Bewehrungszugkraft aufwiesen. Die Versuchsergebnisse verdeutlichen den Einfluss der Rissbildung und der konstruktiven Durchbildung im Krafteinleitungsbereich. WURM / DASCHNER geben Empfehlungen zur konstruktiven Ausführung der Wendelbewehrung, ein Bemessungsansatz zur Bestimmung der erforderlichen Bewehrungsfläche wird nicht angeführt.

### 2.4 Modelle zur Bestimmung der Grenztragfähigkeit

#### 2.4.1 Grundlagen

Modelle zur rechnerischen Bestimmung der Grenztragfähigkeit beschreiben die maximal aufnehmbare Kraft  $F_u$  bzw. Druckspannung  $q_{1u}$  auf der belasteten Fläche. Die unterschiedlichen Modelle basieren auf Versuchsergebnissen bzw. verschiedenen mechanischen Konzepten und können wie folgt unterteilt werden:

- Empirische Modelle  
Empirische Modelle basieren auf rein experimentellen Ergebnissen und sollen diese bestmöglich rechnerisch beschreiben. Die Modelle bilden die Auswirkungen der in den Versuchen auftretenden Versagensmechanismen ab. Die Aussagequalität und Übertragbarkeit hängt stark von den genutzten Randbedingungen ab.
- Stabwerkmodelle  
In Stabwerkmodellen teilflächenbelasteter Körper wird das Versagen durch die Tragfähigkeit der Druck- und Zugstreben sowie der Knoten bestimmt. Die Modelle können das Stahl- und Betonversagen beschreiben.
- Modelle mit Versagen bei Erstrissbildung  
Bei Modellen mit Versagen bei Erstrissbildung wird die Grenztragfähigkeit durch denjenigen Zustand definiert, bei dem die Spaltzugspannungen im

ungerissenen Bauteil die Betonzugfestigkeit erreichen. Die Grenztragfähigkeit wird hierbei maßgebend durch die Höhe der Betonzugfestigkeit bestimmt.

- **Starr-plastische Bruchmodelle**

Bei starr-plastischen Bruchmodellen wird der Versagenszustand auf Grundlage mechanischer Grenzzustände bestimmt. Hierzu werden Ansätze mit Ausbildung eines Bruchkeils bzw. einer Bruchpyramide verfolgt und rechnerisch beschrieben. Die Grenztragfähigkeit wird dabei auf ein Betonversagen (Druck- bzw. Schubversagen) zurückgeführt.

Im Folgenden werden verschiedene Modellansätze für Bauteile unter ebener und räumlicher Teilflächenbelastung vorgestellt. Die unterschiedlichen Ansätze werden insbesondere auf die rechnerische Berücksichtigung der Effekte infolge der Rissbildung sowie der Einflüsse der im Krafterleitungsbereich vorhandenen Bewehrung und deren konstruktive Durchbildung überprüft.

## 2.4.2 Empirische Modelle

### 2.4.2.1 Modelle für unbewehrte Bauteile

Empirische Modelle zur Grenztragfähigkeit unbewehrter Bauteile beschreiben die in Versuchen gemessenen Kräfte bzw. Spannungen auf der Lastfläche beim Versagen des Probekörpers. BAUSCHINGER [Bau-1876] führte Versuche an Sandsteinquadern mit streifenförmiger Belastung durch und leitete anhand der Ergebnisse einen Ansatz zur Bestimmung der Grenztragfähigkeit ab. Die im Versuch ertragenen Lastflächenspannungen konnten mit guter Übereinstimmung über den Kubikwurzel-Ansatz

$$q_{1u} = f_{c,cyl} \cdot \sqrt[3]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \quad \text{bzw.} \quad \frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}} = \sqrt[3]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \quad \text{Gl. 2-13}$$

beschrieben werden (Bezug auf  $f_{c,cyl} \approx f_{c,pr}$ ). Die Eignung des Kubikwurzel-Ansatzes für ebene Fälle der Teilflächenbelastung wurde zudem durch die Versuche von WURM / DASCHNER [Wur-1983] belegt.

Für den räumlichen Fall der Teilflächenbelastung zeigten Versuche an axialsymmetrisch belasteten unbewehrten Körpern, dass die aufnehmbaren Spannungen unter der Lastplatte bei steigender Lastkonzentration im Vergleich zum ebenen Fall stärker ansteigen.

Der Kubikwurzel-Ansatz (Gl. 2-13), mit der die aufnehmbaren Lastflächenspannungen beim ebenen Fall gut abgeschätzt werden können, unterschätzt den Bauteilwiderstand im räumlichen Fall deutlich.

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

Für diese Körper empfiehlt SPIETH [Spi-1959] zur besseren Beschreibung von experimentell bestimmten Lastflächenspannungen den Quadratwurzel-Ansatz

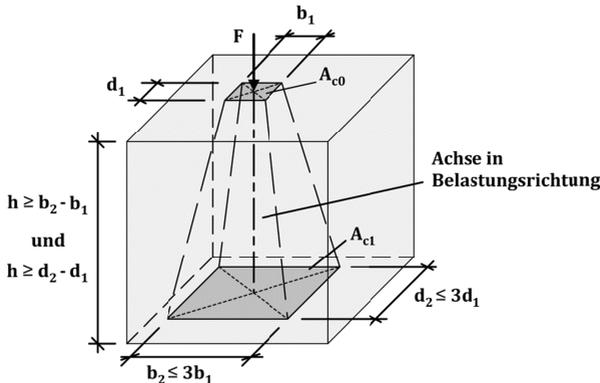
$$q_{1u} = f_{c,cyl} \cdot \sqrt[2]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \quad \text{bzw.} \quad \frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}} = \sqrt[2]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \quad \text{Gl. 2-14}$$

In den nationalen und internationalen Normenwerken wird als Grundlage der Bemessung teilflächenbelasteter Bauteile (räumlicher Fall) überwiegend der Quadratwurzel-Ansatz genutzt. Nach DIN 1045-1 [DIN-2008] und Eurocode 2 [EC-2005] [EC-2008] erfolgt die Ermittlung der Grenztragfähigkeit  $F_{Rdu}$  von Körpern unter räumlicher Teilflächenbelastung mit

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt[2]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3,0 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd} \quad \text{Gl. 2-15}$$

Die folgende Randbedingungen sind bei der Nutzung des Ansatzes einzuhalten:

- Die Fläche  $A_{c0}$  muss der Fläche  $A_{c1}$  geometrisch ähnlich sein.
- Der Schwerpunkt der Fläche  $A_{c1}$  muss in Belastungsrichtung mit dem Schwerpunkt der Belastungsfläche  $A_{c0}$  übereinstimmen.
- Die Abmessungen der Fläche  $A_{c1}$  und die zur Lastverteilung zur Verfügung stehende Höhe  $h$  müssen den Angaben in Bild 2-21 entsprechen. Die Spannungsausbreitung in Querrichtung erfolgt maximal mit einer Neigung von 1:2 bzw.  $26,6^\circ$  zur Krafttrichtung.



**Bild 2-21: Randbedingungen zur Bestimmung der Grenztragfähigkeit für Bauteile unter räumlicher Teilflächenbelastung nach DIN 1045-1 [DIN-2008]**

Die US-amerikanischen Betonnorm ACI 318-05 [ACI-2005] (Building Code Requirements for Structural Concrete) und der Model Code 2010 [CEB-2010] geben ebenfalls den Quadratwurzel-Ansatz vor, wobei die maximal zulässige Spannung im Model Code abweichend mit  $4,0 \cdot f_{cd}$  angenommen werden kann. Die Aufnahme der Spaltzugbean-

spruchungen muss durch entsprechende Spaltzugbewehrungen erfolgen, die Berücksichtigung dieser Bewehrung bei der Bestimmung der Grenztragfähigkeit ist mit dem Quadratwurzel-Ansatz aber nicht möglich.

Auf der Basis von Versuchsergebnissen entwickelten HAWKINS [Haw-1968] [Haw-1970], NIYOGI [Niy-1973] und SUZUKI / NAKATSUKA [Suz-1982] vom Quadratwurzel-Ansatz abweichende Formulierungen für die Tragfähigkeit unbewehrter Körper, die gute Übereinstimmungen mit den jeweiligen experimentell ermittelten Werten liefern. Die den Ansätzen zugrundeliegenden Versuchsreihen wurden entweder nur mit einer geringen Probekörperanzahl oder unter speziellen Rahmenbedingungen (z. B. sehr geringe Probekörperabmessungen) durchgeführt. Daher werden sie an dieser Stelle nicht näher beschrieben.

#### 2.4.2.2 Modelle für bewehrte Bauteile

Bei Versuchen an bewehrten Probekörpern wurden als Querbewehrungen größtenteils Wendeln verwendet (z. B. [Bon-2005], [Niy-1975]). Zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Bewehrungsformen kamen in einigen Fällen auch Bügel, Schlaufen, Gitter und Matten zum Einsatz (z. B. [Wur-1977]). Die Ergebnisse der Versuche an bewehrten Probekörpern verdeutlichen, dass die Grenztragfähigkeit bei Anordnung von Bewehrungen allgemein im Vergleich zum unbewehrten Körpern signifikant ansteigt.

Versuche von WURM / DASCHNER [Wur-1983] an bewehrten Scheiben mit den Abmessungen  $d/h/t = 40/80/12$  cm zeigten, dass die Tragwiderstände in jedem Fall deutlich über denen lagen, die auf Grundlage des Kubikwurzel-Ansatzes bestimmt wurden. Zur rechnerischen Beschreibung schlagen WURM / DASCHNER daher eine Aufteilung der bezogenen maximalen Lastspannung  $q_{1u}/f_{c,cyl}$  (Bezug auf  $f_{c,cyl} \approx f_{c,pr}$ ) vor. Der gesamte Tragwiderstand ergibt sich demnach additiv aus dem Anteil des unbewehrten Betons und einem bewehrungsbedingten Zusatzanteil zu

$$\left(\frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}}\right) = \left(\frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}}\right)_{unbew} + \Delta \left(\frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}}\right)_{bew} \quad \text{Gl. 2-16}$$

Aus den Versuchsergebnissen konnten für unbewehrte und bewehrte Körper unter ebener Teilflächenbelastung die folgenden Beziehungen ermittelt werden:

$$\left(\frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}}\right)_{unbew} = 0,15 \cdot \frac{A_{c1}}{A_{c0}} + 0,85 \quad \text{Gl. 2-17}$$

$$\Delta \left(\frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}}\right)_{bew} = k \cdot \rho_{1d} [\%] \quad \text{Gl. 2-18}$$

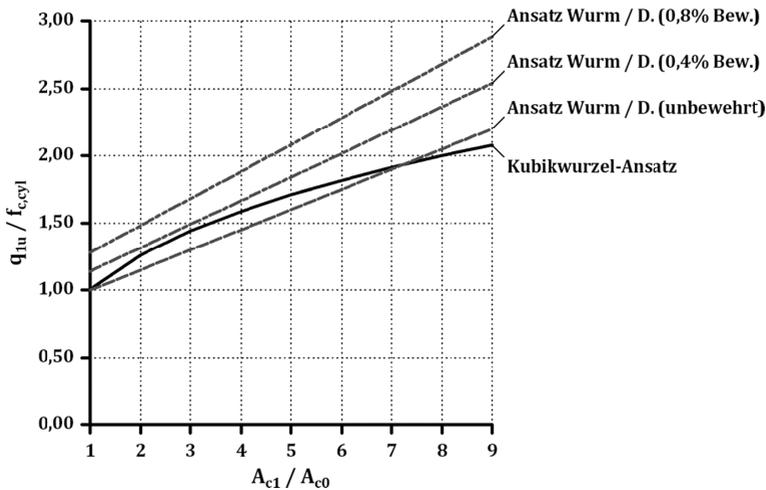
$$k = 0,29 + 0,0625 \cdot \frac{A_{c1}}{A_{c0}} \quad \text{Gl. 2-19}$$

Die Gültigkeit des Ansatzes wird von WURM / DASCHNER auf die untersuchten Flächenverhältnisse  $A_{c1}/A_{c0} \leq 9$  und geometrischen Bewehrungsgehalte  $\rho_{1d} \leq 0,8 \%$

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

(Betonstahl BSt 420/500 mit  $f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$ ) beschränkt. Bei Versuchen an Probekörpern mit höheren Bewehrungsgraden  $\rho_{1d} > 0,8 \%$  konnten keine weiteren Tragfähigkeitssteigerungen beobachtet werden.

Bild 2-22 zeigt eine vergleichende Auswertung der rechnerisch ertragbaren bezogenen Lastflächenspannungen  $q_{1u}/f_{c,cyl}$  nach dem Ansatz von WURM / DASCHNER mit den Ergebnissen des Kubikwurzel-Ansatzes für unbewehrte Bauteile. Die nach WURM / DASCHNER von unbewehrten Bauteilen ertragbaren Lastflächenspannungen stimmen gut mit den Ergebnissen des Kubikwurzel-Ansatzes überein. Mit ansteigendem Bewehrungsgrad nehmen die rechnerischen Lastflächenspannungen nach WURM / DASCHNER proportional zu.



**Bild 2-22: Rechnerisch ertragbare bezogene Lastflächenspannungen  $q_{1u}/f_{c,cyl}$  bei Bauteilen unter ebener Teilflächenbelastung**

Die Steigerung der Bruchlastspannungen beträgt durch den Einfluss der Bewehrung bei dem Bewehrungsgrad  $\rho_{1d} = 0,8 \%$  für die Lastkonzentrationen

- $A_{c1}/A_{c0} = 2$ :  $\max \Delta \left( \frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}} \right)_{bew} = 0,33$  bzw. 28 % der Maximalspannung,
- $A_{c1}/A_{c0} = 9$ :  $\max \Delta \left( \frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}} \right)_{bew} = 0,68$  bzw. 31 % der Maximalspannung.

Der Vergleich verdeutlicht den positiven Einfluss der Bewehrung im Kräfteinleitungsbereich auf die Höhe der Grenztragfähigkeit. Dem Ansatz von WURM / DASCHNER liegen Versuchsergebnisse von Probekörpern zugrunde, die eine konstruktive Bewehrungsdurchbildung entsprechend den Angaben des DAfStb-Hefts 240 [Gra-1991] aufwiesen. Weitere Angaben zum Einfluss abweichender Ausbildungen für Bauteile unter

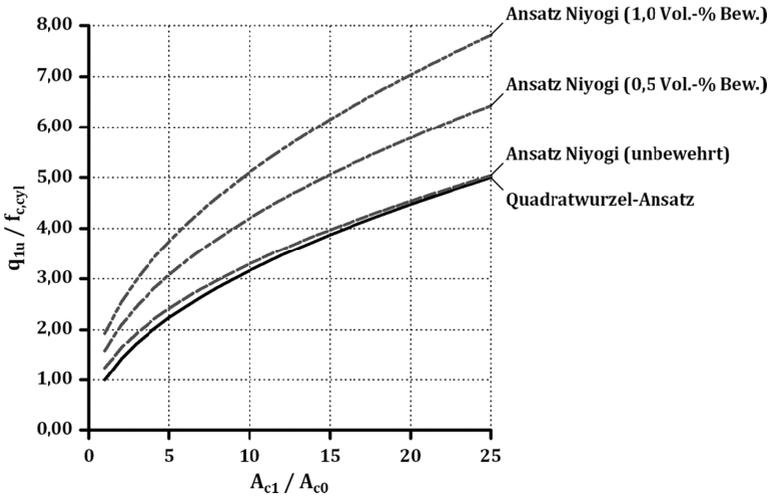
ebener Teilflächenbelastung werden nicht gegeben. Die Nutzung des Ansatzes wird durch die Begrenzung auf Bewehrungsgrade von  $\rho_{1d} \leq 0,8 \%$  und Lastkonzentrationen  $A_{c1}/A_{c0} \leq 9$  beschränkt.

Zum Einfluss der Bewehrung bei räumlichen Fällen der Teilflächenbelastung führte NIYOGI [Niy-1975] experimentelle Untersuchungen an bewehrten quaderförmigen Bauteilen durch. Entsprechend der Ergebnisse kann zur Abschätzung der Tragfähigkeit eine Erhöhung der aufnehmbaren Spannungen im Vergleich zu den unbewehrten Körpern errechnet werden, die sich in Abhängigkeit von dem volumetrischen Bewehrungsanteil im Einleitungsbereich  $p$  und dem empirisch bestimmten Parameter  $K$  ergibt. Das Verhältnis der Grenztragfähigkeiten beträgt hiernach

$$\frac{q_{1u,bew}}{q_{1u,unbew}} = 1 + K \cdot p . \quad \text{Gl. 2-20}$$

Die von NIYOGI untersuchten Probekörper wiesen volumetrische Bewehrungsgehalte von  $p = 0 \div 3,4 \%$  auf. Der Parameter  $K$  hängt entsprechend der Versuchsergebnisse maßgebend von der Umschnürungswirkung der Bewehrung ab. Für praktische Anwendungen empfiehlt NIYOGI auf Grundlage seiner Versuchsergebnisse die konservative Annahme des Parameters mit  $K = 55$ .

Die Analyse der rechnerisch ertragbaren bezogenen Lastflächenspannungen  $q_{1u}/f_{c,cyl}$  für Bauteile unter räumlicher Teilflächenbelastung in Bild 2-23 macht deutlich, dass die ermittelten Werte nach dem Ansatz von NIYOGI für unbewehrte Bauteile sehr gut mit den Ergebnissen des Quadratwurzel-Ansatzes übereinstimmen. Für bewehrte Körper sind nach NIYOGI deutlich höhere Grenztragfähigkeiten erreichbar. Die Steigerung der rechnerischen ertragbaren Lastflächenspannungen durch den Einfluss der Bewehrung beträgt bei dem volumetrischen Bewehrungsgehalt von  $p = 1,0 \text{ Vol-}\%$  unabhängig von der Lastkonzentration  $55 \%$ . Bei den von NIYOGI verwendeten Probekörperwürfeln mit Wendelbewehrungen entspricht der Bewehrungsgehalt von  $p = 1,0 \text{ Vol-}\%$  einem geometrischen Bewehrungsgrad von  $\rho_{1d} = A_s/A_c = 0,77 \%$ .



**Bild 2-23: Rechnerisch ertragbare bezogene Lastflächenspannungen  $q_{1u}/f_{c,cyl}$  bei Bauteilen unter räumlicher Teilflächenbelastung**

Der Vergleich der Ergebnisse zum ebenen und räumlichen Fall zeigt, dass die ertragbaren Lastflächenspannungen unbewehrter Bauteile im ebenen Fall allgemein geringer ausfallen. Unter dem Einfluss der Bewehrung im Kraffteinleitungsbereich steigen die ertragbaren Spannungen rechnerisch deutlich an. Die Effektivität der Bewehrung im räumlichen Fall ist entsprechend der betrachteten Ansätze ca. 80 % größer als im ebenen Fall.

Die Ergebnisse der empirischen Modellansätze bestätigen den positiven Einfluss der Bewehrung im Kraffteinleitungsbereich auf die ertragbaren Lastflächenspannungen. Die Eignung der Ansätze muss auf die in den Versuchen genutzten Randbedingungen beschränkt werden, da keine Untersuchungen zur allgemeinen Übertragbarkeit vorliegen. Weitere empirische Modellansätze für Bauteile unter ebener oder räumlicher Teilflächenbelastung, die die Wirkung der Bewehrung berücksichtigen, sind nicht bekannt.

### 2.4.3 Stabwerkmodelle

#### 2.4.3.1 Grundlagen

Stabwerkmodelle eignen sich zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Diskontinuitätsbereichen wie Kraffteinleitungszonen sehr gut, da mit ihnen sowohl ein Betondruck- wie auch ein Stahlzugversagen beschrieben werden kann. Untersuchungen zum Einsatz ebener und räumlicher Stabwerkmodelle wurden u. a. von NGUYEN [Ngu-2002], GUGELER

[Gug-1998], SUNDERMANN [Sun-1994], JENNEWEIN [Jen-1989] und SCHLAICH / SCHÄFER [Schl-2001] geführt.

Die für die Grenztragfähigkeit maßgebenden Elemente in Stabwerkmodellen zentrisch teilflächenbelasteter Bauteile sind

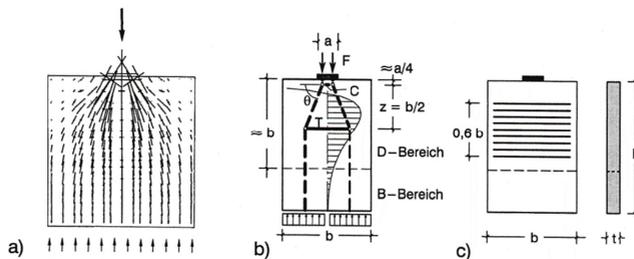
- die Querkug- bzw. Spaltzugstrebe(n) im Bauteil-Inneren,
- das von der Lastfläche ausgehenden Druckspannungsfeld bzw. die zugehörigen Druckstreben,
- der Knotenbereich direkt unterhalb der Lasteinleitung.

### 2.4.3.2 Grenztragfähigkeit infolge des Versagens der Spaltzugstrebe

Die Grenztragfähigkeit infolge des Versagens der Spaltzugstrebe ist erreicht, wenn die am Stabwerkmodell bestimmte Spaltzugkraft  $Z_{sp}$  durch die der Zugstrebe zugeordneten Bewehrung nicht mehr aufgenommen werden kann.

Die Zugkraft in der Spaltzugstrebe kann an ebenen oder räumlichen Stabwerken bestimmt werden (vgl. Kap. 2.3.2.1 und 2.3.3.1). Die Stabwerkmodellierung bestimmt die Lage der Zugstrebe im Bauteil und beeinflusst auch die Größe der resultierenden Zugkraft.

Bei der Zuordnung von Bewehrungen  $A_{s,sp}$  zur Zugstrebe wird angenommen, dass die diskreten Beanspruchungen der Strebe über eine gewisse Breite verteilt werden können. Zur Anrechnung der Bewehrung geben SCHLAICH / SCHÄFER [Schl-2001] die Breite des zugeordneten Bereichs bei gleichmäßig verteilter Bewehrung mit  $x/d = 0,60$  an (Bild 2-24).



**Bild 2-24:** Stabwerkmodellierung einer hohen zentrisch teilflächenbelasteten Scheibe [Schl-2001]  
 a) Hauptspannungsbild nach Elastizitätstheorie  
 b) Stabwerkmodell und Querspannungsverlauf  
 c) Anordnung der Bewehrung

Zur Abdeckung der bei Erreichen der Grenztragfähigkeit  $F_{Ru}$  auftretenden Zugkräfte  $Z_{sp}$  kann nach SCHLAICH / SCHÄFER die Streckgrenze des Bewehrungsstahls  $f_y$

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

---

vollständig ausgenutzt werden [Schl-2001]. Die Grenztragfähigkeit  $F_{Ru}$  infolge des Versagens der Spaltzugstrebe ergibt sich mit der bezogenen Spaltzugkraft  $Z_{sp}/F$  zu

$$F_{Ru} = \frac{A_{s,sp} \cdot f_y}{Z_{sp}/F} \quad \text{bzw.} \quad \frac{F_{Ru}}{F} = \frac{Z_{sp,y}}{Z_{sp}}. \quad \text{Gl. 2-21}$$

Die anhand konventioneller Stabwerkmodelle bestimmten Spaltzugkräfte resultieren alleinig aus der Umlenkung der Druckstreben und enthalten keine Anteile aus weiteren Effekten. Die Größe der Spaltzugkräfte ist zudem stark von der gewählten Stabwerkmodellierung abhängig.

### 2.4.3.3 Grenztragfähigkeit infolge des Versagens des Druckspannungsfelds bzw. der Druckstreben

In Krafterleitungszone treten flaschenhalsförmige Druckspannungsfelder auf, in denen Druck-Zug-Spannungszustände und weitgehend parallel zur Richtung der Hauptdruckspannung verlaufende Risse auftreten. Hierdurch wird die Tragfähigkeit der von der unmittelbaren Lasteinleitungszone ausgehenden Druckstreben beschränkt und kann damit die Grenztragfähigkeit des gesamten Bauteils bestimmen.

Experimentelle Untersuchungen zur Betondruckfestigkeit unter zweiaxialen Beanspruchungen von VECCHIO / COLLINS [Vec-1986], SCHÄFER et al. [Schä-1990], BAUMANN [Baum-1998] und FEHLING [Feh-2009] zeigten, dass die aufnehmbaren Druckspannungen besonders von der Orientierung der Risse abhängig sind. Für Bereiche mit Rissen parallel zur Richtung der Druckbeanspruchung empfehlen SCHÄFER et al. daher die Reduzierung der zulässigen Betondruckspannung auf  $\sigma_R = 0,8 \cdot f_c$  (in Bezug zur einaxialen Druckfestigkeit  $f_c$ ).

In DIN 1045-1 [DIN-2008] [DAfStb-2010] sowie im Eurocode 2 [EC-2005] [EC-2008] werden die Ansätze zur Berechnung des Bemessungswertes der Betondruckfestigkeit in Druckstreben aus Normalbeton auf Basis des Bemessungswertes der einaxialen Betondruckfestigkeit und mit Hilfe von Abminderungsbeiwerten angegeben. Für Druckstreben mit parallel verlaufenden Rissen wird die zulässige Druckspannung auf

$$\sigma_{Rd,max} = 0,75 \cdot f_{cd} \quad \text{Gl. 2-22}$$

begrenzt. Die in den Druckstreben auftretenden Querkraftkräfte sind nach DAfStb-Heft 525 [DAfStb-2010] ebenfalls durch Bewehrung aufzunehmen. Ohne genaueren Nachweis kann die Bewehrung der Querkraftstrebe für 22 % der Druckstrebenkraft ausgelegt werden. Im Falle einer unbewehrten Druckstrebe ist die ertragbare Druckspannung auf

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot f_{cd} \quad \text{Gl. 2-23}$$

zu begrenzen.

2.4.3.4 Grenztragfähigkeit infolge des Versagens des Knotenbereichs an der Lasteinleitung

Die Grenztragfähigkeit zentrisch teilflächenbelasteter Bauteile wird maßgebend durch die Tragfähigkeit des Druckknotens im Bereich der Lastfläche bestimmt. Analog zu den Fällen der Teilflächenbelastung werden ebene und räumlichen Druckknoten unterschieden. Bild 2-25 zeigt den Knotenbereich für den Nachweis ebener Druckknoten nach DIN 1045-1 [DIN-2008].

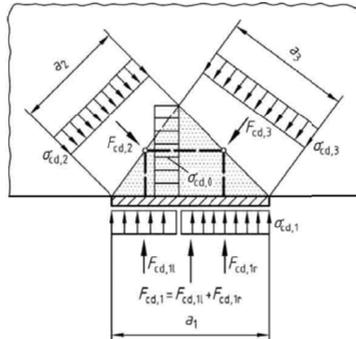


Bild 2-25: Knotenbereich für den Nachweis eines ebenen Druckknotens [DIN-2008]

Nach DIN 1045-1 [DIN-2008] sind die in ebenen Druckknoten zulässigen Bemessungsdruckspannungen für Normalbeton auf

$$\sigma_{Rd,max} = 1,1 \cdot f_{cd} \quad \text{Gl. 2-24}$$

begrenzt. SCHLAICH / SCHÄFER [Schl-2001] unterscheiden ebene Knoten ohne bzw. mit Umschnürungen durch Bewehrungen (Bild 2-26).

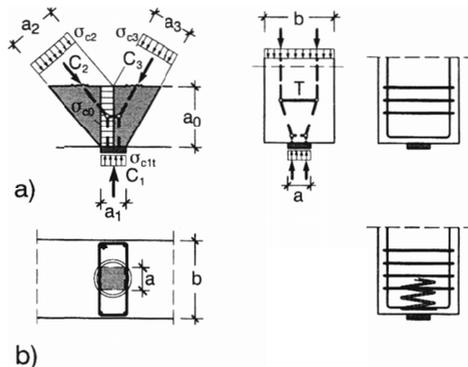


Bild 2-26: Teilflächenbelasteter Knoten nach SCHLAICH / SCHÄFER [Schl-2001]  
 a) ohne Umschnürung  
 b) durch Wendelbewehrung umschnürt

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

Die zulässigen Druckspannungen auf der Lastfläche sind nach SCHLAICH / SCHÄFER [Schl-2001] für ebene Knoten ohne Umschnürung:

$$\sigma_{c1t} = \frac{b}{a} \cdot f_{cd} \quad \text{Gl. 2-25}$$

mit

$f_{cd}$  Bemessungswert der einaxialen Betondruckfestigkeit

$a$  Lastflächenbreite

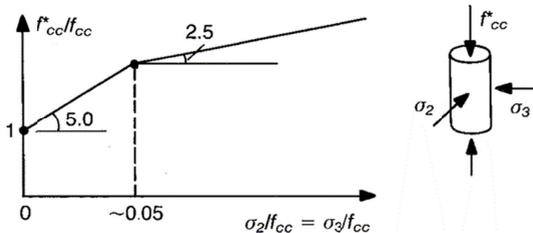
$b$  Körperbreite

Für ebene Druckknoten mit Umschnürung kann hiernach eine um  $\Delta f_{cd}$  erhöhte effektive Druckfestigkeit angesetzt werden, da durch die umschnürende Bewehrung Querdehnungen behindert und druckfestigkeitssteigernde Querdruckspannungen erzeugt werden. Die zulässige Druckbeanspruchung auf der Lastfläche ist dann mit

$$\sigma_{c1t} = \frac{b}{a} \cdot f_{cd} + \Delta f_{cd} \leq 3,3 \cdot f_{cd} \quad \text{Gl. 2-26}$$

gegeben. SCHLAICH / SCHÄFER merken an, dass die erhöhten Festigkeiten durch Umschnürungen erst bei relativ großen Betonstauchungen wirksam werden. In diesem Zustand muss mit Abplatzungen nicht umschnürter Bereiche gerechnet werden. Die Stöße und Verankerungen der Umschnürungsbewehrung sind daher für die maximal aufnehmbare Zugkraft auszulegen und die Stäbe im Knotenbereich mit geringen Abständen anzuordnen.

Für räumliche Druckknoten geben SCHLAICH / SCHÄFER zur Bestimmung der zulässigen Druckspannung die Erhöhung der einaxialen Druckfestigkeit mit dem Quadratwurzel-Ansatz nach Gl. 2-14 an. Zur Berücksichtigung der Wirkung von Umschnürungsbewehrungen empfehlen sie, die zusätzliche Steigerung der effektiven Druckfestigkeit  $\Delta f_{cd}$  mit den Ansätzen für umschnürte Druckglieder nach CEB/fib-Model Code 1990 [CEB-1993] abzuschätzen. Die CEB/fib-Model Codes 1990 [CEB-1993] und 2010 [CEB-2010] beschreiben das Verhältnis zwischen den ertragbaren Spannungen unter dreiaxialen und einaxialen Druckbeanspruchungen durch einen bilinearen Ansatz (Bild 2-27).



**Bild 2-27:** Ansatz zur Betondruckfestigkeit unter dreiaxialer Druckbeanspruchung nach [CEB-1993]

Zur Bestimmung der Größe der Umschnürungsspannung sind Ansätze in Abhängigkeit von der Ausbildung des umschnürten Querschnitts und der Bewehrungsform angegeben. Die Umschnürungsspannung  $\sigma_2$  bestimmt sich

- bei kreisförmiger Querschnittsfläche und ringförmiger Bewehrung zu

$$\sigma_2 = \omega_c \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{s_c}{d_c}\right), \quad \text{Gl. 2-27}$$

- bei kreisförmiger Querschnittsfläche und wendelartiger Bewehrung zu

$$\sigma_2 = \omega_c \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{s_c}{d_c}\right)^2, \quad \text{Gl. 2-28}$$

- bei rechteckiger Querschnittsfläche und bügelartiger Bewehrung zu

$$\sigma_2 = \omega_c \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{s_c}{a_c}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_c}{b_c}\right). \quad \text{Gl. 2-29}$$

Parameter:

$$\omega_c = \frac{A_{sc} \cdot f_{yd}}{d_c \cdot s_c \cdot f_{cd}}$$

Umschnürungs-Bewehrungsgrad bei kreisförmigem Querschnitt

$$\omega_c = \min\left(\frac{A_{sy} \cdot f_{yd}}{a_c \cdot s_c \cdot f_{cd}}; \frac{A_{sz} \cdot f_{yd}}{b_c \cdot s_c \cdot f_{cd}}\right)$$

Umschnürungs-Bewehrungsgrad bei rechteckigem Querschnitt

$A_{sc}$

Fläche der Umschnürungsbewehrung

$f_{yd}; f_{cd}$

Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls bzw. der Betondruckfestigkeit

$s_c$

Abstand der Bewehrungsstäbe in Richtung der Hauptdruckspannung entsprechend Bild 2-28

$d_c; a_c; b_c$

Außenabmessung der Umschnürungsbewehrung entsprechend Bild 2-28

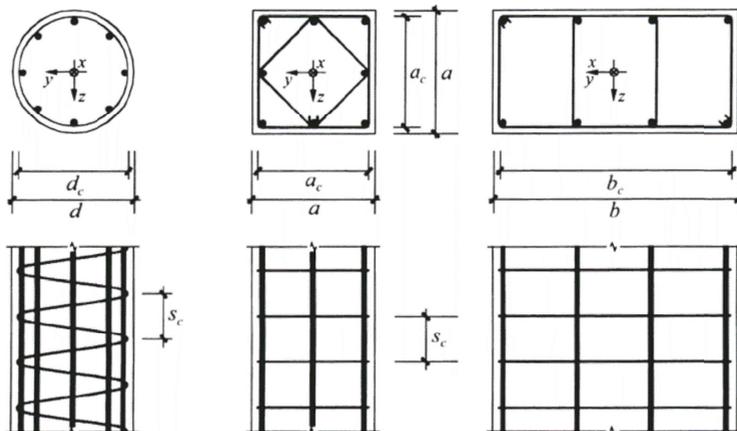
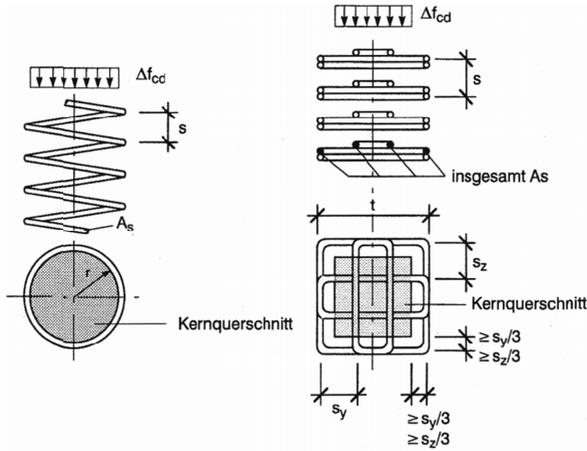


Bild 2-28: Druckglieder mit Umschnürungsbewehrung nach [CEB-2010]

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

Die Ansätze der CEB/fib-Model Codes 1990 und 2010 sind auf vollflächig belastete Querschnitte abgestimmt. In teilflächenbelasteten Bauteilen erfolgt die Umschnürung des Betons zweckmäßig im Bereich der begrenzten Lastfläche bzw. einer die Lastfläche umgebenden Kernquerschnitts. SCHLAICH / SCHÄFER [Schl-2001] empfehlen, die umschnürten Kernbereiche bei wendel- bzw. bügelartiger Bewehrungsbildung entsprechend Bild 2-29 anzunehmen.



**Bild 2-29: Umschnürte Kernbereiche nach [Schl-2001]**

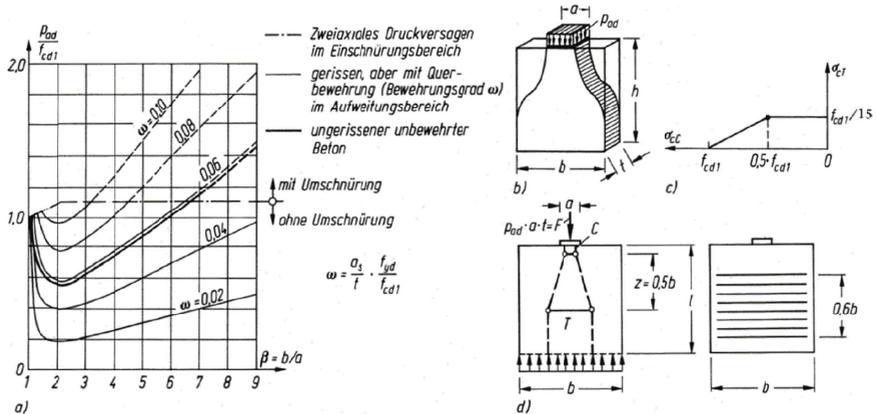
Untersuchungen zur Wirksamkeit von Umschnürungsbewehrungen in Einleitungsbereichen konzentrierter Druckkräfte sind nicht bekannt. Die Eignung der vorgestellten Ansätze für teilflächenbelastete Bauteile ist experimentell nicht belegt.

### 2.4.4 Modelle mit Versagen bei Erstrissbildung

Bei Modellen mit Versagen bei Erstrissbildung ist der Grenzzustand erreicht, wenn die Spaltzugspannungen im ungerissenen Körper die Betonzugfestigkeit erreichen. SCHÄFER / BAUMANN [Schü-1986] nutzten zur Ermittlung der Grenztragfähigkeit zentrisch teilflächenbelasteter ebener Körper ein Modell, bei dem in einer repräsentativen Volumeneinheit die Mittelung der Spannungen erfolgt (RVEM-Konzept). Das Versagen wird hierbei als der Zustand definiert, bei dem der Mittelwert der Zugspannungen in der „Repräsentativen Volumeneinheit“ (RVE) der Betonzugfestigkeit entspricht.

Die Größe der RVE wird in Abhängigkeit des Größtkorndurchmesser  $max d_k$  als Würfel mit einer Kantenlänge von  $d_{RVE} = 2,5 \div 3,0 \cdot max d_k$  angegeben. Auf Basis dieses Konzepts und unter Annahme eines vereinfachten Bruchkriteriums für den zweiaxialen Spannungszustand gibt BAUMANN [Baum-1998] die Tragfähigkeit unbewehrter teilflächenbelasteter Scheiben an.

SCHLAICH / SCHÄFER [Schl-2001] ergänzten die rechnerischen Tragfähigkeiten für bewehrte Scheiben anhand der Auswertung eines Stabwerkmodells, das sich an dem Spannungszustand des ungerissenen Bauteils orientiert ( $z = 0,5 \cdot d$ ). Bild 2-30 fasst die Ergebnisse zusammen.



**Bild 2-30: Bemessungstragfähigkeit unbewehrter und bewehrter teilflächenbelasteter Scheiben nach SCHLAICH / SCHÄFER [Schl-2001]**  
 a) Bemessungsdiagramm  
 b) Geometrie des Spannungsfelds  
 c) Bruchmodell für unbewehrte Körper (Bruchspannungszustand)  
 d) Modell und Bewehrungsführung des bewehrten Körpers

Entsprechend dieser Berechnungen ergibt sich der Bewehrungsgrad, bei dem die bewehrte gerissene Scheibe die Tragfähigkeit des unbewehrten Bauteils erreicht, zu  $\min \omega = 0,06$ . Die Umrechnung des Bewehrungsgrads  $\omega$  in den geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$  ergibt

$$\rho_{1d} = \omega \cdot 0,6 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad \text{Gl. 2-30}$$

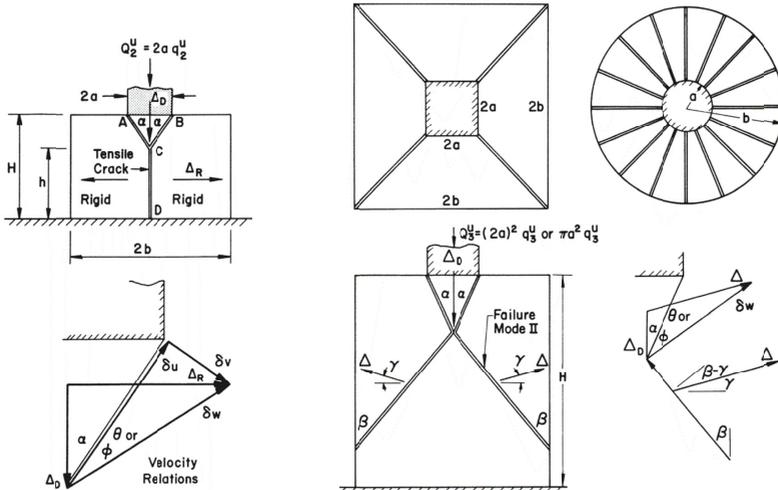
Die Modelle mit Versagen bei Erstrissbildung eignen sich zur Bestimmung der Tragfähigkeit unbewehrter Bauteile. Die Analyse der Einflüsse der Bewehrung und Rissbildung in Kräfteinleitungsbereichen ist nur in Kombination mit anderen Modellen möglich.

### 2.4.5 Starr-plastische Bruchmodelle

In starr-plastischen Bruchmodellen wird das Versagen durch die Ausbildung eines Bruchkeils (ebener Fall) bzw. einer Bruchpyramide (räumlicher Fall) direkt unterhalb der belasteten Fläche charakterisiert. CHEN [Che-1975] leitete für unbewehrte Bauteile unter ebener und räumlicher Teilflächenbelastung Modelle zur rechnerischen Beschreibung des Bruchzustands ab. Die Grenztragfähigkeiten der Körper werden durch die

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

rechnerischen Tragwiderstände der Fugen bestimmt. CHEN nutzte zur Ableitung ein modifiziertes Bruchkriterium nach MOHR / COULOMB. Bild 2-31 zeigt die verwendeten starr-plastischen Bruchmodelle für ebene und räumliche Fälle der Teilflächenbelastung mit den Verschiebungsbeziehungen der Teilkörper.

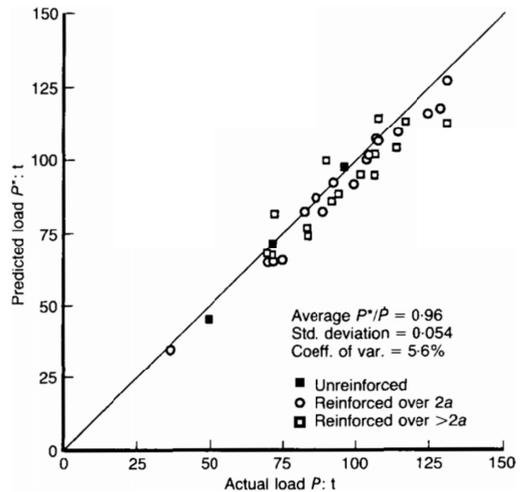
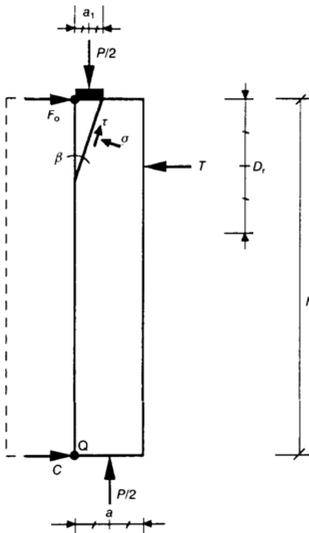


**Bild 2-31: Starr-plastische Modelle für den ebenen Fall (links) bzw. räumlichen Fall (rechts) nach CHEN [Che-1975]**

Weitere starr-plastische Modelle zur Bestimmung der Grenztragfähigkeit unbewehrter Körper erarbeiteten HAWKINS [Haw-1968] und SUNDERMANN / SCHÄFER [Sun-1997]. Die Modellansätze für unbewehrte Körper basieren auf gerissenen Bauteilen und berücksichtigen damit den Einfluss der Rissbildung.

Starr-plastische Modelle ermöglichen zudem die Betrachtung von Stahlbetonbauteilen mit Berücksichtigung der Einflüsse der Bewehrung. Bild 2-32 zeigt einen Modellansatz nach IBELL / BURGOYNE [Ibe-1994-1], mit dem bewehrte Scheiben untersucht werden können.

IBELL / BURGOYNE berücksichtigen die Resultierende der Kräfte in den Spaltzugbewehrungen („ $T^*$ “ in Bild 2-32 links) vereinfachend und nehmen dazu an, dass alle Bewehrungen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit die Fließspannung erreichen. Sie zeigen anhand des Vergleichs ihrer Versuchs- und Berechnungsergebnisse an unbewehrten und bewehrten Scheiben (Bild 2-32 rechts), dass starr-plastische Modelle auch zur Berechnung bewehrter Körper geeignet sind. Die Untersuchungen zur Eignung des Modells beschränken sich auf eine geringe Zahl von Versuchskörpern. Für eine erweiterte Anwendung sind zusätzliche Analysen u. a. zu den im Bruchzustand resultierenden Zugkräften in der Bewehrung erforderlich.



**Bild 2-32:** Starr-plastisches Modell für bewehrte Scheiben nach [Ibe-1994-1] (links), Ergebnisse des Vergleichs von Versuchsnachrechnungen (rechts)

#### 2.4.6 Schlussfolgerungen

Die Betrachtung der vorgestellten Modellansätze zur rechnerischen Bestimmung der Grenztragfähigkeit teilflächenbelasteter Bauteile zeigt, dass die Einflüsse der Rissbildung, der Spaltzugbewehrung und deren konstruktive Durchbildung im Kräfteeinleitungsbereich nicht oder nur vereinfacht erfasst werden können. Die Ergebnisse des Vergleichs der unterschiedlichen Ansätze und die Schlussfolgerungen hieraus sind:

- Mit empirischen Modellen, die auf Versuchsergebnissen von bewehrten Probekörpern basieren, können die Einflüsse der Spaltzugbewehrung auf die Grenztragfähigkeit berücksichtigt werden. Die Eignung der Ansätze ist auf die in den Versuchen genutzten Randbedingungen beschränkt. Durch einen umfassenden Vergleich von Versuchsdaten sind detailliertere Ansätze und Belege möglich.
- Die mit Stabwerkmodellen ermittelten Grenztragfähigkeiten sind stark von der gewählten Stabwerkmodellierung beeinflusst. Bei konventionellen Modellen resultieren die Spaltzugkräfte allein aus der Umlenkung der Druckstreben. Die Abbildung der in Versuchen beobachteten zusätzlichen Bewehrungszugkräfte ist nicht möglich. Zur Bestimmung der zulässigen Druckspannungen in den Druckstreben und den ggf. umschnürten Knoten liegen nur wenige vereinfachte Ansätze vor, mit denen eine realistische Bestimmung der Grenztragfähigkeit nur in Einzelfällen möglich ist.

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

---

- Bei Modellen mit Versagen bei Erstrissbildung sind ansatzbedingt keine Rückschlüsse auf die Wirkung der Spaltzugbewehrung möglich.
- Starr-plastische Modelle basieren auf den in Versuchen beobachteten Versagensmechanismen mit Bruchkeil- bzw. Bruchpyramidenbildung sowie einem vollständig gerissenen Körper und ermöglichen damit eine realitätsnahe Abbildung des Bruchzustands. Zur Bestimmung der Grenztragfähigkeit von bewehrten Bauteilen können die Bewehrungszugkräfte berücksichtigt werden. Die Höhe der auftretenden Bewehrungszugkräfte ist dazu im Vorwege zu ermitteln, wobei hierzu nur vereinfachte Ansätze vorliegen.

Zur realitätsnahen Bestimmung der Grenztragfähigkeit bewehrter Bauteile unter Teilflächenbelastung mit Berücksichtigung der Rissbildung und konstruktiven Durchbildung sind daher weitere Untersuchungen zur Anpassung bzw. Erweiterung der bestehenden Ansätze erforderlich.

### 2.5 Einfluss der konstruktiven Bewehrungsdurchbildung

Verschiedene Versuchsserien (u. a. [Wur-1977] [Wur-1983] [Bon-2005]) bestätigten, dass die konstruktive Durchbildung von Krafteinleitungsbereichen einen maßgebenden Einfluss auf das Tragverhalten aufweist. In der Fachliteratur sowie den aktuellen Normen sind diesbezüglich unterschiedliche Angaben und Empfehlungen enthalten.

Die aktuellen deutschen und europäischen Normenwerke zum Massivbau enthalten nur wenige Angaben zur konstruktiven Durchbildung von Krafteinleitungsbereichen. Als Bewehrungsformen werden neben Wendeln überwiegend Bügel und „Haarnadeln“ empfohlen. Bei ausgedehnten Wänden können auch gerade Stäbe zur Anwendung kommen (z. B. DIN 1045-1 [DIN-2008], Eurcocode 2 [EC-2005] [EC-2008]). Auf eine ausreichende Verankerung der Spaltzugbewehrung wird stets hingewiesen.

In Versuchsserien von WURM / DASCHNER [Wur-1977] [Wur-1983], NIYOGI [Niy-1975] und BONETTI [Bon-2005] wurden unterschiedliche Bewehrungsformen wie Wendeln, Bügel, Matten untersucht. Die bei der Übertragung von Vorspannkraften im räumlichen Fall häufig eingesetzten wendelartigen Spaltzugbewehrungen zeigten im Vergleich mit anderen Ausbildungen bei gleichem Bewehrungsgrad die beste Eignung zur Steigerung der Grenztragfähigkeit. Bei dünnen Probekörperscheiben zur Untersuchung des ebenen Falls kamen überwiegend außenliegende Bügel zur Anwendung. Die experimentellen Untersuchungen zur günstigsten Anordnung der Bewehrung im Krafteinleitungsbereich erbrachten keine eindeutigen Ergebnisse, da diese an sehr unterschiedlichen Probekörpern bei teilweise abweichenden Versagensarten erzielt wurden.

Tabelle 2-2 fasst unterschiedliche Empfehlungen zur zweckmäßigen Bewehrungsbildung in Kraffteinleitungsbereichen aus der Fachliteratur und aus Normenwerken zusammen, die auf theoretischen Ansätzen oder empirischen Untersuchungsergebnissen basieren. Unterscheidungen zwischen den unterschiedlichen Fällen der Teilflächenbelastung (eben oder räumlich) und den Bewehrungsarten oder –graden werden dabei nicht vorgenommen.

**Tabelle 2-2: Empfehlungen für die konstruktive Durchbildung von Kraffteinleitungsbereichen**

| Quelle                                | Anordnung der Spaltzugbewehrung                                   |                         |                            | Hinweise   |
|---------------------------------------|---|-------------------------|----------------------------|--|
|                                       | $x_{B,a}/d \div x_{B,e}/d$  | $x_{B,s}/d$             | Aufteilung                 |  |
| LEONHARDT<br>[Leo-1977] [Leo-1986]    | Aufteilung entspr. Spannungsverteilung<br>(0,00 ÷ 0,24)<br>÷ 1,00 | 0,10 ÷ 0,50             | Zustand I<br>ungleichmäßig | zusätzlich konstruktive<br>Randbewehrung   |
| CEB-FIB Model<br>Code 1990 [CEB-1993] | $x_{B,s}/d \mp 0,30$  | $0,3 \cdot (1 + d_1/d)$ | gleichmäßig                | geringe Stababstände<br>empfohlen  |
| BS 8110<br>[BSI-1985]                 | 0,10 ÷ 1,00   | 0,55                    | gleichmäßig                | k. A.  |
| MSZ 15022/4<br>(Ung., aus [Bal-1990]) | 0,50 ÷ 1,00   | 0,75                    | gleichmäßig                | ausreichende<br>Verankerung beachten   |
| FOSTER / ROGOWSKI<br>[Fost-1997]      | 0,20 ÷<br>(1,20 ÷ 1,60)   | 0,70 ÷ 0,90             | gleichmäßig                | k. A.  |
| SCHLAICH / SCHÄFER<br>[Schl-2001]     | 0,20 ÷ 0,80   | 0,50                    | gleichmäßig                | sichere Verankerung<br>beachten  |
| ÖNORM B4700<br>[ÖNORM-2001]           | 0,10 ÷ 0,70   | 0,40                    | gleichmäßig                | ausreichende<br>Verankerung beachten   |
| AASHTO 2007<br>[AAS-2007]             | 0,00 ÷ 1,25<br>(zentr. Belast.)                                   | 0,50                    | annähernd<br>gleichmäßig   | zusätzlich konstr. Rand-<br>bewehrung, Stababstand<br>≤ 24d <sub>s</sub> bzw. 300 mm |
| DAfStb-Heft 240<br>[Gra-1991]         | 0,10 ÷ 1,00<br>alternativ:<br>vgl. LEONHARDT                      | 0,40                    | linear abgestuft           | zusätzlich konstruktive<br>Randbewehrung   |
| LECOINTRE / CALGARO<br>[Lec-2010]     | 0,00 ÷ 1,20   | ~0,30                   | abgestuft                  | speziell für Einleitung<br>schräg einwirkender<br>Vorspannkkräfte                    |
| MILDNER<br>[Mil-1984]                 | 0,30 ÷ 0,40   | k. A.                   | konzentriert               | speziell für Auflager-<br>bänke von Brücken  |
| RÜSCH<br>[Rüsch-1972]                 | 0,50 ÷ 0,70   | 0,60                    | konzentriert               | kompaktes Zugband  |

$x_{B,a}/d \div x_{B,e}/d$                       Anfang bzw. Ende des bewehrten Bereichs  
 $x_{B,s}/d$                                       Schwerpunktlage Bewehrung

Neben den Angaben zur geeigneten Anordnung der Spaltzugbewehrung werden in verschiedenen Normen sowie der Fachliteratur Empfehlungen zur Beschränkung der Spannungen bzw. Dehnungen in der Betonstahlbewehrung gegeben, wodurch eine

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

geringe Rissbildung im Kräfteleitungsbereich sichergestellt werden soll. In vielen Fällen werden für Verankerungsbereiche von Spanngliedern mit nachträglichem bzw. ohne Verbund nur geringere Spannungen bzw. Dehnungen der Spaltzugbewehrung zugelassen. Tabelle 2-3 gibt einen Überblick über normative Grenzwerte und Empfehlungen aus der Literatur.

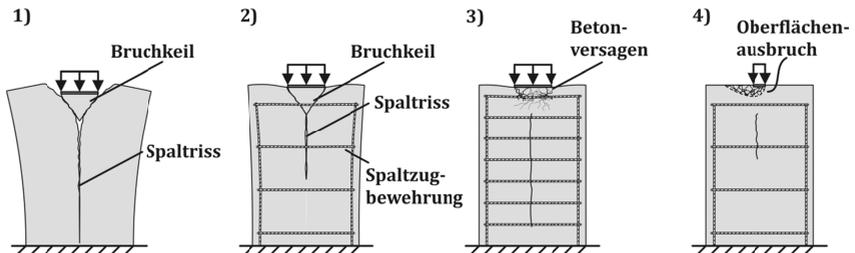
**Tabelle 2-3: Grenzwerte und Empfehlungen zu zulässigen Beanspruchungen der Spaltzugbewehrungen zur Sicherstellung einer ausreichenden Gebrauchstauglichkeit infolge Rissbildung**

| Quelle   | Grenzwert / Empfehlungen für Spaltzugbewehrungen in   |  |
|--|---|--|
|  | Kräfteleitungsbereichen allgemein   | Verankerungsbereichen von Spanngliedern  |
| DIN 1045-1<br>[DIN-2008]   | $\max \sigma_{s,ULS} = \frac{f_{yk}}{1,15}$   | k. A.  |
| DIN FB 102<br>[DIN-2009-1]   | $\max \sigma_{s,ULS} = \frac{f_{yk}}{1,15}$   | $\max \sigma_{s,ULS}(1,35 \cdot P_{m,t}) = \frac{f_{yk}}{1,15}$  |
| DIN EN 1992-1-1<br>[EC-2005] [EC-2008]<br>DIN EN 1992-2<br>[EC-2010] | $\max \sigma_{s,ULS} = \frac{f_{yk}}{1,15}$   | DIN EN 1992-1-1:<br>$\max \sigma_{s,ULS}(1,0 \cdot P_{m,t}) = 300 \text{ N/mm}^2$<br>DIN EN 1992-2:<br>$\max \sigma_{s,ULS}(1,0 \cdot P_{m,t}) = 250 \text{ N/mm}^2$ |
| CEB-FIB Model Code<br>1990 und 2010<br>[CEB-1993] [CEB-2010]         | $\max \sigma_{s,ULS} = \frac{f_{yk}}{1,15}$   | $\max \sigma_{s,ULS}(1,1 \cdot P_{m,t}) = \frac{f_{yk}}{1,15}$   |
| BS 8110<br>[BSI-1985]  | k. A.   | $\max \sigma_{s,SLS}(1,0 \cdot P_{m,t}) = 200 \text{ N/mm}^2$  |
| AASHTO 2007<br>[AAS-2007]  | $\max \sigma_{s,ULS} = \phi \cdot f_y$<br>mit $\phi = 0,90$   | $\max \sigma_{s,SLS}(1,2 \cdot P_{jack}) = 140 \text{ N/mm}^2$   |
| SCHLAICH / SCHÄFER<br>[Schl-2001]                                    | $\max \sigma_{s,ULS} = \frac{f_{yk}}{1,15}$   | k. A.  |
| MEHLHORN<br>[Meh-2007]   | k. A.   | $\max \varepsilon_{s,ULS} = 1 \text{ ‰}$   |
| BRUGGELING<br>[Bru-1990]   | $\max \sigma_{s,SLS,\phi 10 \text{ mm}} = 200 \text{ N/mm}^2$<br>$\max \sigma_{s,SLS,\phi 12 \text{ mm}} = 185 \text{ N/mm}^2$<br>$\max \sigma_{s,SLS,\phi 16 \text{ mm}} = 160 \text{ N/mm}^2$ | k. A.  |
| LEONHARDT<br>[Leo-1977] [Leo-1986]                                   | $\max \sigma_{s,SLS} = 180 \div 200 \text{ N/mm}^2$<br>für Betonstahl BSt IV<br>( $f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$ )   | k. A.  |

Die zahlreichen Angaben zur konstruktiven Durchbildung und zulässigen Beanspruchung der Spaltzugbewehrung zeigen, dass die Relevanz beider Aspekte anerkannt ist. Die Grenzwerte bzw. Empfehlungen weisen zum Teil deutliche Unterschiede auf, da diese auf Untersuchungsergebnissen basieren, die mit verschiedenen Methoden und Annahmen ermittelt wurden. Es fehlen Hinweise zu den Randbedingungen, wie z. B. zum Fall der Teilflächenbelastung und zur Lastkonzentration, unter denen die entsprechenden Anordnungen und Grenzwerte für die konstruktive Auslegung der Bewehrung genutzt werden können.

## 2.6 Tragmechanismen und Versagensarten

Anhand der Analyse und des Vergleichs der betrachteten Ergebnisse aus experimentellen und numerischen Untersuchungen sowie der theoretischen Ansätze für teilflächenbelastete Betonbauteile können vier charakteristische Versagensarten unterschieden werden, die auf spezielle Versagensmechanismen zurückgeführt werden. Die Rissbildung im Krafteinleitungsbereich und die Spaltzugbewehrungen weisen dabei wesentliche Einflüsse auf das Tragverhalten auf und sind teilweise bestimmend für die Grenztragfähigkeit. Die vier charakteristischen Versagensarten sind in Bild 2-33 skizziert und werden nachfolgend erläutert.



**Bild 2-33: Charakteristische Versagensarten unbewehrter und bewehrter Betonkörper unter Einwirkung konzentrierter Druckkräfte**

### 1) Schlagartiges Versagen bei unbewehrten oder gering bewehrten Körpern

In unbewehrten Körpern treten infolge der Umlenkung von Druckspannungstrajektorien sowie gegebenenfalls infolge plastischer Bruchprozesse im unmittelbaren Krafteinleitungsbereich Spalt- und Randzugspannungen auf, die zunächst durch den Beton aufgenommen werden. Überschreiten die auftretenden Zugspannungen die Betonzugfestigkeit, so versagt der Körper schlagartig durch Rissbildung mit einhergehender Zerstörung des Körpers. Das Bruchbild zeigt dabei typischerweise einen Bruchkeil (ebener Fall) bzw. eine Bruchpyramide (räumlicher Fall) direkt unterhalb der belasteten Fläche.

Eine zu gering ausgelegte Spaltzugbewehrung, die nicht in der Lage ist, die beim Aufreißen des Querschnitts frei werdende Zugkraft aufzunehmen, beeinflusst das Versagensbild nicht. Die Höhe der Grenztragfähigkeit des teilflächenbelasteten Körpers wird bei dieser Versagensart maßgebend durch die Größe der Betonzugfestigkeit bestimmt.

### 2) Versagen der Spaltzugbewehrung bei hinreichend bewehrten Körpern

Durch den Einbau einer hinreichend ausgelegten Spaltzugbewehrung können auch nach eingetretener Rissbildung noch Laststeigerungen erreicht werden. Die Spaltzugbewehrung nimmt in diesem Fall die auftretenden Spaltzugkräfte im Inneren des

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

---

Körpers auf und ermöglicht so die Spannungsausbreitung quer zur Lastrichtung auch nach Überschreiten der Betonzugfestigkeit.

Unterhalb der Lastplatte liegt in diesem Fall ein ausgeprägter mehraxialer Druckspannungszustand vor. Im Bereich der Lastplattenränder treten aufgrund der dort vorliegenden Spannungsspitzen Keilrisse auf. Das Versagen erfolgt, wenn sich der Spaltriss infolge der Überbeanspruchung der Spaltzugbewehrung aufweitet, verlängert und schließlich mit den Keilrissen vereint. Es entsteht ein Bruchkeil bzw. eine Bruchpyramide unterhalb der Lastplatte. Bei dieser Versagensart bestimmen die Überbeanspruchung des Betonstahls der Spaltzugbewehrung sowie die Ausbildung des Bruchkeils bzw. der Bruchpyramide die Größe der Grenztragfähigkeit.

### 3) Versagen des Betons im Bereich der Lasteinleitung bei hoch bewehrten Körpern

Wird die entstehende Spaltzugkraft durch eine ausreichend tragfähig ausgelegte Bewehrung aufgenommen, so werden die im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich ertragbaren Druckspannungen maßgebend. Aufgrund des ausgeprägten mehraxialen Spannungszustands sind hierbei Lastflächenspannungen erreichbar, die die einaxiale Druckfestigkeit übertreffen.

Werden die ertragbaren Druckspannungen überschritten, kommt es unmittelbar unterhalb der Lastplatte zu einem Betonversagen, das von einer deutlichen Steigerung der Querdehnung des belasteten Betons und einer merkbaren Lastplatteneinsenkung begleitet wird. Hierdurch werden beim ebenen Fall der Teilflächenbelastung in der Regel Betonabplatzungen hervorgerufen, bevor die vollständige Ausbildung des Bruchkeils erreicht wird.

Beim räumlichen Fall bildet sich die Bruchpyramide vollständig aus. Die gesteigerten Querdehnungen sowie die Verschiebung der Bruchpyramide in den Körper hinein führen zu einer Körperaufweitung und wecken damit zusätzliche Umschnürungsspannungen in der Spaltzugbewehrung. Durch diese Mechanismen wird auch bei großen Lastplatteneinsenkungen ein relativ hohes Traglastniveau ermöglicht.

Die Höhe der Grenztragfähigkeit wird durch das lokale Betonversagen im Bereich der unmittelbaren Krafteinleitung bestimmt. Die Größe der maximal aufnehmbaren Lastflächenspannung ist von der Druckfestigkeit des Betons, der Bruchkeil- bzw. Bruchpyramidenbildung sowie dem Querdehnverhalten und den auftretenden Umschnürungsspannungen abhängig.

### 4) Grundbruchartiges Versagen des die Lastplatte umgebenden Betons

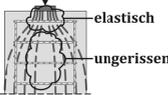
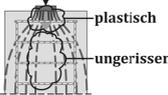
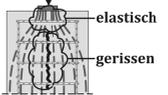
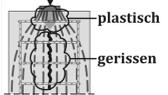
Bei sehr großen Lastkonzentrationen ( $m = A_{c1}/A_{c0} \geq \sim 100$ ) kann es zu einem oberflächennahen Betonversagen mit schollenartigen Abplatzungen in der Nähe des Laststempels kommen [Lie-1989]. Diese Versagensart wird hier nicht weiter verfolgt.

Die Rissbildung bestimmt die Grenztragfähigkeit bei der Versagensart 1 und führt in gerissenen Körpern zu einer Umverteilung der Spaltzugbeanspruchungen, wobei die konstruktive Durchbildung einen großen Einfluss auf die Verteilung und Größe der Bewehrungsbeanspruchungen aufweist.

Die Spaltzugbewehrung beeinflusst das Tragverhalten und die erreichbare Grenztragfähigkeit bei den Versagensarten 2 und 3 maßgeblich. Die Bewehrung dient dabei der Umlenkung von Druckspannungstrajektorien, der Begrenzung der Spaltrissbreite, der Umschnürung des unmittelbaren Krafteinleitungsbereichs sowie der Behinderung der Querverformung und Aufweitung des Körpers.

Zur weiteren Untersuchung werden vier charakteristische Zustände teilflächenbelasteter Bauteile unterschieden, bei denen zwischen dem gerissenen und ungerissenen Körper und dem elastischen oder plastischen Zustand im Bereich der unmittelbaren Lasteinleitung unterschieden wird. Tabelle 2-4 gibt eine Übersicht über die Stadien und deren Kennzeichen.

**Tabelle 2-4: Zustandsstadien teilflächenbelasteter Bauteile**

| Stadium   | Stadium I-E<br> | Stadium I-P<br> | Stadium II-E<br> | Stadium II-P<br> |
|---|--|--|---|--|
| Rissbildung im Körperinneren                    | keine  | keine  | Spaltriss vorhanden   | Spaltriss vorhanden  |
| Zustand im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich | elastischer Zustand  | plastischer Zustand  | elastischer Zustand   | plastischer Zustand  |
| Beanspruchung der Bewehrung                     | keine maßgebende   | nur in Bewehrungen nahe der Lasteinleitung infolge Querverformungsbehinderung                    | aus Umlenkung der Druckspannungstrajektorien  | aus Umlenkung der Druckspannungstrajektorien und lokalen Bruchprozessen                            |
| Einfluss der konstruktiven Durchbildung         | kein Einfluss  | geringer Einfluss  | großer Einfluss   | großer Einfluss  |

Das Verhalten von ungerissenen Bauteilen in den Stadien I-E und I-P ist in experimentellen und analytischen Untersuchungen umfangreich studiert worden. In Versuchen an unbewehrten Bauteilen tritt bei der Rissbildung (Übergang der Stadien I-P zu II-P bzw. I-E zu II-E) das Versagen auf. Zur Beschreibung der Größe der einleitbaren Druckkräfte eignen sich Erstrissmodelle und empirische Ansätze sehr gut.

Die Bestimmung der Spannungszustände in ungerissenen Bauteilen mit elastischem Lasteinleitungsbereich (Stadium I-E) kann anhand der bestehenden, auf Basis der

## 2 Überblick zum Stand der Forschung

---

Elastizitätstheorie abgeleiteten Kenntnisse erfolgen. Der Belastungszustand bei eintretender Rissbildung („Erstrisslast“), ab dem die Spaltzugbewehrung entscheidende Beanspruchungen erfährt, ist anhand von Ergebnissen aus Bruchversuchen und vereinfachten modelltheoretischen Ansätzen zur Erstrissbildung beschrieben. Angaben zur Größe der bei der Rissbildung frei werdenden Kräfte sowie zu einer Mindestspaltzugbewehrung, die zur Vermeidung eines spröden Versagens (Versagensart 1) erforderlich ist, sind aus den bestehenden Kenntnissen bisher nicht abgeleitet worden.

Die Bemessung der Spaltzugbewehrung erfolgt typischerweise anhand der Analyse des gerissenen Bauteils (Stadium II-E) unter Annahme eines elastischen Einleitungsbereichs, z. B. mit Hilfe von Stabwerkmodellen. Hierzu werden bei der Modellbildung häufig vereinfachend die bekannten Spannungszustände des ungerissenen Körpers genutzt. Die vorgestellten Versuchsergebnisse und nichtlinearen numerischen Untersuchungen zeigen, dass sich die Bewehrungsbeanspruchungen mit der eintretenden Rissbildung und in Abhängigkeit von der konstruktiven Durchbildung stark ändern können. Die in diesem Zustand wirkenden Tragmechanismen unterscheiden sich deutlich von denen des ungerissenen Körpers im Stadium I-E.

Das Verhalten gerissener Bauteile mit plastischem Einleitungsbereich (Stadium II-P) wurde in bisherigen Forschungsarbeiten nur anhand von Bruchversuchen analysiert. Kennzeichnend ist, dass die Beanspruchungen der im Bauteil vorhandenen Bewehrung aus der Umlenkung der Druckspannungstrajektorien, der Umschnürungswirkung des unmittelbaren Lasteinleitungsbereichs und der Behinderung der Körperquerverformung resultieren. Infolge der Querdehnungsbehinderung des Betons entstehen im Bereich um die Lastfläche mehraxiale Druckspannungszustände, die zu einer Steigerung der Grenztragfähigkeit führen können.

Die realitätsnahe Erfassung des Tragverhaltens teilflächenbelasteter Stahlbetonbauteile erfordert nähere Betrachtungen zum Zustand bei eintretender Spaltrissbildung (Übergang Stadium I-E zu II-E) sowie zu den auftretenden Beanspruchungen in gerissenen Bauteilen (Stadium II-E und II-P). Mit den detaillierten Kenntnissen der Tragmechanismen ist eine treffende Auslegung der Spaltzugbewehrung und realitätsnahe Bemessung des Bauteils möglich.

---

## **3 Versuchsdatenbank**

### **3.1 Aufbau der Versuchsdatenbank**

#### **3.1.1 Motivation**

Die internationale Fachliteratur enthält eine große Anzahl von Versuchsergebnissen teilflächenbelasteter Probekörper. Da die Ergebnisse von Bruchversuchen von der verwendeten Prüfausstattung und -methodik, der Betonzusammensetzung sowie weiteren Randbedingungen beeinflusst werden, ist ein Vergleich unterschiedlicher Versuchsergebnisse zur objektiven Beurteilung des Tragverhaltens teilflächenbelasteter Bauteile sowie zur Bewertung von Bemessungsansätzen sinnvoll.

Um die experimentell gewonnenen Ergebnisse systematisch zusammenzufassen und auszuwerten, wurde eine Datenbank zu Versuchen an Betonkörpern unter Teilflächenbelastung aufgebaut. Hierzu wurden Versuchsergebnisse an Betonkörpern ohne Aussparungen (wie z. B. Hüllrohre) unter der Lastfläche zusammengestellt. Die Ergebnisse von Versuchen an speziellen Ankertypen von Spanngliedern wurden hierbei nicht berücksichtigt, da die Mechanismen der Krafteinleitung in diesem Fall sehr systemabhängig und daher nicht repräsentativ sind.

#### **3.1.2 Überblick und Definitionen**

Die aufgebaute Versuchsdatenbank enthält Datensätze zu Versuchen an bewehrten und unbewehrten Betonkörpern unter ebener und räumlicher Teilflächenbelastung aus den Jahren 1953 bis 2005. Die Untersuchungsergebnisse wurden der internationalen Fachliteratur entnommen und zum Zwecke der Vergleichbarkeit auf einheitliche Kenngrößen und SI-Einheiten umgerechnet.

Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über die verwendeten Versuchsdaten, der Anhang enthält eine detaillierte Zusammenstellung der gesamten Datenbank.

### 3 Versuchsdatenbank

**Tabelle 3-1: Überblick über die Versuchsdatenbank**

| Autor              | Quelle                             | Probekörperart               | Anzahl | Fall der TFB   | Körperausbildung   |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------|--------|----------------|--------------------|
| MEYERHOF           | [Meyh-1953]                        | Prismen, Würfel              | 20     | räumlich       | unbewehrt          |
| SHELSON            | [She-1957]                         | Würfel, Zylinder             | 39     | räumlich       | unbewehrt          |
| AU / BAIRD         | [Au-1960]                          | Prismen, Würfel              | 41     | räumlich       | unbewehrt          |
| ZIELINSKI / ROWE   | [Zie-1962]                         | Prismen                      | 6      | räumlich       | unbewehrt          |
| MIDDENDORF         | [Mid-1963]                         | Zylinder                     | 22     | räumlich       | unbewehrt          |
| KRIZ / RATHS       | [Kriz-1963]                        | Prismen                      | 31     | eben           | unbewehrt          |
| BASE               | [Bose-1964]                        | Würfel                       | 5      | räumlich       | unbewehrt          |
| MUGURUMA / OKAMOTO | [Mug-1965]                         | Prismen, Würfel              | 44     | eben, räumlich | unbewehrt          |
| POSNER             | [Pos-1968]                         | Würfel                       | 40     | eben           | unbewehrt          |
| HAWKINS            | [Haw-1968]<br>[Haw-1970]           | Prismen, Würfel,<br>Zylinder | 110    | eben, räumlich | unbewehrt          |
| HAAGSMA            | [Haa-1969]                         | Prismen, Würfel              | 120    | eben, räumlich | unbewehrt          |
| HYLAND / CHEN      | [Hyl-1970]                         | Zylinder                     | 69     | räumlich       | unbewehrt          |
| NIYOGI             | [Niy-1973][Niy-1974]<br>[Niy-1975] | Prismen, Würfel              | 328    | eben, räumlich | unbewehrt, bewehrt |
| WURM / DASCHNER    | [Wur-1977]<br>[Wur-1983]           | Prismen                      | 169    | eben, räumlich | unbewehrt, bewehrt |
| WILLIAMS           | [Wil-1979]                         | Prismen, Würfel              | 370    | eben, räumlich | unbewehrt          |
| IBELL              | [Ibe-1993]                         | Prismen                      | 62     | eben           | unbewehrt, bewehrt |
| AHMED ET AL.       | [Ahm-1998]                         | Prismen                      | 34     | eben, räumlich | unbewehrt, bewehrt |
| BOULAY             | [Bou-2004]                         | Prismen                      | 15     | räumlich       | bewehrt            |
| BONETTI            | [Bon-2005]                         | Prismen, Zylinder            | 112    | räumlich       | unbewehrt, bewehrt |

Gesamtanzahl: 1637

Die aufgenommenen Versuchsdaten stammen von insgesamt 1637 Einzelversuchen, die sich wie folgt gliedern:

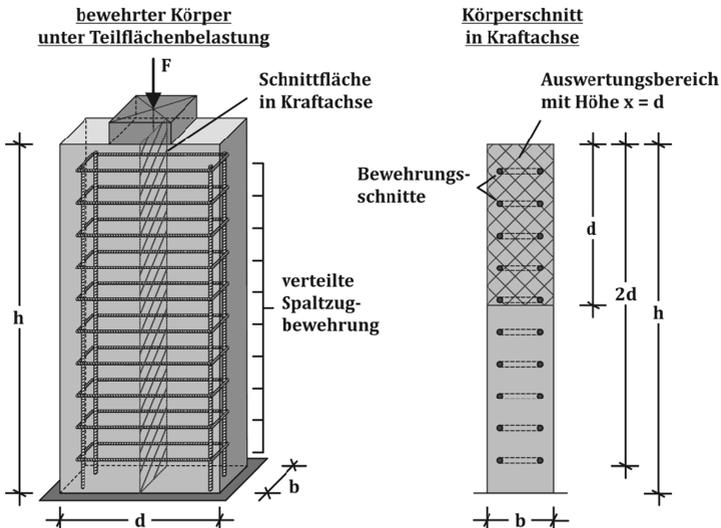
- 1225 Versuche an Körpern unter räumlicher Teilflächenbelastung, hierunter 1048 mit zentrischer Belastung, davon 828 unbewehrte und 220 bewehrte Probekörper
- 412 Versuche an Körpern unter ebener Teilflächenbelastung, hierunter 370 mit zentrischer Belastung, davon 270 unbewehrte und 100 bewehrte Probekörper

Für den Vergleich der unterschiedlichen Versuchsdaten wurde das Verhältnis der Spannung auf der belasteten Fläche zur einaxialen Betondruckfestigkeit  $q_1/f_c$  gewählt. In den betrachteten Untersuchungen wurden zur Ermittlung der Betondruckfestigkeit verschiedene Probekörperarten wie Würfel, Prismen oder Zylinder unterschiedlicher

Größe genutzt. Daher erfolgte eine Umrechnung der Druckfestigkeitswerte auf die heute gängige Zylinderdruckfestigkeit (Abmessungen Standard-Zylinder  $\varnothing = 150 \text{ mm}$ ,  $h = 300 \text{ mm}$ ). Der Anhang B enthält neben den Ansätzen zur Umrechnung der an verschiedenen Probekörpern ermittelten Druckfestigkeitswerte zusätzlich Hinweise zu den unterschiedlichen Einheitensystemen (Angloamerikanisches Maßsystem – SI-Einheiten).

Bei den ausgewerteten Versuchen an bewehrten Probekörpern wurden Bewehrungen unterschiedlicher Betonstahlgüten genutzt. Um diese Ergebnisse vergleichen zu können, werden neben dem geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho$  auch die mechanischen Bewehrungsgrade  $\mu$  und  $\omega$  eingeführt, in die die kennzeichnenden Spannungen des Betonstahls  $f_{ym}$  und des Betons  $f_{ctm}$  bzw.  $f_{cm,cyl}$  eingehen.

Zur Definition der Bewehrungsgrade wird eine Schnittfläche durch den Körper gelegt, die in der Achse der eingeleiteten Druckkraft verläuft und sich über die Körperabmessung senkrecht zur Richtung der betrachteten Spaltzugbeanspruchungen erstreckt (siehe Bild 3-1). Die Auswertung erfolgt für einen Bereich der Schnittfläche mit einer bestimmten Länge in Krafrichtung. Die Fläche der in diesem Bereich geschnittenen Bewehrungsstäbe  $A_{s,sp}$  wird dabei auf die entsprechende Betonfläche bezogen.



**Bild 3-1:** Bezugs-Schnittfläche zur Definition der Spaltzug-Bewehrungsgrade

### 3 Versuchsdatenbank

---

Entspricht die Länge des Auswertungsbereichs der Körperhöhe  $h$ , so ergeben sich die Bewehrungsgrade wie folgt:

Bewehrungsgrade Gesamtkörper:

$$\rho = \frac{A_{s,sp}}{b \cdot h} \quad \text{Gl. 3-1}$$

$$\mu = \frac{A_{s,sp}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{ym}}{f_{ctm}} = \rho \cdot \frac{f_{ym}}{f_{ctm}} \quad \text{Gl. 3-2}$$

$$\omega = \frac{A_{s,sp}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{ym}}{f_{cm,cyl}} = \rho \cdot \frac{f_{ym}}{f_{cm,cyl}} \quad \text{Gl. 3-3}$$

Die Länge des ST. VENANT'schen Einleitungsbereichs, an dessen Ende sich die örtlich unregelmäßigen Spannungen gleichmäßig über den Körperquerschnitt verteilen, wird für den elastischen, ungerissenen Körper allgemein mit der Körperbreite  $d$  angenommen.

Neuere Untersuchungen [Fost-1997] zeigen, dass die Abklinglängen in gerissenen Körpern mit ca.  $2d$  bis zum Erreichen einer gleichmäßigen Spannungsverteilung deutlich größer sein können. Daher werden zusätzliche Definitionen der Bewehrungsgrade ergänzt, bei denen die Auswertungsbereiche die Länge  $d$  bzw.  $2d$  aufweisen.

Bewehrungsgrade im ST. VENANT'schen Einleitungsbereich (Bezugslänge  $1d$ ):

$$\rho_{1d} = \frac{A_{s,sp}}{b \cdot d} \quad \text{Gl. 3-4}$$

$$\mu_{1d} = \frac{A_{s,sp}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{ym}}{f_{ctm}} = \rho_{1d} \cdot \frac{f_{ym}}{f_{ctm}} \quad \text{Gl. 3-5}$$

$$\omega_{1d} = \frac{A_{s,sp}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{ym}}{f_{cm,cyl}} = \rho_{1d} \cdot \frac{f_{ym}}{f_{cm,cyl}} \quad \text{Gl. 3-6}$$

Bewehrungsgrade im erweiterten Einleitungsbereich (Bezugslänge  $2d$ ):

$$\rho_{2d} = \frac{A_{s,sp}}{b \cdot 2d} \quad \text{Gl. 3-7}$$

$$\mu_{2d} = \frac{A_{s,sp}}{b \cdot 2d} \cdot \frac{f_{ym}}{f_{ctm}} = \rho_{2d} \cdot \frac{f_{ym}}{f_{ctm}} \quad \text{Gl. 3-8}$$

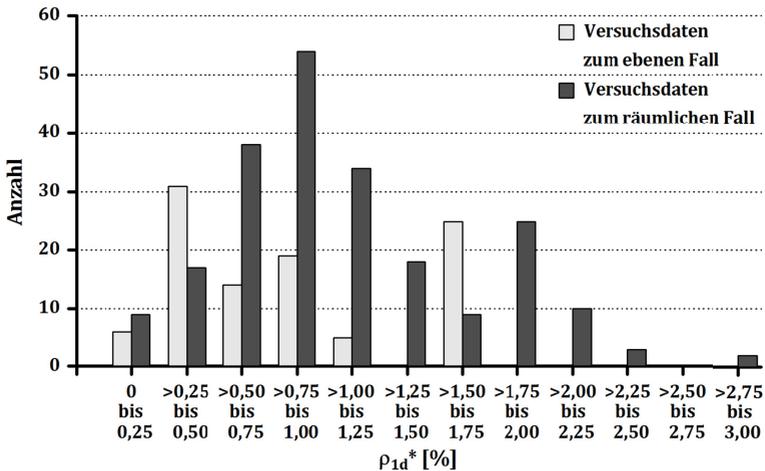
$$\omega_{2d} = \frac{A_{s,sp}}{b \cdot 2d} \cdot \frac{f_{ym}}{f_{cm,cyl}} = \rho_{2d} \cdot \frac{f_{ym}}{f_{cm,cyl}} \quad \text{Gl. 3-9}$$

Weiterhin wird zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Streckgrenzen der verwendeten Bewehrungsstähle ein bezogener geometrischer Bewehrungsgrad eingeführt, bei dem die Bewehrungsfläche in Abhängigkeit von der vorhandenen Streckgrenze modifiziert wird. Als Bezugswert dient der Mittelwert der Streckgrenze des Betonstahls der Güte B 500 ( $f_{ym} = 550 \text{ N/mm}^2$  nach DIN 488 [DIN-2009-2] und DIN 1045-1 [DIN-2008]).

Bezogener geometrischer Bewehrungsgrad:

$$\rho^* = \rho \cdot \frac{f_{ym}}{550 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \quad \rho_{1d}^*, \rho_{2d}^* \quad \text{entsprechend} \quad \text{Gl. 3-10}$$

Die in der Datenbank aufgenommenen Versuchsergebnisse bewehrter Probekörper wurden mit bezogenen geometrischen Bewehrungsgraden von  $\rho_{1d}^* = 0,05 \div 2,83\%$  erzielt. Bild 3-2 zeigt eine Auswertung der Verteilung.



**Bild 3-2: Verteilung der bezogenen geometrischen Bewehrungsgrade  $\rho_{1d}^*$  der bewehrten Probekörper**

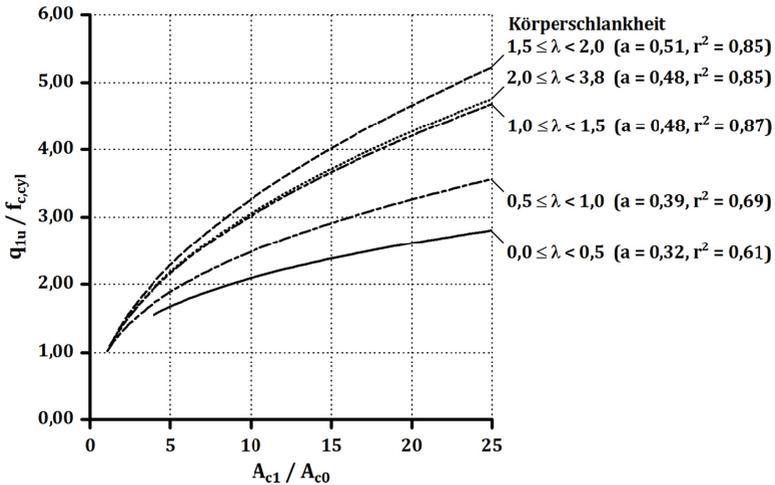
WURM / DASCHNER [Wur-1983] und BONETTI [Bon-2005] stellten in experimentellen Untersuchungen fest, dass die Erhöhung der Fläche der konventionellen Spaltzugbewehrung nur bis zu einer bestimmten Grenze zur Steigerung der Grenztragfähigkeit führt. Die Bewehrungsgrade, ab denen in diesen Versuchen keine Traglaststeigerung mehr auftrat, betragen  $\rho_{1d}^* \approx 1,0\%$  im ebenen und  $\rho_{1d}^* \approx 1,5 \div 2,5\%$  im räumlichen Fall. An diesen Bewehrungsgraden gemessen, liegen überwiegend Versuchsdaten von mittel- bis hochbewehrten Probekörpern vor.

### 3.1.3 Einfluss der Körperschlankheit

Die in der Datenbank zusammengestellten Versuchsergebnisse wurden an Probekörpern gewonnen, die Schlankheiten von  $\lambda = h/d = 0,1 \div 3,8$  ( $h$  Körperhöhe in Krafrichtung;  $d$  Körperbreite in Ausbreitungsrichtung) aufwiesen.

Versuche zum Einfluss der Probekörperschlankheit von WILLIAMS [Wil-1979] und NIYOGI [Niy-1974] zeigten, dass die Versuchsergebnisse gedrungener Körper maßgeblich von der Lagerungsart (Reibung an den Lastplatten) bestimmt werden und sich damit auch die im Vergleich sehr hohen Streuungen der Versuchsergebnisse erklären lassen. Zur Verdeutlichung erfolgt ein Vergleich der Bruchlastspannungen unbewehrter Körper verschiedener Schlankheiten unter räumlicher Teilflächenbelastung in Bild 3-3.

Dargestellt sind die aus den Versuchsdaten ermittelten Ausgleichskurven für die Annahme der Anpassungsfunktion  $y(x) = x^a$  mit den berechneten Parametern  $a$  und den zugehörigen Bestimmtheitsmaßen  $r^2$ .



**Bild 3-3: Bruchlastspannung unbewehrter Körper unter räumlicher Teilflächenbelastung in Abhängigkeit von der Lastkonzentration und der Körperschlankheit – Ausgleichskurven zu Versuchsergebnissen**

Es zeigt sich, dass die Grenztragfähigkeiten der Probekörper mit geringer Schlankheit ( $\lambda < 0,5$  und  $0,5 \leq \lambda < 1,0$ ) im Mittel deutlich unterhalb derer von Körpern mit Schlankheiten  $\lambda \geq 1,0$  liegen. Als Ursache werden Zusatzbeanspruchungen im Kraftübertragungsbereich vermutet, die sich mit den auftretenden Spaltzugspannungen überlagern und in der Folge bereits bei geringeren eingeleiteten Druckkräften zum Versagen führen. Der Vergleich in Bild 3-3 bestätigt die Untersuchungsergebnisse von WILLIAMS [Wil-1979] und NIYOGI [Niy-1974], wonach die Grenztragfähigkeit von Körpern unter ebener und räumlicher Teilflächenbelastung mit Schlankheiten über  $\lambda = 1,0 \div 1,5$  nicht mehr maßgeblich von den Lagerungsbedingungen beeinflusst wird. Für die weiteren Betrachtungen werden daher lediglich Ergebnisse von Probekörpern mit Schlankheiten  $\lambda \geq 1,0$  genutzt.

### 3.2 Auswertung der Datenbank

#### 3.2.1 Überblick über die Ziele der Auswertungen

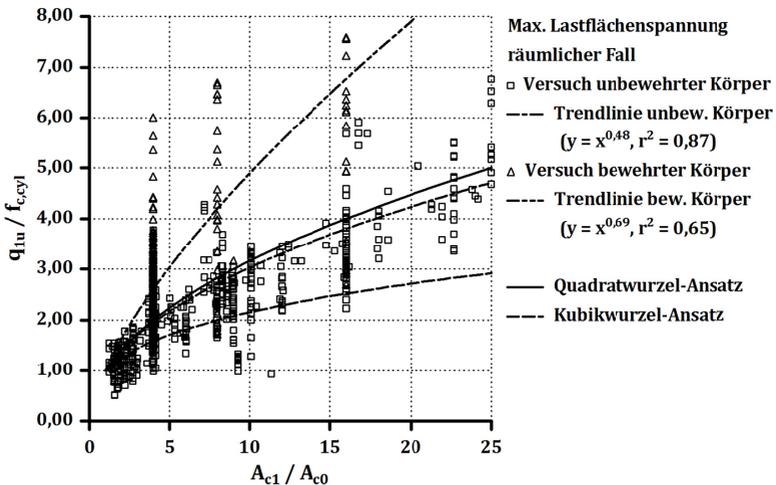
Die Auswertungen und Vergleiche der Versuchsergebnisse der Datenbank werden genutzt, um das Tragverhalten teilflächenbelasteter Körper näher zu untersuchen. Zur

Untersuchung der Einflüsse der Spaltzugbewehrung auf das Tragverhalten werden folgende Analysen vorgenommen:

- Vergleich der maximalen Lastflächenspannungen bei unbewehrten und bewehrten Probekörpern
- Auswertungen zum Einfluss der Größe der Spaltzugbewehrung auf die Grenztragfähigkeit
- Bestimmung des Einflusses der Spaltzugbewehrung auf das Beanspruchungsniveau bei Erstrissbildung
- Vergleich der Versuchsdaten mit empirischen Modellen zur Beschreibung der Grenztragfähigkeit

### 3.2.2 Vergleich unbewehrter und bewehrter Probekörper des räumlichen Falls

In Bild 3-4 sind die an unbewehrten und bewehrten Körpern unter räumlicher Teilflächenbelastung ermittelten, maximalen Lastflächenspannungen  $q_{1u}/f_{c,cyl}$  aus der Versuchsdatenbank mit den Ergebnissen entsprechend der Quadrat- und Kubikwurzel-Ansätze gegenübergestellt. Die aus den Versuchsdaten für die Anpassungsfunktion  $y(x) = x^a$  ermittelten Ausgleichskurven (Fit-Kurven) sind mit den zugehörigen Bestimmtheitsmaßen  $r^2$  ergänzt worden und dienen als Trendlinien der Versuchsdaten.



**Bild 3-4:** Maximale Lastflächenspannung bei räumlicher Teilflächenbelastung (Versuchskörperschlankheiten  $\lambda \geq 1,0$ )

Die ermittelte Trendlinie der Versuchsdaten der unbewehrten Körper zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Quadratwurzel-Ansatz. Die Trendlinie für die bewehrten Körper verdeutlicht die im Vergleich deutlich höheren maximalen Lastflächenspannungen. Das Verhältnis der Ergebnisse der bewehrten und unbewehrten

### 3 Versuchsdatenbank

Körper kann auf Grundlage der ermittelten Anpassungsfunktionen in Abhängigkeit von der Lastkonzentration  $m = A_{c1}/A_{c0}$  mit

$$\frac{q_{1u,bew}}{q_{1u,unbew}} = m^{0,69-0,48} = m^{0,21} \quad \text{Gl. 3-11}$$

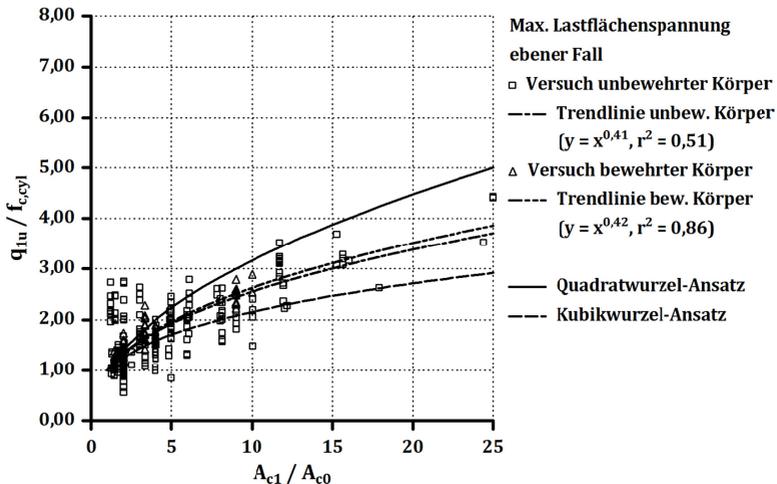
beschrieben werden. Die durch den Einsatz der Bewehrung erzielte Steigerung ergibt sich mit  $m^{0,21} - 1$  für unterschiedliche Lastkonzentrationen zu:

- $m = 2 \quad \Delta \left( \frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}} \right)_{bew} = 2^{0,21} - 1 = 16 \%$
- $m = 4 \quad \Delta \left( \frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}} \right)_{bew} = 4^{0,21} - 1 = 34 \%$
- $m = 8 \quad \Delta \left( \frac{q_{1u}}{f_{c,cyl}} \right)_{bew} = 10^{0,21} - 1 = 62 \%$

Die Versuchsergebnisse bestätigen, dass durch den Einsatz von Bewehrungen maßgebende Steigerungen der Grenztragfähigkeit des teilflächenbelasteten Bauteils möglich sind. Die Auswertungen deuten darauf hin, dass die infolge der Nutzung der Bewehrung erzielten Steigerungen eine Abhängigkeit von der Lastkonzentration aufweisen. Bei der weiteren Analyse werden die Versuchsergebnisse von Körpern mit unterschiedlichen Lastkonzentrationen daher getrennt behandelt.

#### 3.2.3 Vergleich unbewehrter und bewehrter Probekörper des ebenen Falls

Bei ebenen Fällen der Teilflächenbelastung liegen die Versuchsergebnisse der unbewehrten Körper im Vergleich zu den räumlichen Fällen deutlich niedriger (Bild 3-5).

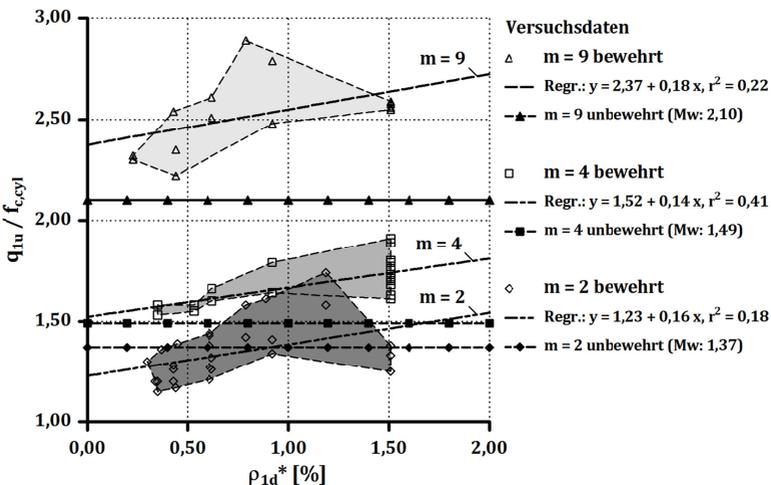


**Bild 3-5: Maximale Lastflächenspannung bei ebener Teilflächenbelastung (Versuchskörperschlankheiten  $\lambda \geq 1,0$ )**

Die in den Versuchen ertragenen Spannungen gruppieren sich zwischen den Werten der Quadrat- und Kubikwurzel-Ansätze ein. Für die Betrachtung von bewehrten Versuchskörpern stehen vergleichsweise wenige Datensätze zur Verfügung. Diese zeigen im Gegensatz zu den Ergebnissen des räumlichen Falls keine maßgebend höheren Lastflächenspannungen.

### 3.2.4 Einfluss der Größe der Spaltzugbewehrung auf die Grenztragfähigkeit

Um den Einfluss der Größe der Spaltzugbewehrung auf die Grenztragfähigkeit teilflächenbelasteter Körper näher zu untersuchen, werden die Versuchsdaten bewehrter Probekörper nachfolgend mit Hilfe des eingeführten Bewehrungsgrads  $\rho_{1d}^*$  (vgl. Gl. 3-10) für verschiedene Lastkonzentrationen ausgewertet.



**Bild 3-6:** Maximale Lastflächenspannung bei ebener Teilflächenbelastung in Abhängigkeit vom Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}^*$  (Versuchskörperschlankheiten  $\lambda \geq 1,0$ )

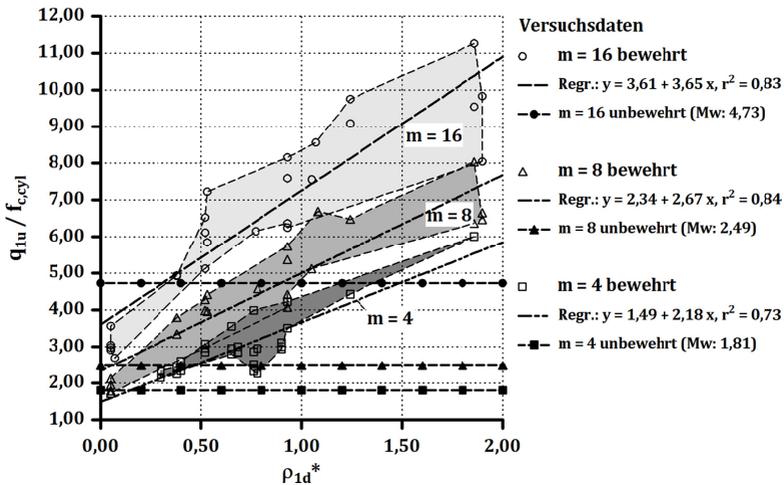
In Bild 3-6 sind die vom Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}^*$  abhängigen maximalen Lastflächenspannungen bei ebener Teilflächenbelastung dargestellt. Weiterhin sind für die betrachteten Datengruppen die berechneten Regressionsgeraden, die Schwankungsbereiche sowie die Mittelwerte (Mw) der Ergebnisse der unbewehrten Probekörper ergänzt. Es wird deutlich, dass die ertragbaren Lastflächenspannungen stark von der Lastkonzentration abhängig sind. Die Einflüsse der Spaltzugbewehrung, die aus den Steigungen der Regressionsgeraden abgeleitet werden können, sind für die betrachteten Lastkonzentrationen hinengehend vergleichbar.

Aussagen zur Wirkungsweise der Bewehrung bei sehr gering bewehrten Bauteilen sind aus den Versuchsergebnissen nicht ableitbar, da keine Daten zu Probekörpern mit

### 3 Versuchsdatenbank

Bewehrungsgraden  $\rho_{1d}^* \leq 0,30\%$  vorliegen. Aufgrund der großen Streuungen der Versuchsdaten sind keine Rückschlüsse zum Grenzbewehrungsgrad möglich, ab dem keine Traglaststeigerungen mehr auftreten.

Die Auswertung der Versuchsdaten für Körper unter räumlicher Teilflächenbelastung in Bild 3-7 zeigt, dass die Einflüsse der Spaltzugbewehrung deutlich ausgeprägter sind. Die ertragbaren Lastflächenspannungen steigen gegenüber den ebenen Fällen mit wachsendem Bewehrungsgrad stärker an. Die relative Zunahmen der ertragbaren Lastflächenspannungen, die anhand der Steigungen der Regressionsgeraden bestimmt werden können, sind bei den Lastkonzentrationen bei  $m = 4$  bzw. 8 ähnlich. Bei  $m = 16$  deuten die Versuchsergebnisse einen im Vergleich größeren Einfluss der Spaltzugbewehrung an.



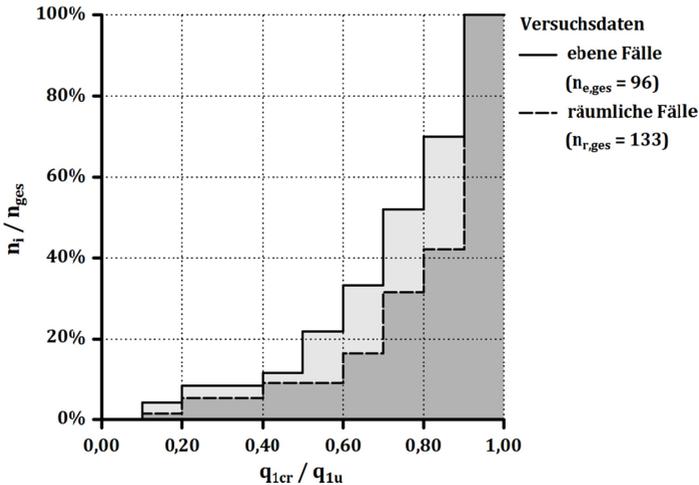
**Bild 3-7: Maximale Lastflächenspannung bei räumlicher Teilflächenbelastung in Abhängigkeit vom Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}^*$  (Versuchskörperschlankheiten  $\lambda \geq 1,0$ )**

Auffällig ist, dass die Ergebnisse der bewehrten Probekörper bei  $m = 4$  bzw. 16 erst bei Bewehrungsgraden von  $\rho_{1d}^* = 0,2\% \div 0,4\%$  über das mittlere Lastniveau der unbewehrten Körper hinaus ansteigen. Rückschlüsse zum Grenzbewehrungsgrad, ab dem eine zusätzliche Bewehrungsfläche keine Wirkung mehr auf die Tragfähigkeit aufweist, sind aufgrund der Streuungen der Versuchsdaten nicht möglich.

Die großen Streuungen der Versuchsdaten werden neben unterschiedlichen Betonrezepturen vor allem durch die verschiedenen konstruktiven Durchbildungen der Probekörper hervorgerufen, die in der Auswertung nicht berücksichtigt sind.

### 3.2.5 Einfluss der Bewehrung auf die Erstrissbildung

Neben den Angaben zur Grenztragfähigkeit bzw. maximalen Lastflächenspannung wurden in einigen Versuchen auch die Belastungszustände festgehalten, unter denen es zur Erstrissbildung der Probekörper kam. Diese Angaben sind für Betrachtungen zum Tragverhalten teilflächenbelasteter Bauteile unter Berücksichtigung der Rissbildung von Interesse. In Bild 3-8 sind die kumulierten Häufigkeiten der Verhältnisse zwischen der Lastflächenspannung bei Rissbildung und sowie bei Erreichen der Grenztragfähigkeit  $q_{1cr}/q_{1u}$  für unbewehrte Körper unter ebener und räumlicher Teilflächenbelastung dargestellt.



**Bild 3-8:** Kumulierte Häufigkeit der Verhältnisse  $q_{1cr}/q_{1u}$  bei unbewehrten Körpern

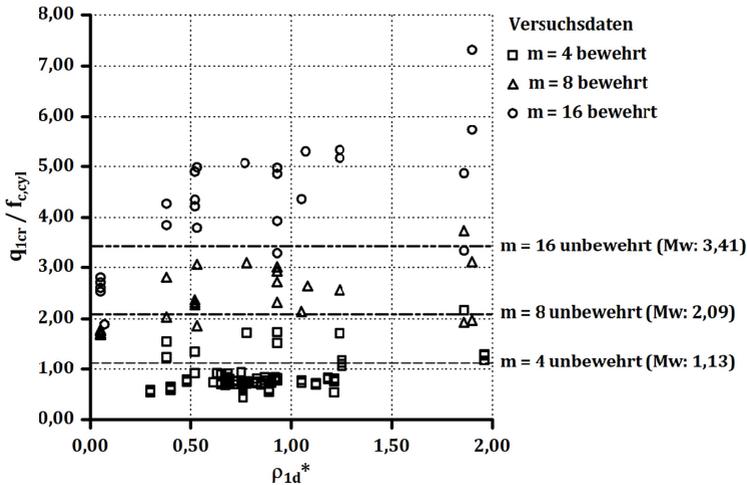
Die Auswertung verdeutlicht, dass das Verhältnis der Risslast zur Grenztragfähigkeit bei ebener Teilflächenbelastung in 67 % der Fälle bei  $q_{1cr}/q_{1u} \geq 0,70$  und in 30 % der Fälle sogar bei  $q_{1cr}/q_{1u} \geq 0,90$  liegt.

Bei räumlicher Teilflächenbelastung weisen 83 % der Probekörper Verhältnisse von  $q_{1cr}/q_{1u} = 0,7 \div 1,0$  und sogar 58 % Werte von  $q_{1cr}/q_{1u} \geq 0,90$  auf. Die Ergebnisse zeigen, dass die Grenztragfähigkeit unbewehrter Körper bei eintretender Erstrissbildung weitgehend erreicht ist.

Der Einfluss der Spaltzugbewehrung auf die Höhe der Belastung bei Erstrissbildung wurde bei verschiedenen Bruchversuchen betrachtet. NIYOGI [Niy-1975] beobachtete in seiner Versuchsserie eine geringe Erhöhung der Erstrisslast, während WURM/DASCHNER [Wur-1977] in vergleichbaren Untersuchungen keine maßgebenden Steigerungen feststellen konnten. Die Auswertung der zur Verfügung stehenden Versuchs-

daten erfolgt anhand des Vergleichs der Erstrisslasten der bewehrten Probekörper mit den zugehörigen Mittelwerten der unbewehrten Körper.

Bild 3-9 zeigt die Auswertung der Lastflächenspannung bei Erstrissbildung für Probekörper mit räumlicher Teilflächenbelastung. Bei der Lastkonzentration von  $m = 4$  zeigt sich, dass die überwiegende Zahl der bewehrten Versuchskörper ein ca. 10 % ÷ 20 % geringeres Risslastniveau im Vergleich zum Mittelwert der unbewehrten Körper aufweisen. Bei den bewehrten Probekörpern mit Lastkonzentrationen von  $m = 8$  und 16 wurden die Erstrissbildungen in den Versuchen bei Lastflächenspannungen festgestellt, die diejenige der unbewehrten Körper teilweise deutlich übertreffen. Es ist bei keiner der betrachteten Probekörpergruppen ein Einfluss des Bewehrungsgrads ersichtlich. Die Ursache der Steigerungen des beobachteten Risslastniveaus bei den Probekörpern mit  $m = 8$  bzw. 16 liegt darin begründet, dass bei diesen Lastkonzentrationen eine überwiegend zentrische Spaltrissbildung in der Körperachse auftritt. Infolge der typischerweise außenliegenden Bewehrung wird die Rissbreite an den lastparallelen Oberflächen wirkungsvoll begrenzt, so dass die optische Feststellung der Rissbildung auf den Außenseiten erst auf höheren Belastungsniveaus möglich ist.



**Bild 3-9: Lastflächenspannung bei Erstriss bei räumlicher Teilflächenbelastung in Abhängigkeit vom Bewehrungsgrad  $\omega_{1d}$**

Die Auswertungen für den räumlichen Fall der Teilflächenbelastung deuten darauf hin, dass das Beanspruchungsniveau, das zur Erstrissbildung führt, durch Bewehrungen nicht maßgeblich erhöht wird. Aussagen zum Einfluss der Bewehrung auf die Erstrissbildung im ebenen Fall können anhand der vorliegenden Versuchsdaten nicht getroffen werden, da nur wenige Messdaten zu den Erstrisslasten vorliegen und diese sehr große Streuungen aufweisen.

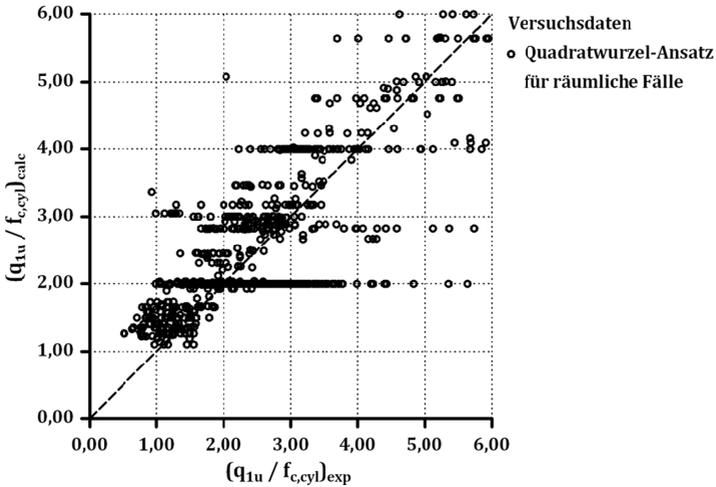
### 3.2.6 Vergleich mit empirischen Modellen zur Grenztragfähigkeit

Anhand der Gesamtheit der Versuchsdaten kann ein Vergleich der in Kapitel 2.4.2 vorgestellten empirischen Modelle zur Bestimmung der Grenztragfähigkeit erfolgen. Hierzu werden die rechnerischen bezogenen Lastflächenspannungen  $(q_{1u}/f_{c,cyl})_{calc}$  aller Probekörper unter Verwendung der unterschiedlichen Ansätze bestimmt und mit den jeweiligen Versuchsergebnissen  $(q_{1u}/f_{c,cyl})_{exp}$  verglichen. Anhand der berechneten Verhältnisse der Lastflächenspannungen  $q_{1u,calc}/q_{1u,exp}$  wird eine statistische Auswertung vorgenommen. Tabelle 3-2 enthält die Zusammenstellung der Ergebnisse.

**Tabelle 3-2: Vergleich der Versuchsdaten unbewehrter und bewehrter Probekörper mit Ergebnissen empirischer Bruchmodelle**

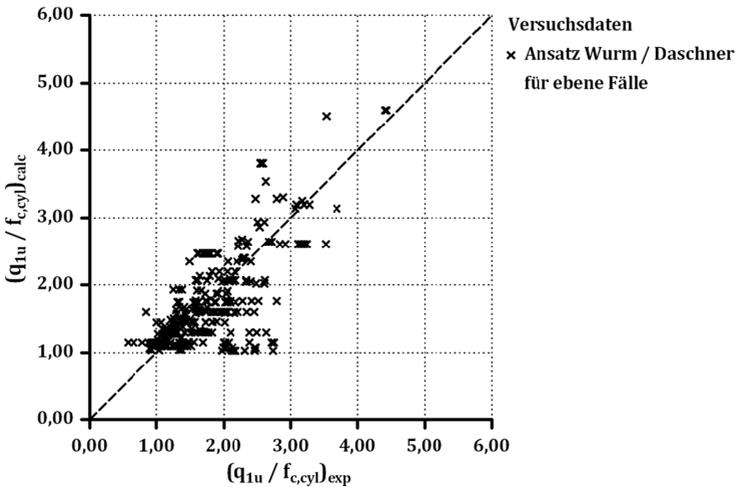
| Bruchmodell-Ansatz                       | Fall der Teilflächenbelastung | Einfluss der Spaltzugbewehrung | Vergleiche $q_{1u,calc}/q_{1u,exp}$ |                 |                |
|--|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------|
|  |                               |                                | Mittelwert (Abw.)                   | Stand.-abweich. | Variat.-koeff. |
| Kubikwurzel-Ansatz (Gl. 2-13)            | räumlich                      | nein                           | 0,792<br>(-20,8 %)                  | 0,315           | 0,397          |
| Quadratwurzel-Ansatz (Gl. 2-14)          | räumlich                      | nein                           | 1,088<br>(+8,8 %)                   | 0,384           | 0,353          |
| NIYOGI [Niy-1973]<br>(unbewehrte Körper) | räumlich                      | nein                           | 1,165<br>(+16,5 %)                  | 0,418           | 0,359          |
| Kubikwurzel-Ansatz (Gl. 2-13)            | eben                          | nein                           | 0,924<br>(-7,6 %)                   | 0,230           | 0,248          |
| Quadratwurzel-Ansatz (Gl. 2-14)          | eben                          | nein                           | 1,147<br>(+14,7 %)                  | 0,296           | 0,258          |
| WURM / DASCHNER<br>(Gl. 2-16)            | eben                          | ja                             | 0,992<br>(-0,8 %)                   | 0,263           | 0,265          |

Bild 3-10 zeigt den Vergleich der berechneten und im Versuch ermittelten Lastflächenspannungen für den Quadratwurzel-Ansatz für räumliche Fälle.



**Bild 3-10:** Vergleich Quadratwurzel-Ansatz – Versuchsdaten

In Bild 3-11 ist die entsprechende Auswertung für den Ansatz nach WURM / DASCHNER für ebene Fälle dargestellt.



**Bild 3-11:** Vergleich Ansatz WURM / DASCHNER – Versuchsdaten

Da teilflächenbelastete Bauteile entsprechend den normativen Vorgaben stets bewehrt auszuführen sind, werden in einer Zusatzbetrachtung lediglich die Versuchsdaten der bewehrten Probekörper betrachtet. Tabelle 3-3 zeigt die Verhältnisse  $q_{1u,calc}/q_{1u,exp}$  für diese Körper.

**Tabelle 3-3: Vergleich der Versuchsdaten bewehrter Probekörper mit Ergebnissen empirischer Bruchmodelle**

| Bruchmodell-Ansatz                    | Fall der Teilflächenbelastung | Einfluss der Spaltzugbewehrung | Vergleiche $q_{1u,calc}/q_{1u,exp}$ |                 |                |
|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------|
|                                       |                               |                                | Mittelwert (Abw.)                   | Stand.-abweich. | Variat.-koeff. |
| Kubikwurzel-Ansatz (Gl. 2-13)         | räumlich                      | nein                           | 0,521<br>(-47,9 %)                  | 0,165           | 0,316          |
| Quadratwurzel-Ansatz (Gl. 2-14)       | räumlich                      | nein                           | 0,698<br>(-30,2 %)                  | 0,213           | 0,306          |
| Niyogi [Niy-1973] (unbewehrte Körper) | räumlich                      | nein                           | 0,750<br>(-25,0 %)                  | 0,228           | 0,304          |
| Kubikwurzel-Ansatz (Gl. 2-13)         | eben                          | nein                           | 0,911<br>(-8,9 %)                   | 0,097           | 0,106          |
| Quadratwurzel-Ansatz (Gl. 2-14)       | eben                          | nein                           | 1,096<br>(+9,6 %)                   | 0,122           | 0,111          |
| WURM / DASCHNER (Gl. 2-16)            | eben                          | ja                             | 1,175<br>(+17,5 %)                  | 0,172           | 0,146          |

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse der empirischen Modelle zur Beschreibung der Grenztragfähigkeit für den räumlichen Fall der Teilflächenbelastung kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Der Quadratwurzel-Ansatz zeigt im Mittel die beste Übereinstimmung mit der Gesamtheit der vorliegenden Versuchsergebnisse von unbewehrten und bewehrten Bauteilen (Abweichung +8,8 %). Bei der alleinigen Auswertung der Ergebnisse der bewehrten Probekörper unterschätzt der Ansatz die experimentell bestimmten Lastflächenspannungen aber deutlich (-30,2 %).
- Der Kubikwurzel-Ansatz unterschätzt die Versuchsdaten der bewehrten Körper erheblich (-47,9 %).
- Der Ansatz von Niyogi zeigt für die bewehrten Körper im Mittel die beste Abbildung, die rechnerischen Lastflächenspannungen bleiben jedoch deutlich unterhalb der Versuchsergebnisse (-25,0 %).
- Die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Ergebnisse der verschiedenen Ansätze sind bei der Analyse aller Versuchsdaten mit teilweise > 0,30 und der Betrachtung der bewehrten Körper mit ca. 0,20 hoch und zumindest zu einem Großteil bedingt durch die ungenügende Berücksichtigung der Einflüsse der Spaltzugbewehrung.

Die Auswertung für den ebenen Fall der Teilflächenbelastung zeigt:

- Der Ansatz von WURM / DASCHNER, der den Einfluss der Spaltzugbewehrung berücksichtigt, liefert im Mittel die besten Übereinstimmungen mit der Gesamtheit der Versuchsdaten (Abweichung -0,8 %), die experimentell bestimmten

Lastflächenspannungen der bewehrten Probekörper werden aber überschätzt (+17,5 %).

- Die Kubikwurzel-Ansatz zeigt für die bewehrten Körper im Mittel die beste Abbildung bei einer leichten Unterschätzung der Versuchsergebnisse (−8,9 %).
- Der Quadratwurzel-Ansatz überschätzt die experimentellen Ergebnisse leicht (+9,6 %).
- Die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten sind im Vergleich zu den Körpern unter räumlicher Teilflächenbelastung generell niedriger, bei Betrachtung aller Versuchskörper jedoch stets  $> 0,20$  und für die bewehrten Probekörper bei ca.  $0,10 \div 0,15$ .

Der Vergleich der verschiedenen empirischen Modellansätze für die räumlichen Fälle zeigt, dass diese aufgrund der Vernachlässigung der Einflüsse der Bewehrung nur eine relativ ungenaue Abschätzung der Grenztragfähigkeit ermöglichen. Die rechnerischen Ansätze unterschätzen die experimentell bestimmten maximalen Lastflächenspannungen der bewehrten Körper deutlich (geringste Unterschätzung 25,0 %).

Bei den ebenen Fällen weisen die betrachteten Ansätze eine höhere Abbildegenauigkeit auf, die mittleren Abweichungen betragen dennoch ca. 10 %. Die Ergebnisse des Ansatzes von WURM / DASCHNER zeigen, dass bereits mit einer vereinfachten Erfassung der Bewehrungseinflüsse gute Übereinstimmungen zwischen den berechneten und experimentell ermittelten Werten erzielt werden können.

Die Bewertung der Wirkung einer Spaltzugbewehrung ist jedoch durch die im Vergleich zu den unbewehrten Probekörpern beschränkte Anzahl der Versuchsdaten sowie die Heterogenität der genutzten Randbedingungen erschwert.

---

## 4 Untersuchungen zum Tragverhalten bei Erstrissbildung

### 4.1 Grundlagen

Nach der Bildung von Spaltrissen werden die auftretenden Querzugbeanspruchungen durch die Spaltzugbewehrung aufgenommen, weshalb der Zustand bei Eintreten der Erstrissbildung näher betrachtet wird. Die bei der Rissbildung frei werdenden Zugkräfte müssen durch Bewehrungen aufgenommen werden, um ein schlagartiges Versagen mit einhergehender Zerstörung des Körpers (Versagensfall 1 nach Bild 2-33) zu vermeiden. Bei der Bestimmung der hierzu erforderlichen Spaltzugbewehrungsfläche stellt diejenige Auslegung, die die frei werdenden Zugkräfte gerade noch aufnehmen kann, eine untere Schranke dar und kann als Mindestspaltzugbewehrung bezeichnet werden.

Zur Untersuchung des Tragverhaltens bei eintretender Rissbildung und Ableitung einer konstruktiven Mindestbewehrung werden Betrachtungen zur Höhe der Lastflächenspannung bei der Erstrissbildung sowie zur Größe der in diesem Zustand frei werdenden Zugbeanspruchungen durchgeführt.

### 4.2 Lastflächenspannung bei Erstrissbildung

#### 4.2.1 Erkenntnisse aus experimentellen Untersuchungen

Die aus der Versuchsdatenbank bekannten bezogenen Lastflächenspannungen bei eintretender Erstrissbildung  $q_{1cr}/f_{c,cyl}$  sind in Bild 4-1 und Bild 4-2 für ebene und räumliche Fälle mit Lastkonzentrationen von  $A_{c1}/A_{c0} \leq 12$  dargestellt. Die Versuchsergebnisse können durch lineare Trendlinien beschrieben werden, die mittels einer Regressionsanalyse bestimmt wurden. Aufgrund der großen Streuungen der Versuchsdaten ergibt sich bei den ebenen Fällen ein Bestimmtheitsmaß von  $r^2 = 0,31$ , bei den räumlichen Fällen liegt  $r^2 = 0,76$  vor. Die Auswertung verdeutlicht, dass die Erstrisslasten im räumlichen Fall im Vergleich zum ebenen Fall stets auf höherem Niveau liegen und mit steigender Lastkonzentration stärker zunehmen.

#### 4 Untersuchungen zum Tragverhalten bei Erstrissbildung

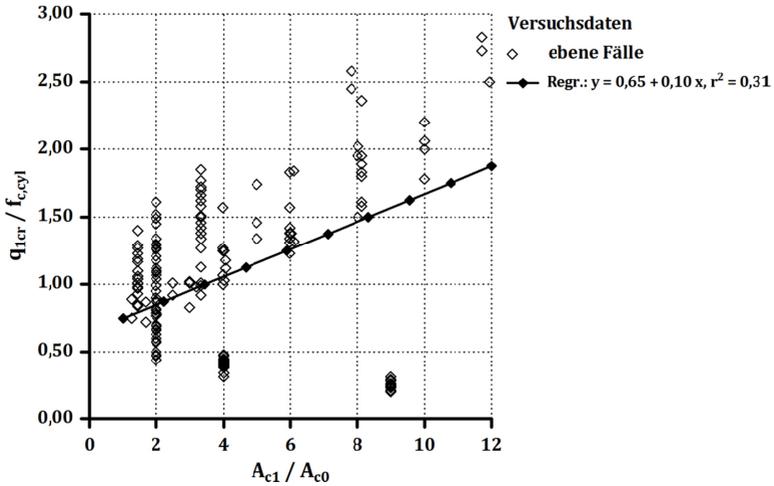


Bild 4-1: Lastflächenspannung  $q_{1cr}/f_{c,cyl}$  bei Erstrissbildung in ebenen Fällen

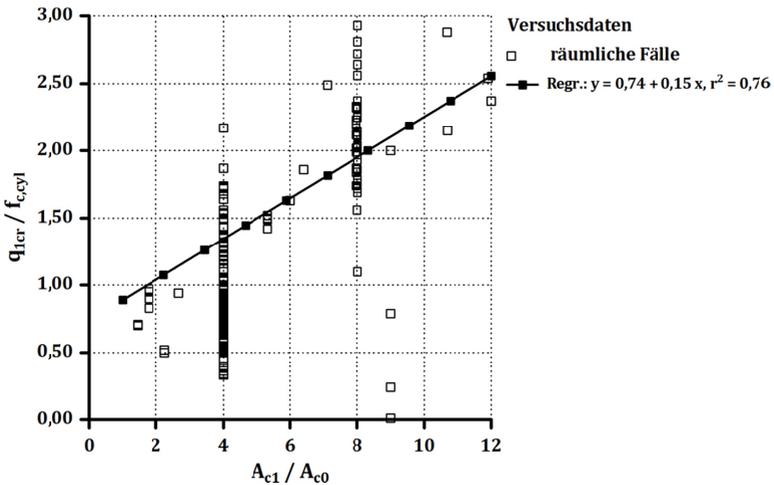
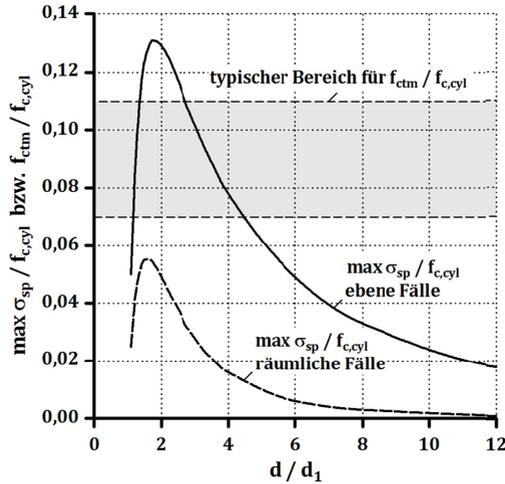


Bild 4-2: Lastflächenspannung  $q_{1cr}/f_{c,cyl}$  bei Erstrissbildung in räumlichen Fällen

Da bis zum Eintreten der Erstrissbildung ein linear-elastisches Materialverhalten unterstellt werden kann, lässt sich zur weiteren Analyse des ebenen Falls der Teilflächenbelastung der durch IYENGAR ermittelte Zusammenhang zwischen Lastflächen- und Spaltzugspannungen nutzen.

Bei den räumlichen Fällen wird entsprechend den Ergebnissen von HILTSCHER / FLORIN (Bild 2-16) bei identischen Verhältnissen  $d/d_1$  eine im Vergleich zum ebenen Fall um ca. 40 % niedrigere maximale Spaltzugspannung angenommen.

Die Auswertung ergibt die zu den Lastflächenspannungen bei Erstrissbildung zugehörigen bezogenen Maximalwerte der Spaltzugspannungen  $\max \sigma_{sp}/f_{c,cyl}$  (Bild 4-3).



**Bild 4-3: Maximale Spaltzugspannungen in teillächenbelasteten Bauteilen bei Erstrissbildung**

Zur Bewertung der Größe der Zugbeanspruchungen wird das Verhältnis der Mittelwerte der zentrischen Betonzugfestigkeit  $f_{ctm}$  (mit  $f_{ctm} \approx 0,3 \cdot f_{c,cyl}^{2/3}$ ) zur entsprechenden Zylinder-Druckfestigkeit  $f_{c,cyl}$  genutzt, das für normalfeste Betone

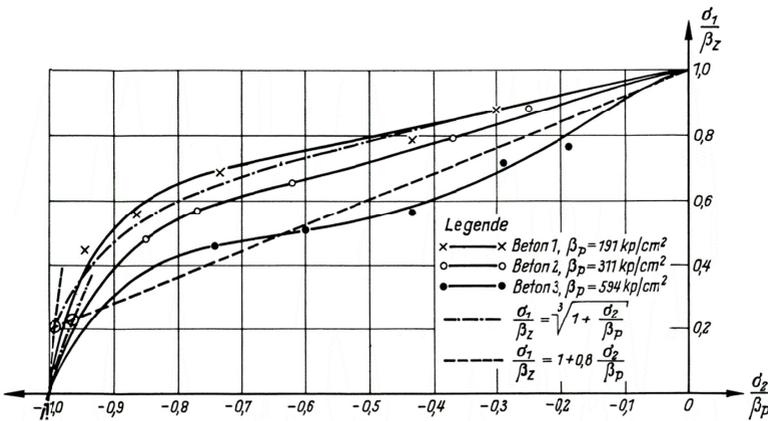
$$f_{ctm}/f_{c,cyl} = 0,07 \div 0,11 \quad \text{Gl. 4-1}$$

beträgt. Der Vergleich zeigt, dass die maximalen Spaltzugspannungen bei Auftreten des Erstrisses nur im ebenen Fall für Lastkonzentrationen von  $d/d_1 \approx 1,5 \div 5$  die Größenordnung der zentrischen Betonzugfestigkeit erreichen bzw. überschreiten. Für ebene Fälle mit Lastkonzentrationen über  $d/d_1 \approx 5$  und alle räumlichen Fälle ergeben sich maximale Spannungen, die deutlich unterhalb der zentrischen Betonzugfestigkeit liegen.

Die Analyse der Versuchsdaten zeigt, dass die Lastflächenspannungen bei Erstrissbildung nicht durch den alleinigen Vergleich der maximalen Spaltzugspannungen mit der zentrischen Betonzugfestigkeit bestimmt werden können, da die Rissbildung in den meisten Fällen schon vor Erreichen dieses Zugspannungsniveaus einsetzt. Die starke Abhängigkeit der Ergebnisse von der Größe der Lastkonzentration weist darauf hin, dass die belastungsabhängig auftretenden Druckspannungszustände ebenfalls einen maßgebenden Einfluss haben. Zur realitätsnahen Abschätzung der Erstrisslasten ist daher die Analyse der mehraxialen Druck-Zug-Spannungszustände im Krafterleitungsbereich erforderlich.

4.2.2 Rechnerische Bestimmung der Lastflächenspannungen bei Erstrissbildung

Zur rechnerischen Ermittlung des Spannungsniveaus auf der Lastfläche bei Erstrissbildung wird in Anlehnung an das Vorgehen von SCHÄFER / BAUMANN [Schü-1986] (vgl. Kap. 2.4.4) ein Versagenskriterium für den zweiaxialen Druck-Zug-Spannungszustand im Beton genutzt. Hiermit wird berücksichtigt, dass die senkrecht zur Spaltzugbeanspruchung wirkenden Druckspannungen die ertragbaren Betonzugspannungen verringern und damit einen Einfluss auf die Höhe der Erstrissbeanspruchung aufweisen. Abweichend zum Vorgehen von SCHÄFER / BAUMANN [Schü-1986] wird für die zweiaxialen Spannungszustände im Krafteinleitungsbereich ein Versagenskriterium gewählt, das auf Ergebnissen experimenteller Untersuchungen von KUPFER [Kup-1973] basiert und Mittelwerte der Materialwiderstände zugrunde legt. Bild 4-4 zeigt die von KUPFER an Probekörpern aus Normalbeton ermittelten Festigkeiten unter Druck-Zug-Bearbeitungen. Die Ergebnisse weisen eine deutliche Abnahme der ertragbaren relativen Zugspannungen  $\sigma_1/\beta_z$  mit steigender Druckspannung  $\sigma_2/\beta_p$  aus.



**Bild 4-4: Druck-Zug-Festigkeit unterschiedlicher Probekörper und rechnerische Ansätze zur Beschreibung [Kup-1973]**

Für die weiteren Auswertungen wird die von KUPFER angegebene nichtlineare Beziehung zwischen Druck- und Zugfestigkeit

$$\frac{\sigma_1}{f_{ct}} = \sqrt[3]{1 + \frac{\sigma_2}{f_c}} \tag{Gl. 4-2}$$

mit

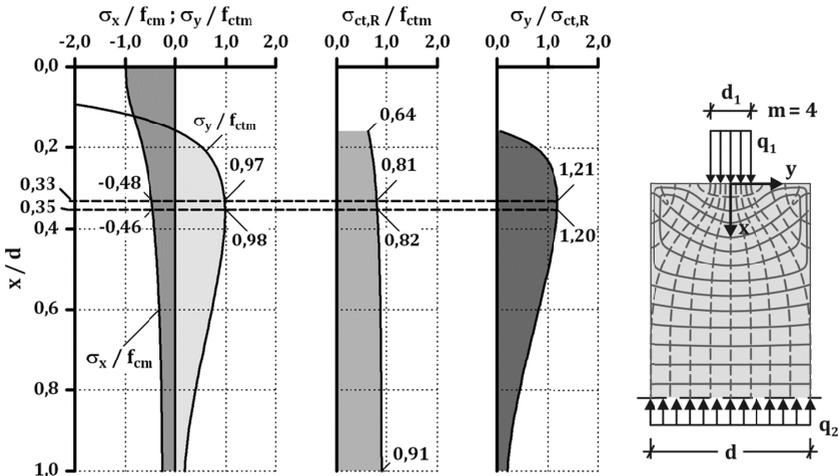
$f_c$  einaxiale Zylinderdruckfestigkeit  
(entspricht der Prismen-Druckfestigkeit  $f_c = f_{c,cyl} \approx \beta_p$ )

$f_{ct}$  einaxiale, zentrische Betonzugfestigkeit ( $f_{ct} = f_{ctm}$ )

genutzt.

Zur Bewertung der Auswirkungen der Spannungszustände ist die Kenntnis der vorliegenden Spannungsverhältnisse erforderlich. Da die Zustände, die zur Erstrissbildung führen, von Interesse sind, kann für ebene Fälle der Teilflächenbelastung die Auswertung der zweidimensionalen Spannungszustände nach IYENGAR [Iye-1960] genutzt werden.

Bei zentrisch teilflächenbelasteten Scheiben treten die Extremwerte der Druck- und Zugspannungen jeweils in der Körperachse auf, so dass die Auswertung auf diese Linie beschränkt werden kann. Zur Analyse werden die in Richtung der einwirkenden Kraft auftretenden Druckspannungen  $\sigma_x$  und die quer dazu verlaufenden Spaltzugspannungen  $\sigma_y$  zunächst exemplarisch für eine Scheibe mit einer Lastkonzentration von  $m = 4$  und einer Lastflächenspannung  $q_1/f_{cm} = -1,0$  ermittelt. Die Auswertungen anhand des Versagenskriteriums nach KUPFER erfolgen unter der Annahme des Verhältnisses zwischen mittlerer Zug- und Druckfestigkeit von  $f_{ctm}/f_{cm} = 1/12$ . Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Bild 4-5 dargestellt.



**Bild 4-5:** Zentrisch teilflächenbelastete Scheibe ( $d/d_1 = 4$ ,  $q_1 = -f_{cm}$ )  
 links: Spannungen  $\sigma_x/f_{cm}$  und  $\sigma_y/f_{ctm}$   
 mittig: Ertragbare Betonzugspannungen  $\sigma_{ct,R}/f_{ctm}$   
 rechts: Auslastung der ertragbaren Betonzugspannungen  $\sigma_y/\sigma_{ct,R}$

Die berechneten Verläufe der in Lastrichtung auftretenden Druckspannungen  $\sigma_x$  sowie der quer dazu wirkenden Spaltzugspannungen  $\sigma_y$  (Bild 4-5 links) zeigen, dass das Maximum der Spaltzugspannungen bei  $x/d = 0,35$  mit  $\sigma_y/f_{ctm} = 0,98$  erreicht wird. An dieser Stelle liegt eine bezogene Druckspannung von  $\sigma_x/f_{cm} = -0,46$  vor.

Infolge der vorliegenden Druckspannungen verringern sich die ertragbaren Zugspannungen im Vergleich zur einaxialen Betonzugfestigkeit  $\sigma_{ct,R}/f_{ctm}$  um 9 % bis

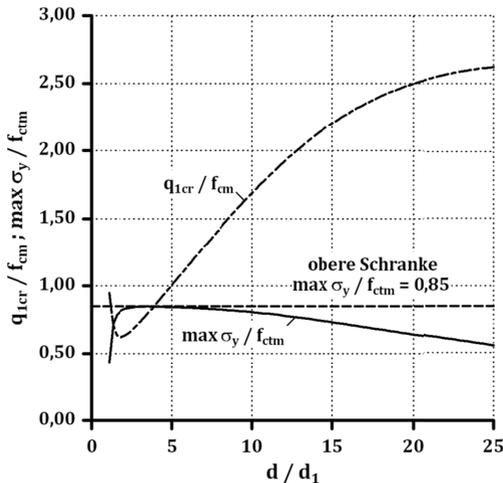
#### 4 Untersuchungen zum Tragverhalten bei Erstrissbildung

36 % (Bild 4-5, mittleres Diagramm). Die Stelle mit der maßgebenden Spannungs-kombination weicht im vorliegenden Fall von der des Spaltzugspannungsmaximums ab und liegt bei  $x/d = 0,33$  mit einer um 19 % verringerten ertragbaren Zugspannung.

Für die angenommene Einwirkung von  $q_1/f_{cm} = -1,0$  ergibt sich die maximale Ausnutzung der ertragbaren Zugspannungen zu  $\sigma_y/\sigma_{ct,R} = 1,21$ . Das bedeutet, dass die Reduktion der aufnehmbaren Zugspannungen infolge des Druck-Zug-Spannungszustands zu einer Spaltrissbildung führt, bevor die zentrische Betonzugfestigkeit erreicht ist.

Im vorliegenden Beispiel unterschreitet die ertragbare Betonzugspannung aufgrund der relativ hohen Lastflächenspannung von  $q_1/f_{cm} = -1,0$  an der maßgebenden Stelle die zentrische Betonzugfestigkeit um 19 %. Die Bestimmung des Beanspruchungsniveaus, bei dem das Maximum der Spaltzugspannungen genau der ertragbaren Betonzugspannung entspricht ( $\sigma_y/\sigma_{ct,R} = 1$ ) und damit die Rissbildung einsetzt, erfolgt durch eine umfassende Auswertung der Spannungszustände nach IYENGAR für verschiedene Lastkonzentrationen und Lastflächenspannungen unter Anwendung des Versagenskriteriums. Bild 4-6 gibt eine Übersicht über die berechneten Ergebnisse.

Für den Körper mit einer Lastkonzentration von  $m = 4$  ergibt sich die rechnerische „Risslast“ zu  $q_{1cr}/f_{cm} = 0,86$ . Die maximale Spaltzugspannung und die zugehörige ertragbare Betonzugfestigkeit betragen hierbei  $\sigma_{ct,R}/f_{ctm} = \sigma_y/f_{ctm} = 0,85$ .



**Bild 4-6: Risslastspannungen  $q_{1cr}/f_{cm}$  und zugehörige maximale Spaltzugspannung  $\sigma_y/f_{ctm}$  beim ebenen Fall der Teilflächenbelastung**

Die bei eintretender Spaltrissbildung vorliegende, maximale Spaltzugspannung liegt rechnerisch stets unterhalb von  $\sigma_y/f_{ctm} = 1,0$ , d. h. die zentrische Betonzugfestigkeit

wird aufgrund des Druck-Zug-Spannungszustands in keinem Fall erreicht. Die in Bild 4-6 dargestellte, obere Schranke von  $\sigma_y/f_{ctm} = 0,85$  wird im Folgenden für ebene und räumliche Fälle angesetzt. Hiermit ist die Höhe der Risslast und der im Körper bei Rissbildung vorliegenden maximalen Zugspannungen für die weiteren Auswertungen bestimmt.

### 4.3 Spannungszustände bei eintretender Rissbildung und erforderliche Mindestbewehrung

Zur Ermittlung der bei einsetzender Rissbildung frei werdenden Spaltzugkräfte sind die Spannungszustände des ungerissenen Körpers im Übergangszustand zu betrachten. Diese können anhand der Ansätze für Körper mit linear-elastischem Materialverhalten für den ebenen und räumlichen Fall bestimmt werden. Ausgehend von den vorliegenden Spannungszuständen kann die maximal frei werdende Spaltzugkraft durch Integration der Spaltzugspannungen über die Körperhöhe ermittelt werden.

Diese Auswertung erfolgt für den ebenen Fall anhand der Querspannungsverläufe nach IYENGAR [Iye-1960], für den räumlichen Fall werden Spannungszustände in numerischen Berechnungen unter der Annahme eines linear-elastischen Materialverhaltens ermittelt.

Zur Beschreibung der Spaltzugspannungsverläufe wird der Völligkeitsbeiwert  $\alpha_{cap}$  wie folgt definiert:

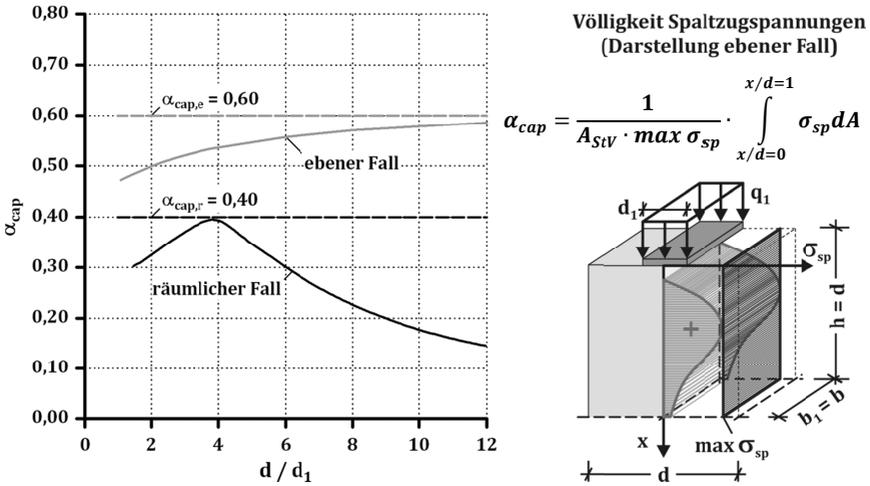
$$0 \leq \alpha_{cap} = \frac{1}{A_{StV} \cdot \max \sigma_{sp}} \cdot \int_{x/d=0}^{x/d=1} \sigma_{sp} dA \leq 1 \quad \text{Gl. 4-3}$$

mit:

|                          |   |
|--------------------------|---|
| $\alpha_{cap}$           | Völligkeitsbeiwert  |
| $\alpha_{cap} = 1$       | Spannungsblock  |
| $\alpha_{cap} \approx 0$ | Einzelspannungsspitze   |
| $A_{StV}$                | Schnittfläche durch die Körperschwerachse im ST. VENANT'schen Einleitungsbereich ( $x/d = 0 \div 1$ ) |
| $\max \sigma_{sp}$       | Maximum der Spaltzugspannungen auf der betrachteten Schnittfläche                                     |
| $\sigma_{sp}$            | Spaltzugspannungen (ungleichmäßig verteilt)   |

Unter der Annahme, dass die maßgebenden Spaltzugspannungen im Einleitungsbereich nach ST. VENANT bis zu einem Abstand  $x/d = 1,0$  von der belasteten Oberfläche auftreten, ergeben sich aus der Analyse die in Bild 4-7 dargestellten Verläufe der Völligkeitsbeiwerte.

#### 4 Untersuchungen zum Tragverhalten bei Erstrissbildung



**Bild 4-7:** Völligkeiten des Verlaufs der Spaltzugspannungen für ebene und räumliche Fälle

Mit zunehmender Lastkonzentration steigt die berechnete Völligkeit des Verlaufs der Spaltzugspannungen im ebenen Fall monoton an und weist im betrachteten Bereich Werte von  $\alpha_{cap} = 0,48 \div 0,58$  auf. Im räumlichen Fall wachsen die Völligkeitsbeiwerte mit zunehmender Lastkonzentration zunächst bis auf  $\alpha_{cap} = 0,39$  an und fallen anschließend bei weiterer Zunahme der Lastkonzentration  $d/d_1$  wieder ab. Die im Vergleich zum ebenen Fall deutlich geringeren Werte erklären sich durch das Auftreten ausgeprägter Spannungsspitzen, die bei geringer Lastkonzentration an den seitlichen Körperperrändern und bei hoher Lastkonzentration in der Körperachse auftreten.

Die bei der Erstrissbildung auftretenden Spaltzugkräfte  $Z_{sp,cr}$  lassen sich auf Basis dieser Ergebnisse mit Hilfe der zuvor ermittelten Größe der Spaltzugspannungen bei eintretender Rissbildung von  $\sigma_{sp}/f_{ctm} = 0,85$  mit

$$Z_{sp,cr} = \alpha_{cap} \cdot b \cdot d \cdot 0,85 \cdot f_{ctm} \quad \text{Gl. 4-4}$$

abschätzen. Zur Ableitung einer praxisgerechten Angabe der Mindest-Spaltzugbewehrung werden die Völligkeitsbeiwerte vereinfachend unabhängig von der Lastkonzentration mit den Werten der oberen Schranken von  $\alpha_{cap,e} = 0,60$  (ebener Fall) bzw.  $\alpha_{cap,r} = 0,40$  (räumlicher Fall) angesetzt.

Für die Festlegung der Mindestbewehrung wird auf der sicheren Seite liegend unterstellt, dass sich durch die Erstrissbildung keine Änderung des Tragmechanismus einstellt. Wird die zulässige Betonstahlspannung in Anlehnung an die Vorgaben zur Bestimmung der Mindestbewehrung für Biegebauteile (z. B. nach DIN 1045-1 [DIN-2008]) mit der charakteristischen Stahlstreckgrenze  $f_{yk}$  gewählt, so ergibt sich die Mindestspaltzugbewehrung zur Vermeidung eines spröden Versagens bei eintretender Rissbildung und der zugehörige Bewehrungsgrad zu:

$$\min A_{sp} = \frac{z_{sp,cap}}{f_{yk}} \quad \text{Gl. 4-5}$$

$$\min \rho_{1d,duct} = 0,85 \cdot \alpha_{cap} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \quad \text{Gl. 4-6}$$

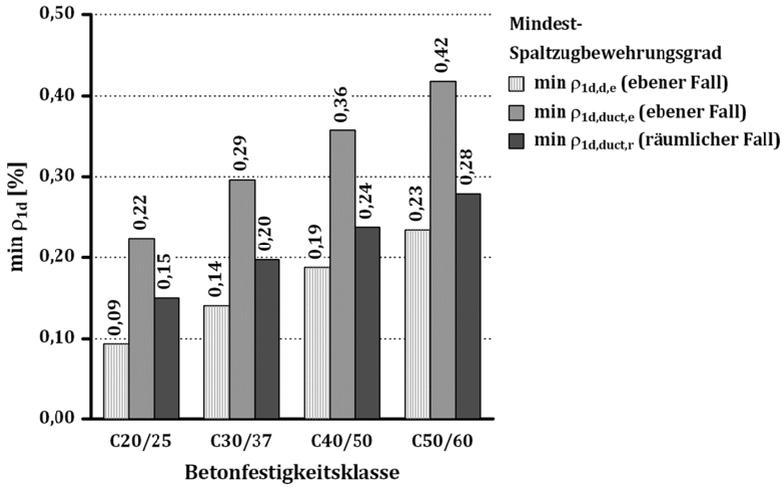
Zum Vergleich werden die Untersuchungsergebnisse von SCHÄFER / BAUMANN / SCHLAICH [Schä-1986] [Baum-1998] [Schl-2001] betrachtet, die für Bemessungszwecke den Bewehrungsgrad, bei dem die bewehrte gerissene Scheibe die Tragfähigkeit des unbewehrten Bauteils erreicht, mit  $\min \omega = 0,06$  angeben (vgl. Kap. 2.4.4). Die Umrechnung in den entsprechenden geometrischen Bewehrungsgrad ergibt

$$\min \rho_{1d,d} = \frac{9}{25} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad \text{Gl. 4-7}$$

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit der unbewehrten Scheibe wird von SCHÄFER / BAUMANN / SCHLAICH ein Versagenskriterium genutzt (vgl. Bild 2-30), das zu Bemessungswerten auf vergleichsweise niedrigem Niveau führt. Die auf Grundlage dieses Tragwiderstands ermittelte Mindestbewehrung stellt daher lediglich eine untere Schranke für die Bemessung dar. Der eigene Ansatz basiert auf den Mittelwerten der Materialwiderstände, wodurch höhere Grenztragfähigkeiten der unbewehrten Bauteile und damit höhere Mindest-Bewehrungsgrade resultieren.

Bild 4-8 zeigt die ermittelten Mindest-Spaltzugbewehrungsgrade für Bemessungszwecke  $\min \rho_{1d,d}$  (Ansatz SCHLAICH / SCHÄFER) und zur Vermeidung eines spröden Versagens bei eintretender Rissbildung  $\min \rho_{1d,duct}$  gemäß dem eigenen Ansatz für verschiedene Betondruckfestigkeitsklassen (nach [DIN-2008] bzw. [EC-2005], [EC-2008]).

#### 4 Untersuchungen zum Tragverhalten bei Erstrissbildung



**Bild 4-8:** Mindest-Spaltzugbewehrungsgrade  $\min \rho_{1d}$  für Bauteile unter zentrischer ebener bzw. räumlicher Teilflächenbelastung

---

## 5 Auswirkung der Rissbildung in Kräfteinleitungsbereichen

### 5.1 Aufgabenstellung und Ziele

Numerische und experimentelle Untersuchungen von SPITZ [Spit-1977], FENWICK / LEE [Fen-1986], IBELL [Ibe-1994-1] [Ibe-1994-2] und FOSTER [Fost-1997] zeigen, dass die Rissbildung in teilflächenbelasteten Körpern zu maßgebenden Änderungen der Tragmechanismen führt. Hierdurch können der Verlauf und die Größe der Spaltzugbeanspruchungen so beeinflusst werden, dass deutliche Abweichungen zum Spannungszustand des ungerissenen Bauteils vorliegen.

Da die Bewehrung im Betonkörper erst nach eintretender Rissbildung maßgebende Beanspruchungen erfährt, ist es erforderlich, bewehrte Bauteile unter Teilflächenbelastung im gerissenen Zustand zu betrachten bzw. zumindest die Auswirkungen der Rissbildung zu berücksichtigen. Die nachfolgenden Untersuchungen zielen daher darauf, die Auswirkungen der Rissbildung auf die Tragmechanismen teilflächenbelasteter Bauteile aus Stahlbeton qualitativ zu erfassen und Ansätze zur Beschreibung der Größe und Verteilung der Spaltzugbeanspruchungen in gerissenen Bauteilen zu geben.

### 5.2 Rissbildung in teilflächenbelasteten Körpern

Aus Bruchversuchen an teilflächenbelasteten Körpern liegen neben den dokumentierten Rissbildern und Erstrisslasten nur wenige Angaben zu Rissverläufen und -breiten vor. Die bestehenden Daten zeigen eine charakteristische Rissentwicklung, die sich auch anhand der unterschiedlichen Zustandsstadien (vgl. Kap. 2.6) nachvollziehen lässt.

Bei der zentrischen Teilflächenbelastung einer mäßig bewehrten Scheibe (ebener Fall) mit gleichmäßig verteilter Spaltzugbewehrung bildet sich zunächst in der Körperachse im Bereich der größten Spaltzugspannung (belastungsabhängig bei  $x/d \approx 0,1 \div 0,4$ ) ein in Belastungsrichtung verlaufender Anriss (Bild 5-1 links). Bei weiterer Steigerung der aufgebrachtten Kraft verlängert sich der Riss an beiden Enden. Gleichzeitig entstehen zusätzliche, parallel bzw. strahlenförmig verlaufende Risse im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich. In Abhängigkeit von der Körperschlankheit kommt es an den lastparallelen Bauteilkanten und im Bereich unterhalb der Lastplattenränder zu kurzen Anrissen.

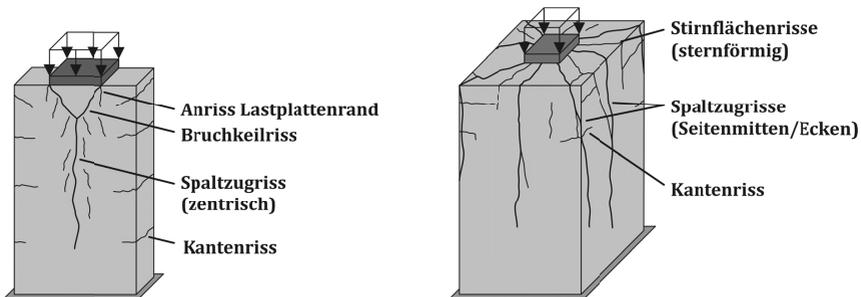
Bei weiterer Laststeigerung vereinigen sich schließlich die Anrisse an den Lastplattenrändern mit dem zentrischen Spaltzugriss. Hierdurch entsteht ein charakteristischer Bruchkeil, an dessen rissdurchsetzten Rändern der Beton plastifiziert. Mit der Verschiebung des Bruchkeils in den Körper erfolgt eine zunehmende Spaltung, so dass

## 5 Auswirkung der Rissbildung in Kräfteinleitungsbereichen

sich der zentrische Riss deutlich aufweitet. Bei ausreichend stark bewehrten Körpern kann die Rissbreite auch nach Ausbildung des Bruchkeils bei weiterer Steigerung der aufnehmbaren Kraft begrenzt werden.

Prismen unter Teilflächenbelastung (räumlicher Fall) weisen ein ähnliches Rissverhalten auf (Bild 5-1 rechts). Typischerweise zeigen sich bei Prismen unter zentrischer Teilflächenbelastung in Krafrichtung verlaufende Risse auf den Seitenflächen und in den Eckbereichen sowie ein sternförmiges Rissbild auf der belasteten Oberfläche. In Abhängigkeit von der Lastkonzentration setzt die Spalttrissbildung bei steigender Belastung zunächst im Körperinneren bzw. im Bereich der Seitenflächen und Eckbereiche ein. Kantenrisse treten bei prismatischen Probekörpern ebenfalls auf.

Zylindrische Körper weisen bei zentrischer Teilflächenbelastung ein Rissbild auf, das aus radial angeordneten Spalt- und umlaufenden Kantenrissen besteht und damit weitgehend dem der Prismen entspricht.

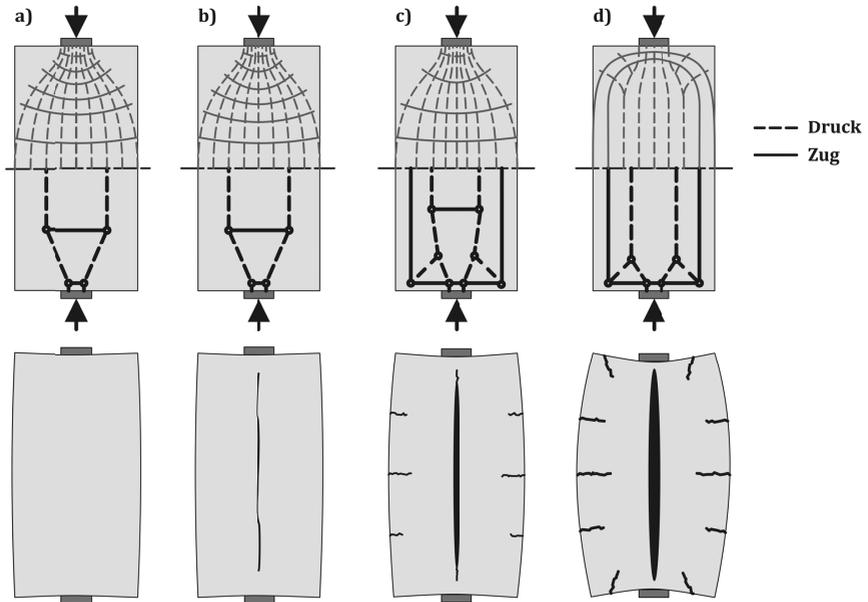


**Bild 5-1:** Charakteristische Rissbildung bei zentrischer Teilflächenbelastung von bewehrten Scheiben (links) und Prismen (rechts)

### 5.3 Tragmechanismen in gerissenen Bauteilen

#### 5.3.1 Allgemeines

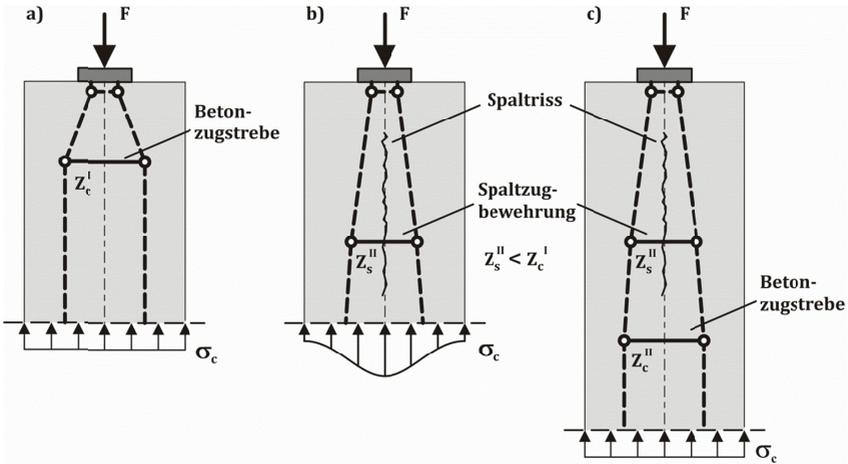
Die in teilflächenbelasteten Körpern auftretenden Tragmechanismen und deren Änderungen mit eintretender Rissbildung werden in Bild 5-2 am Beispiel einer beidseitig zentrisch teilflächenbelasteten Scheibe verdeutlicht. Im ungerissenen Körper breitet sich die eingeleitete Druckkraft im Kräfteinleitungsbereich aus, bis eine über die Körperbreite konstante Spannungsverteilung erreicht ist. Die Hauptdruckspannungstrajektorien werden ausgehend von der Lasteinleitungsstelle umgelenkt, wobei Querdruck- und Querspannungen auftreten. Dieser Lastabtragung wird nachfolgend als „indirekt“ bezeichnet, da die Drucktrajektorien im Einleitungsbereich starke Richtungsänderungen aufweisen (Bild 5-2 a). Im Gegensatz dazu steht die „direkte“ Abtragung, bei der die eingetragenen Druckkräfte weitgehend ohne Umlenkung der Druckspannungstrajektorien abgeleitet werden.



**Bild 5-2:** Ebene Scheibe unter zentrischer Teilflächenbelastung  
a) „indirekte“ Lastabtragung im ungerissenen Körper  
b) weitgehend „indirekte“ Lastabtragung im gerissenen Körper  
c) Kombination aus „direkter“ und „indirekter“ Lastabtragung im gerissenen Körper bei mäßigen Verformungen und Rissbreiten  
d) weitgehend „direkte“ Lastabtragung im gerissenen Körper bei hohen Verformungen und Rissbreiten

Bei auftretender Rissbildung kommt es in Abhängigkeit von den Steifigkeitsverhältnissen zu einer Kraftumlagerung im Körper und einer Kombination aus „direkter“ und „indirekter“ Lastabtragung. Die Hauptdruckspannungstrajektorien werden dabei im unmittelbaren Einleitungsbereich weniger stark umgelenkt und damit „direkter“ abgeleitet, so dass geringere Querdruck- und Querkzugspannungen auftreten. Die ausschließlich „direkte“ Lastabtragung erfolgt bei großen Rissbreiten und ohne maßgebende Querspannungskomponenten außerhalb des unmittelbaren Einleitungsbereichs (Bild 5-2 d).

Es wird deutlich, dass eine Interaktion zwischen dem vorherrschenden Lastabtragungsmechanismus und den durch den Beton und die Bewehrung aufnehmbaren Spaltzugkräften sowie den auftretenden Verformungen besteht. In Bild 5-3 werden die Zusammenhänge in Hinblick auf die Umlagerungen der Spaltzugbeanspruchungen näher betrachtet.



**Bild 5-3:** Umlagerung der Spaltzugbeanspruchungen

In bewehrten Bauteilen werden die eingeleiteten Kräfte im ungerissenen Zustand weitgehend indirekt abgeleitet. Die an der Einleitungsstelle vorliegenden konzentrierten Druckspannungen sind schon in einem geringen Abstand gleichmäßig auf den Querschnitt verteilt. Die Spaltzugbeanspruchungen werden überwiegend über Betonzugspannungen abgetragen, die in einem Stabwerkmodell zu einer Betonzugstrebe  $Z_c^I$  zusammengefasst werden können (Bild 5-3 a). Mit eintretender Rissbildung fällt die Betonzugstrebe im Bereich des Erstrisses aus und die Spaltzugbewehrung nimmt die frei werdenden Kräfte auf (Bild 5-3 b). Mit der bei Rissbildung eintretenden Kraftumlagerung kommt es zu einer direkteren Abtragung der eingeleiteten Kraft, so dass sich die auftretende Umlenkkraft verringert. Weist die Spaltzugbewehrung einen im Vergleich zur Lage der Zugkraftresultierenden im ungerissenen Körper größeren Abstand zur Kräfteinleitung auf, so stellt sich eine deutlich geringere Spaltzugkraft  $Z_s^{II}$  ein. Aufgrund der anteilig wirkenden direkten Lastabtragung liegt jedoch bis in größere Körpertiefen eine ungleichmäßige Spannungsverteilung vor.

Bei ausreichenden Körperabmessungen in Richtung der eingeleiteten Kraft stellt sich durch die weitere Ausbreitung in einem bestimmten Abstand zur Kräfteinleitung eine konstante Spannungsverteilung über den Querschnitt ein. Die Umlenkung der Druckspannungstrajektorien im weiterhin ungerissenen Bereich unterhalb der Spaltzugbewehrung erfolgt wiederum durch Betonzugspannungen, die im Stabwerkmodell zu einer Betonzugstrebe  $Z_c^{II}$  zusammengefasst werden können (Bild 5-3 c).

Die Modelle verdeutlichen, dass mit der Rissbildung und den auftretenden Körperverformungen Bauteilbereiche aktiviert werden, die einen im Vergleich zum ungerissenen Zustand größeren Abstand zur Kräfteinleitung aufweisen. Die Spaltzug-

beanspruchungen werden durch die Rissbildung hinsichtlich der Größe und Lage (Abstand zur Kräfteinleitung) beeinflusst.

Die Steifigkeitszustände und das Verformungsverhalten des gerissenen Körpers hängen dabei wesentlich von folgenden Randbedingungen ab:

- Bewehrungsanordnung und -typ sowie Bewehrungsgrad
- Querschnittsausbildung (gegliederter Querschnitt, Vollquerschnitt)

Zur genaueren Beschreibung der auftretenden Tragmechanismen werden folgende Parameter genutzt (siehe Bild 5-4):

- Bereich der Spaltzugspannungen bzw. -kräfte, insbesondere auf die Bauteilbreite  $d$  bezogene Lage des ersten Auftretens  $x_{z,a}/d$ , des Maximums  $x_{z,m}/d$  und des Abklingens ( $\sigma_y = 0$ ) bzw. Endes des Spannungsbereichs  $x_{z,e}/d$
- Lage der Resultierenden der Spaltzug- und Querdruckspannungen  $x_{res,z}/d$  und  $x_{res,d}/d$
- Abstand  $z/d$  der Resultierenden der Querdruck- und Spaltzugbeanspruchungen
- Maximale Spaltzugspannung  $max \sigma_{sp}/q_2$  und Spaltzugkraft  $F_{res,z}/F$

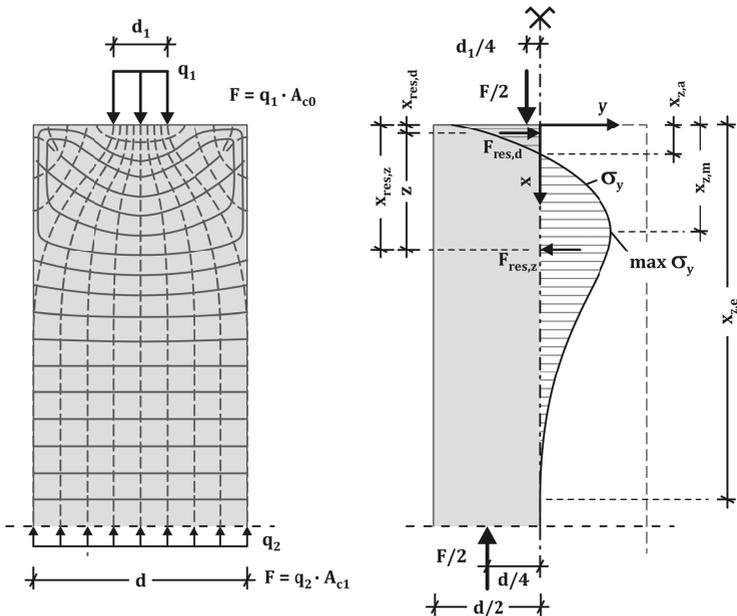


Bild 5-4: Kennzeichnende Parameter zur Beschreibung des Tragmechanismus

5.3.2 Steifigkeitsverringerung infolge der Einzelrissbildung

Als Grundlage für die weiteren Untersuchungen werden Vorüberlegungen zu den Steifigkeitszuständen in Körpern bei eintretender Rissbildung angestellt. In zentrisch teilflächenbelasteten Stahlbetonbauteilen, die ungerissen sind oder nur eine geringe Rissbildung aufweisen, wird die eingeleitete Druckkraft überwiegend indirekt abgetragen (vgl. Bild 5-2 a und b). Die Spaltzugbeanspruchungen verlaufen dabei überwiegend quer zur Richtung der eingeleiteten Druckkraft. Die resultierenden Spaltzugkräfte werden üblicherweise durch eine senkrecht zur Richtung der eingeleiteten Druckkraft verlaufende Bewehrungszugstrebe (Bild 5-5 links) aufgenommen. Diese Zugstrebe bestimmt bei schlanken Bauteilen maßgeblich die Körperaufweitung bzw. Querverformung. Für die weitere Untersuchung wird als Ersatzmodell der Spaltzugstrebe ein Stab unter zentrischer Zugbeanspruchung betrachtet. Die in teilflächenbelasteten Körpern wirkenden Druckspannungen variieren in Abhängigkeit von dem Abstand zur Lasteinleitungsstelle und der Größe der eingeleiteten Druckkraft. Im Bereich der Lage der Spaltzugbewehrungen sind die Druckspannungen im Regelfall soweit abgesunken, dass deren Einfluss für die weiteren Betrachtungen vereinfachend vernachlässigt werden kann.

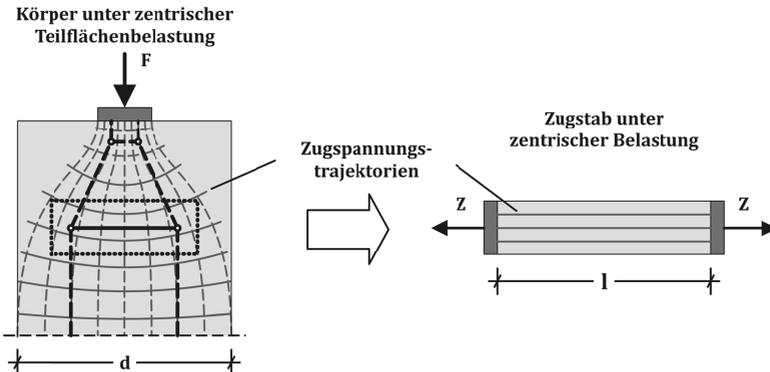


Bild 5-5: Ersatzmodell eines Zugstabes unter zentrischer Belastung

Die Steifigkeit des ungerissenen Zugstabes ergibt sich mit dem Elastizitätsmodul des Betons  $E_c$  zu

$$c_c = \frac{E_c \cdot A_c}{l} \tag{Gl. 5-1}$$

Die Dehnsteifigkeit des „nackten“ Stahlquerschnitts bestimmt sich entsprechend zu

$$c_s = \frac{E_s \cdot A_s}{l} \tag{Gl. 5-2}$$

Das Verhältnis der Dehnsteifigkeit des Stahlquerschnitts zu der des ungerissenen Zugstabes ergibt sich zu

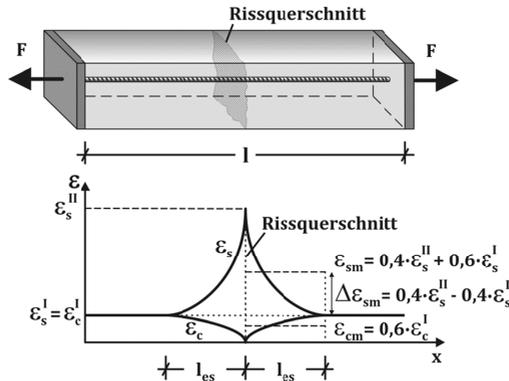
$$\frac{c_s}{c_c} = \alpha_E \cdot \rho . \quad \text{Gl. 5-3}$$

Zur Ermittlung der Steifigkeiten des bewehrten Zugstabes im gerissenen Zustand wird eine Einzelrissbildung angenommen, da sich in zentrisch teilflächenbelasteten Scheiben typischerweise lediglich ein mittiger Spaltriss einstellt. Die Ableitung der Steifigkeitsverringerung erfolgt auf Basis der in DAfStb-Heft 525 [DAfStb-2010] erläuterten und in Bild 5-6 dargestellten mechanischen Grundlagen.

Beidseitig des Risses besteht auf der sogenannten Einleitungslänge  $l_{es}$  ein Dehnungsunterschied zwischen Beton und Betonstahl, der zur Ermittlung der Gesamtverlängerung des Stabes beachtet werden muss.

### 5.3.2.1 Ansatz für lange Zugstreben

In einem ersten Schritt wird angenommen, dass die Gesamtlänge des Stabes mindestens der doppelten Einleitungslänge entspricht ( $l \geq 2 \cdot l_{es}$ ), also eine „lange“ Zugstrebe mit einem einzelnen Rissquerschnitt vorliegt.



**Bild 5-6: Dehnungsverläufe bei Einzelrissbildung nach [DAfStb-2010]**

Aufgrund der Rissbildung erhöht sich im Bereich der Einleitungslängen die Dehnung des Betonstahls  $\varepsilon_s$  im Vergleich zur Dehnung im ungerissenen Zustand  $\varepsilon_s^I$ , die Differenz kann nach [DAfStb-2010] mit

$$\Delta \varepsilon_{sm} = 0,4 \cdot \varepsilon_s^{II} + 0,6 \cdot \varepsilon_s^I - 1,0 \cdot \varepsilon_s^I = 0,4 \cdot \varepsilon_s^{II} - 0,4 \cdot \varepsilon_s^I \quad \text{Gl. 5-4}$$

beschrieben werden. Die Zusatzdehnung führt zu einer im Vergleich zum ungerissenen Körper verringerten Dehnsteifigkeit des gesamten Stabes.

## 5 Auswirkung der Rissbildung in Krafteinleitungsbereichen

Zur Ermittlung der Steifigkeit des gerissenen Systems werden folgende Annahmen getroffen:

1. Die Einleitungslänge beträgt entsprechend [DAFStb-2010]:

$$l_{es} = \frac{\sigma_s^{II} \cdot d_s}{4 \cdot \tau_{sm}} \quad \text{Gl. 5-5}$$

2. Die Beanspruchung, die zur Erstrissbildung führt, wirkt kurzzeitig. Eine Abminderung der Verbundsteifigkeit infolge Dauerlast (wie in [DAFStb-2010] angenommen) wird daher nicht berücksichtigt.
3. Zur Abschätzung der Steifigkeitsabnahmen wird der Mittelwert der Verbundspannung entsprechend [DAFStb-2010] mit  $\tau_{sm} = 1,8 \cdot f_{ct,eff}$  angenommen.

Auf dieser Grundlage kann die Dehnsteifigkeit des gerissenen Stabes rechnerisch ermittelt werden.

Für den Zustand bei Erstrissbildung wird die Risskraft mit

$$F_{cr} = f_{ct,eff} \cdot A_c = \sigma_s^{II} \cdot A_s \quad \text{Gl. 5-6}$$

angenommen. Zur Bestimmung der mittleren Dehnung des gerissenen Zugstabes werden zwei Dehnungsanteile unterschieden. Der Stahldehnungsanteil  $\varepsilon_s^I$ , der auf der gesamten Stablänge  $l$  konstant ist, beträgt

$$\varepsilon_s^I = \varepsilon_c^I = \frac{f_{ct,eff}}{E_c} \quad \text{Gl. 5-7}$$

In dem Bereich der Einleitungslänge beidseitig des Risses treten die mittleren Zusatzdehnungen  $\Delta\varepsilon_{sm}$  auf. Die Gesamtlänge dieses Bereichs ist

$$2 \cdot l_{es} = \frac{d_s}{3,6} \cdot \left( \frac{1}{\rho} - \alpha_E \right), \quad \text{Gl. 5-8}$$

vereinfacht nach [DAFStb-2010]  $2 \cdot l_{es} = \frac{d_s}{3,6 \cdot \rho}$ .

mit

$$\rho = A_s / A_c \quad \text{geometrischer Bewehrungsgrad}$$

$$\alpha_E = E_s / E_c \quad \text{Verhältnis der Elastizitätsmodul von Betonstahl und Beton}$$

Aus Gl. 5-4 folgt die Zusatzdehnung zu

$$\Delta\varepsilon_{sm} = 0,4 \cdot \varepsilon_s^{II} - 0,4 \cdot \varepsilon_s^I = 0,4 \cdot \left( \frac{f_{ct,eff} \cdot A_c}{E_s \cdot A_s} - \frac{f_{ct,eff}}{E_c} \right) \quad \text{Gl. 5-9}$$

Die Dehnsteifigkeit des gerissenen langen Zugstabes mit Einzelriss ergibt sich damit zu

$$c_{cr,l} = \frac{f_{ct,eff} \cdot A_c}{\varepsilon_s^I \cdot l + \Delta\varepsilon_{sm} \cdot 2 \cdot l_{es}} = \frac{E_c \cdot A_c}{l + 2 \cdot l_{es} \cdot 0,4 \cdot \left( \frac{1}{\alpha_E \rho} - 1 \right)} \quad \text{Gl. 5-10}$$

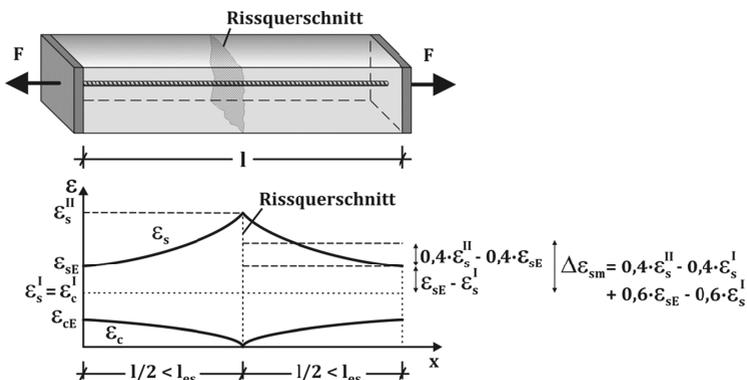
Das Verhältnis der Dehnsteifigkeiten des gerissenen und ungerissenen langen Stabes bestimmt sich zu

$$\frac{c_{cr,l}}{c_c} = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot l_{es}}{l} \cdot 0,4 \cdot \left( \frac{1}{\alpha_E \cdot \rho} - 1 \right)} \quad \text{Gl. 5-11}$$

und hängt wesentlich vom Verhältnis der doppelten Einleitungs- zur Gesamtlänge des Zugstabes ab.

### 5.3.2.2 Ansatz für kurze Zugstreben

Bei Zugstäben mit einer Länge, die kleiner als die doppelte Einleitungslänge ist, liegt eine „kurze“ Zugstrebe vor ( $l < 2 \cdot l_{es}$ ). In diesem Fall wird bei der Rissbildung bis zu den Stabenden kein Dehnungsausgleich zwischen Beton und Betonstahl erreicht. Die im Riss vorliegenden Bewehrungsspannungen können nur unvollständig durch Verbundspannungen an den Beton übertragen werden, so dass die verbleibenden Kräfte durch besondere Endverankerungen (z. B. Ankerplatte) oder Stabumlenkungen mit entsprechender Kraftweiterleitung abgetragen werden müssen. Die Dehnungszustände der Bewehrung und des Betons unterscheiden sich daher von denen eines vollständig über Verbundspannungen verankerten Bewehrungsstabes. Bild 5-7 zeigt die Dehnungszustände einer kurzen Zugstrebe.



**Bild 5-7:** „Kurze“ Zugstrebe bei zentrisch teilflächenbelastetem Körper und Dehnungsverläufe im Beton und Betonstahl

Die mittlere Dehnungsdifferenz des Betonstahls  $\epsilon_s$  im Vergleich zur Dehnung im ungerissenen Zustand  $\epsilon_s^I$  ergibt sich für diesen Zustand in Abhängigkeit von der Stahldehnung am Stabende  $\epsilon_{sE}$  mit den Ansätzen nach [DAFStb-2010] zu:

$$\begin{aligned} \Delta \epsilon_{sm} &= 0,4 \cdot \epsilon_s^{II} + 0,6 \cdot \epsilon_{sE} - \epsilon_s^I \\ &= (0,4 \cdot \epsilon_s^{II} - 0,4 \cdot \epsilon_s^I) + (0,6 \cdot \epsilon_{sE} - 0,6 \cdot \epsilon_s^I) \\ &= (\Delta \epsilon_{sm})_{\text{lange Zugstrebe}} + 0,6 \cdot \epsilon_{sE} - 0,6 \cdot \epsilon_s^I \end{aligned} \quad \text{Gl. 5-12}$$

## 5 Auswirkung der Rissbildung in Kräfteinleitungsbereichen

Die Dehnsteifigkeit des gerissenen kurzen Zugstabes mit Einzelriss kann damit zu

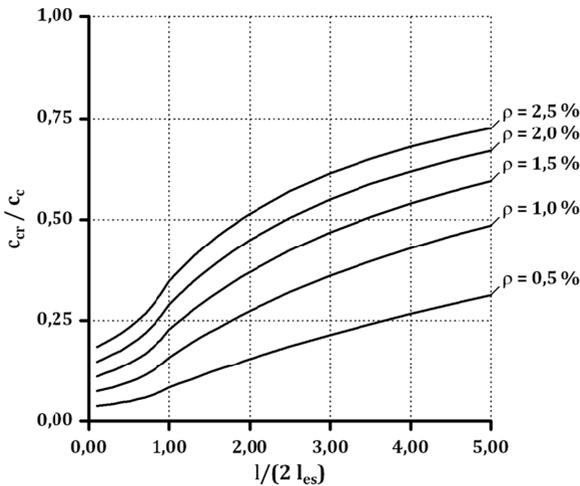
$$c_{cr,k} = \frac{f_{ct,eff} \cdot A_c}{(\varepsilon_s^I + \Delta \varepsilon_{sm}) \cdot l} = \frac{E_c \cdot A_c}{\left[ \frac{1}{\alpha_E \cdot \rho} - 0,6 \frac{l}{2 \cdot l_{es}} \left( \frac{1}{\alpha_E \cdot \rho} - 1 \right) \right] \cdot l} \quad \text{Gl. 5-13}$$

bestimmt werden. Das Verhältnis der Dehnsteifigkeiten des gerissenen und ungerissenen kurzen Stabes ergibt sich zu

$$\frac{c_{cr,k}}{c_c} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_E \cdot \rho} - 0,6 \frac{l}{2 \cdot l_{es}} \left( \frac{1}{\alpha_E \cdot \rho} - 1 \right)} \quad \text{Gl. 5-14}$$

### 5.3.2.3 Auswertung der Ansätze

Eine Auswertung für Stahlbetonzugstäbe mit unterschiedlichen Bewehrungsgraden verdeutlicht die in Abhängigkeit von der bezogenen Länge  $l/(2 \cdot l_{es})$  auftretenden bezogenen Dehnsteifigkeiten  $c_{cr}/c_c$  (Bild 5-8).



**Bild 5-8: Bezogene Dehnsteifigkeit  $c_{cr}/c_c$  von Stahlbetonstäben unterschiedlicher Länge mit Einzelrissbildung ( $\alpha_E = 7$ )**

In teilflächenbelasteten Körpern werden charakteristischerweise Bewehrungsgrade von  $\rho_{1d} = 0,5 \div 2,5\%$  genutzt. Die Auswertung der bezogenen Dehnsteifigkeiten nach der Rissbildung zeigt, dass in Zugstäben bei diesen Bewehrungsgraden deutliche Reduktionen auf 75 % bis zu unter 25 % der Werte des ungerissenen Körpers auftreten.

Bei sehr geringen Bewehrungsgraden besteht die Möglichkeit, dass beim Auftreten des Einzelrisses die Fließspannung im Betonstahl der Zugstrebe erreicht und überschritten wird. Da die vorgestellten Ansätze auf elastischen Zuständen des Betonstahls basieren, wird für die Ermittlung der Dehnsteifigkeitszustände derjenige Grenzbewehrungsgrad

bestimmt, bei dem dieser Fall gerade auftritt. Dieser liegt in Abhängigkeit von den Mittelwerten der Betonzugfestigkeit und der Fließspannung des Betonstahls mit

$$\rho_{gr} = \frac{f_{ctm}}{f_{ym}} \quad \text{Gl. 5-15}$$

vor. Bei Unterschreitung des Grenzbewehrungsgrads können die bezogenen Dehnsteifigkeiten nach der Rissbildung mit diesem Wert abgeschätzt werden, liegen jedoch tendenziell zu hoch.

Sinken die Beanspruchungen des Zugstabes mit eintretender Rissbildung ab, so wird die vorliegende Dehnsteifigkeit beeinflusst, da sich die Dehnungszustände ändern. Die rechnerische Bestimmung der beanspruchungsabhängigen Dehnsteifigkeit ist auf Grundlage von Gl. 5-11 und Gl. 5-14 durch entsprechende Anpassung der rechnerischen Einleitungslängen möglich. Bild 5-9 zeigt die Entwicklung der bezogenen Dehnsteifigkeiten  $c_{cr}/c_c$  für Beanspruchungszustände von  $F/F_{cr} = 1 \div 0$  nach der Rissbildung ( $F_{cr}$ : Bewehrungszugkraft bei der Rissbildung).

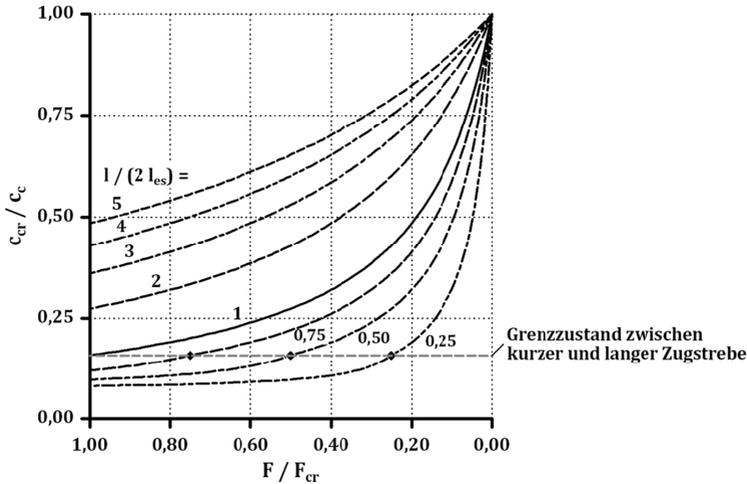
Die Dehnsteifigkeit der langen Zugstreben ( $l/(2 \cdot l_{es}) \geq 1$ ) steigt bei sinkender Beanspruchung nach der Rissbildung wieder an und erreicht bei  $F/F_{cr} = 0$  die Steifigkeit des ungerissenen Stabes ( $c_{cr}/c_c = 1,0$ ). Die Steifigkeit wächst bei fallender Beanspruchung zunächst unterproportional. In Abhängigkeit von der Länge der Zugstrebe stellen sich erst ab  $F/F_{cr} = 0,5 \div 0,3$  überproportionale Zuwächse ein.

Bei kurzen Zugstreben ( $l/(2 \cdot l_{es}) < 1$ ) kommt es nach der Rissbildung mit sinkender Beanspruchung zunächst nur zu einer sehr geringen Zunahme der Dehnsteifigkeit. In Abhängigkeit von der Strebenlänge wird bei dem Beanspruchungsniveau

$$F/F_{cr} = l/(2 \cdot l_{es}) \quad \text{Gl. 5-16}$$

der Grenzzustand zwischen kurzen und langen Zugstreben erreicht.

Bei weiterem Abfall der Beanspruchung wächst die Steifigkeit der Zugstrebe dann überproportional an und erreicht bei  $F/F_{cr} = 0$  die Steifigkeit des ungerissenen Stabes ( $c_{cr}/c_c = 1,0$ ).



**Bild 5-9:** Beanspruchungsabhängige bezogene Dehnsteifigkeit  $c_{cr}/c_c$  von Stahlbetonstäben unterschiedlicher Länge mit Einzelrissbildung ( $\rho = 1 \%$ ,  $\alpha_E = 7$ )

Die Untersuchungen verdeutlichen, dass die infolge der Rissbildung reduzierte Steifigkeit bei abfallender Beanspruchung besonders bei Zugstreben mit geringer bezogener Länge  $l/(2 \cdot l_{es})$  zunächst nur langsam wieder zunimmt. Bei kurzen Zugstreben verbleibt die Dehnsteifigkeit mit sinkender Beanspruchung sogar annähernd auf gleichem Niveau, bis der Grenzzustand zwischen kurzen und langen Zugstreben erreicht ist. Die Dehnsteifigkeit des ungerissenen Zugstabes wird erst bei völligem Abfall der Beanspruchung wieder erreicht.

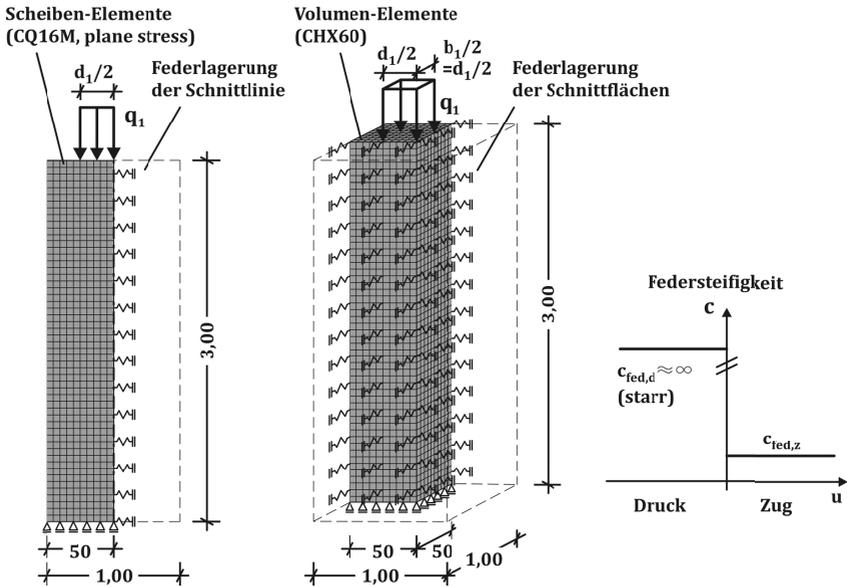
## 5.4 Numerische Berechnungen unter Berücksichtigung der absinkenden Bauteil-Querdehnsteifigkeit bei einer zentrischen Spaltrissbildung

### 5.4.1 Grundlagen

Zur grundsätzlichen Untersuchung der Auswirkungen einer Rissbildung in Körpern mit konzentrierter Druckkräfteinleitung werden numerische Berechnungen mit dem Programm DIANA (TNO DIANA, Delft) [TNO-2010] durchgeführt. Hierbei werden zentrisch beanspruchte Scheiben und Prismen unter Teilflächenbelastung mit eintretender Spaltrissbildung betrachtet. Das Hauptaugenmerk der Analysen liegt auf der Spannungsverteilung in der Körperachse (ebener Fall) bzw. auf der Schnittfläche durch die Körperachse und die Seitenmittelpunkte (räumlicher Fall). Die Dehnsteifigkeit in Querrichtung hat dabei einen entscheidenden Einfluss und wird daher in den numerischen Berechnungen variiert, um so die Auswirkungen auf die Spannungszustände und Tragmechanismen zu untersuchen.

### 5.4.2 Modelle

Die Berechnungen zum ebenen Fall erfolgen an Halbmodellen unter Nutzung von Scheiben-Elementen und Annahme eines ebenen Spannungszustands. Zur Untersuchung des räumlichen Falls werden Viertelmodelle mit Volumen-Elementen eingesetzt. Bild 5-10 zeigt die Abmessungen und den generellen Aufbau der Modelle.



**Bild 5-10:** Finite Elemente – Halb- und Viertelmodell für die Untersuchung des ebenen und räumlichen Falls mit Federkennlinie

Die Schlankheit der untersuchten Modelle wird mit  $\lambda = 3$  gewählt, um die Einflüsse der Lagerung zu begrenzen und auch weit in den Körper verlaufende Rissbildungen simulieren zu können. An den Modellunterkanten wird eine starre Festhaltung in Belastungsrichtung angenommen. In der Schnittlinie bzw. an den Schnittflächen werden Federlagerungen quer zur Richtung der eingeleiteten Kraft vorgesehen, die zur Modellierung der unterschiedlichen Steifigkeitszustände genutzt werden.

Die Modelle werden durch Knotenkräfte belastet, die an der oberen Kante auf der zur entsprechenden Lastkonzentration gehörigen Breite bzw. Fläche aufgebracht werden. Die Berechnungen erfolgen unter Annahme eines linear-elastischen Materialverhaltens für die Scheiben- bzw. Volumen-Elemente (Betondruckfestigkeitsklasse C30/37,  $E_{cm} = 28.300 \text{ N/mm}^2$ ,  $\nu = 0,2$ ).

Die Abbildung des Steifigkeitsverlusts, der senkrecht zur Richtung der eingeleiteten Kraft durch die Spaltrissbildung hervorgerufen wird, erfolgt durch die entsprechende

## 5 Auswirkung der Rissbildung in Kräfteinleitungsbereichen

Wahl der Lagersteifigkeiten. Diese werden für bestimmte Steifigkeitszustände rechnerisch ermittelt und an allen Schnittlinien bzw. -flächen konstant angesetzt. Für Querdrukbeanspruchungen werden die Federn stets starr angesetzt.

Die Steifigkeiten der Federlagerungen werden für einaxiale Dehnsteifigkeiten in Querrichtung von 100 % (linear-elastisch), 75 %, 50 %, 25 %, 10 % und 5 % gewählt. Die rechnerische Bestimmung der Lagersteifigkeit  $c_{fed,z}$  erfolgt unter der Annahme einer Reihenschaltung der Auflagerfeder und der elastischen Körperreaktion. Die so ermittelten Steifigkeiten sind in Tabelle 5-1 zusammengestellt.

**Tabelle 5-1: Steifigkeiten der Federlagerungen**

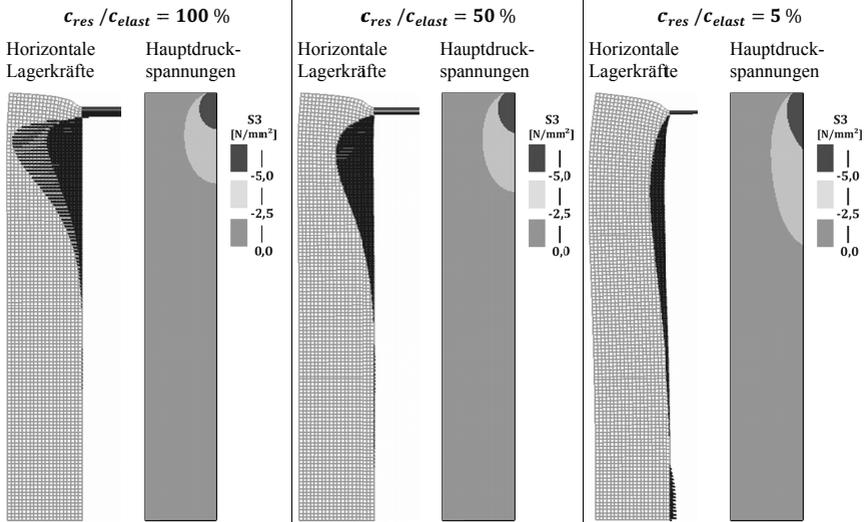
|                                    |                                  |                  |   |        |        |       |       |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------|---|--------|--------|-------|-------|
| Modellbreite                       | $d/2$ [m]                        | 0,50             | $\frac{1}{c_{res}} = \frac{1}{c_{elast}} + \frac{1}{c_{fed,z}}$ |        |        |       |       |
| E-Modul Beton (C30/37)             | $E_{cm}$ [MN/m <sup>2</sup> ]    | 28.300           |   |        |        |       |       |
| Dehnsteifigkeit Körper (elastisch) | $c_{elast}$ [MN/m <sup>3</sup> ] | 56.600           |   |        |        |       |       |
| Quer-Dehnsteifigkeit               | $c_{res} / c_{elast}$            | 100 %            | 75 %  | 50 %   | 25 %   | 10 %  | 5 %   |
|                                    | $c_{res}$ [MN/m <sup>3</sup> ]   | 56.600           | 42.450  | 28.300 | 14.150 | 5.660 | 2.830 |
| Steifigkeit der Federlagerung      | $c_{fed,z}$ [MN/m <sup>3</sup> ] | $\infty$ (starr) | 169.800   | 56.600 | 18.867 | 6.289 | 2.979 |

Für den ebenen Fall werden die Lastkonzentrationen  $d/d_1 = 2 ; 4 ; 8 ; \infty$  betrachtet, für den räumlichen Fall werden  $d/d_1 = 2 ; 3,33 ; 5 ; 10$  verwendet. Die Höhe der Spannungen auf der Lastfläche  $q_1$  beeinflusst aufgrund der Modellwahl nicht die relative Spannungsverteilung im Körper. Um ein realistisches Beanspruchungsniveau zu untersuchen, wird die Spannung bei den Berechnungen mit  $q_1 = 20 \text{ N/mm}^2$  angesetzt (Ausnahme bei  $d/d_1 = \infty$ : Spannung auf der Verteilungsfläche  $q_2 = 1 \text{ N/mm}^2$ ).

Die Modellbeschreibungen und alle maßgebenden Eingangsdaten sind in Anhang C zusammengestellt.

### 5.4.3 Berechnungsergebnisse für ebene Fälle

Bild 5-11 zeigt exemplarisch für drei der sechs untersuchten Quer-Dehnsteifigkeiten die qualitativen Unterschiede der horizontalen Lagerkräfte und die Verteilungen der Hauptdruckspannungen für das Modell mit  $d/d_1 = 8$ .



**Bild 5-11:** Ergebnisse für den ebenen Fall mit der Lastkonzentration  $d/d_1 = 8$ , horizontale Lagerkräfte und Verlauf der Hauptdruckspannungen

Der Vergleich der Verläufe der horizontalen Lagerkräfte zeigt mit abnehmender Steifigkeit der Federlagerung eine Verteilung der Kräfte auf größere Körperbereiche bei gleichzeitiger Reduzierung des Maximalwertes. Dieser Effekt lässt sich auch an der Verteilung der Hauptdruckspannungen erkennen. Die im Belastungsbereich vorliegenden konzentrierten Druckspannungen werden bei starrer Lagerung auf vergleichsweise geringerer Länge abgebaut. Bei geringeren Federsteifigkeiten erstreckt sich der „Einleitungsbereich“ bis zum Erreichen einer ausgewogenen Spannungsverteilung über den Querschnitt dagegen deutlich weiter in den Körper hinein.

Die für die unterschiedlichen Steifigkeitsverhältnisse und Lastkonzentrationen berechneten Verläufe der Spaltzugspannungen spiegeln die beschriebenen Aspekte ebenfalls wider und sind in den folgenden Bildern dargestellt. Zum Vergleich sind die jeweiligen theoretischen Verläufe entsprechend der Elastizitätstheorie aufgeführt.

## 5 Auswirkung der Rissbildung in Kräfteleitbereichen

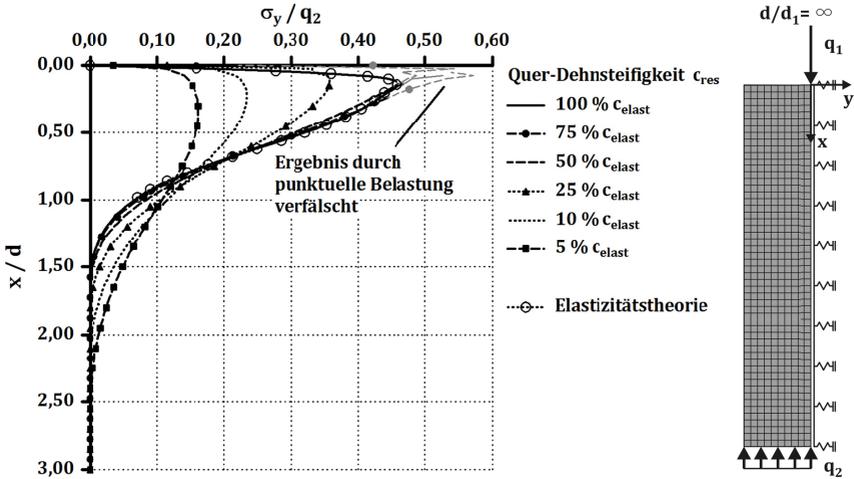


Bild 5-12: Spaltzugspannungen in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit für die Lastkonzentration  $d/d_1 = \infty$

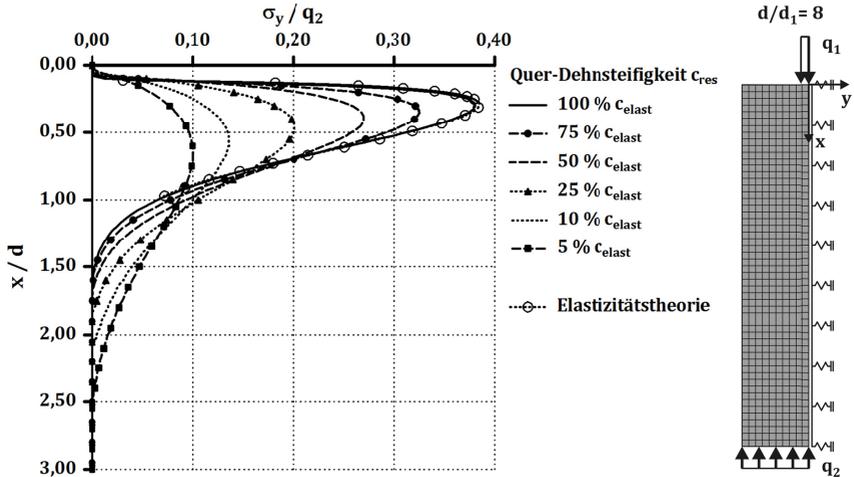


Bild 5-13: Spaltzugspannungen in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit für die Lastkonzentration  $d/d_1 = 8$

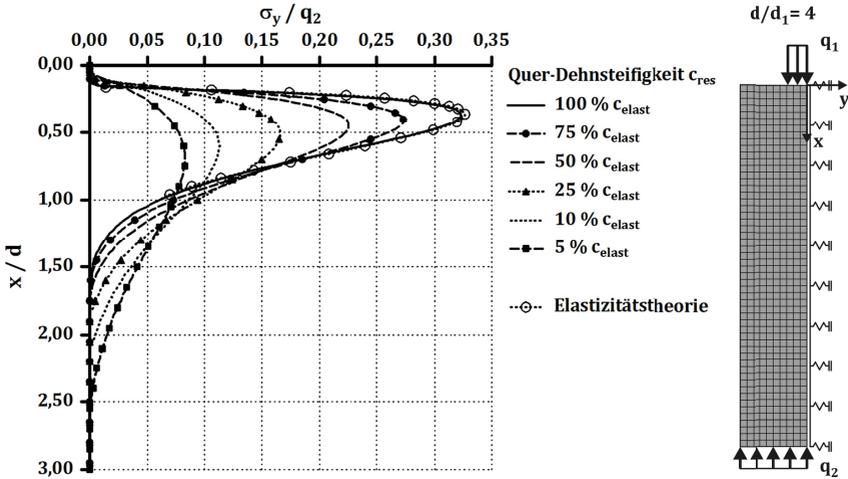


Bild 5-14: Spaltzugspannungen in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit für die Lastkonzentration  $d/d_1 = 4$

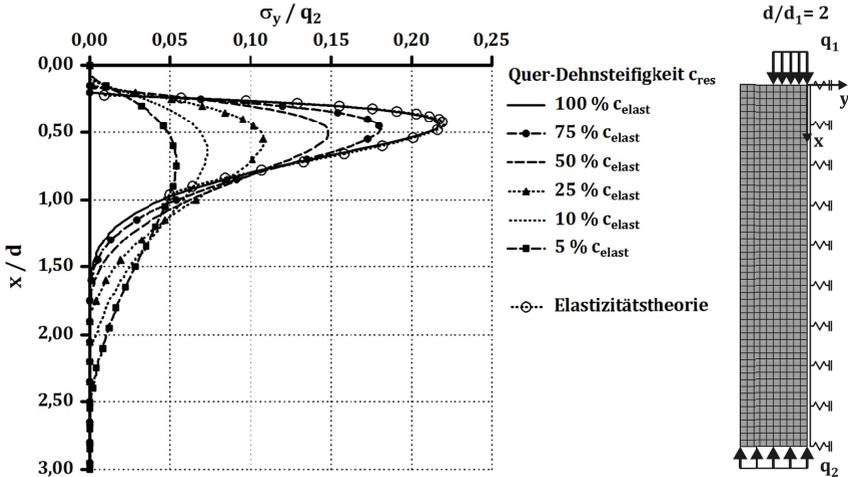


Bild 5-15: Spaltzugspannungen in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit für die Lastkonzentration  $d/d_1 = 2$

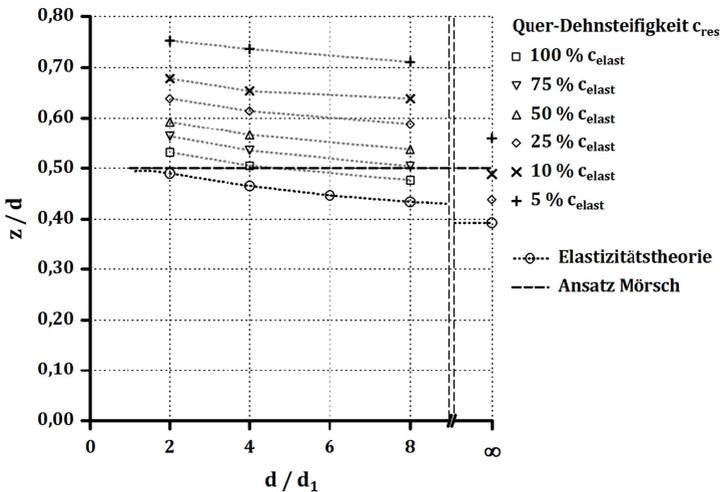
Bei starrer Federlagerung (Steifigkeit 100 %) weisen die Spannungsverläufe eine sehr gute Übereinstimmung mit den theoretischen Ergebnissen nach IYENGAR [Iye-1960] auf und bestätigen damit grundsätzlich die Modell- und Berechnungsannahmen. Bei den Berechnungen mit der Lastkonzentration  $d/d_1 = \infty$  kommt es aufgrund der Singularität durch die punktuelle Belastung zu einer Verfälschung der Ergebnisse im unmittelbaren Einleitungsbereich. Die bei der Lastkonzentration  $d/d_1 = \infty$  für die Quer-

## 5 Auswirkung der Rissbildung in Kräfteleitungsbereichen

Dehnsteifigkeiten von 100 %, 75 % und 50 % ermittelten Spannungszustände werden daher in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.

Mit abnehmender Quer-Dehnsteifigkeit vergrößert sich der Bereich, in dem Spaltzugspannungen auftreten. Die Zugspannungen verteilen sich dabei weiter in den Körper hinein. Die Ausbreitung der Bereiche mit Zugspannungen erfolgt auch in Richtung der Lasteinleitungsstelle, wodurch die dort vorhandene Druckzone eingeschnürt wird. Weiterhin zeigt sich, dass sich die Maximalwerte der Spaltzugspannungen  $\max \sigma_y / q_2$  mit abnehmender Steifigkeit deutlich verringern.

Bild 5-16 stellt die Entwicklung des Abstands zwischen den Resultierenden der Querdruck- und Spaltzugspannungen in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit dar. Zum Vergleich werden die entsprechenden Werte nach der Elastizitätstheorie auf Basis der Angaben von IYENGAR [Iye-1960] ermittelt und ergänzt (Details siehe Anhang A). IYENGAR beschränkt seine Angaben auf den Bereich  $x/d = 0 \div 1,00$ . Da die Spaltzugspannungen auch im linear-elastischen Körper bei  $x/d = 1,00$  nicht vollständig abgeklungen sind, ergeben sich bereits bei starrer Lagerung in der Körperachse (Steifigkeit 100 %) geringe Abweichungen zu den berechneten Abständen. Mit abfallender Quer-Dehnsteifigkeit vergrößert sich der Abstand zwischen den Resultierenden und überschreitet damit auch die Annahme von MÖRSCH ( $z/d = 0,50$  konstant) deutlich.



**Bild 5-16: Abstand der Resultierenden der Querdruck- und Spaltzugspannungen in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit beim ebenen Fall**

Wie in Kapitel 5.3.1 beschrieben, besteht aus Gleichgewichtsgründen ein direkter Zusammenhang zwischen dem Abstand der Querspannungs-Resultierenden und der Größe der Spaltzugkraft. Die in Bild 5-17 und Bild 5-18 dargestellten Entwicklungen

der maximalen Spaltzugspannungen und der resultierenden Spaltzugkraft in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit bestätigen diesen Zusammenhang.

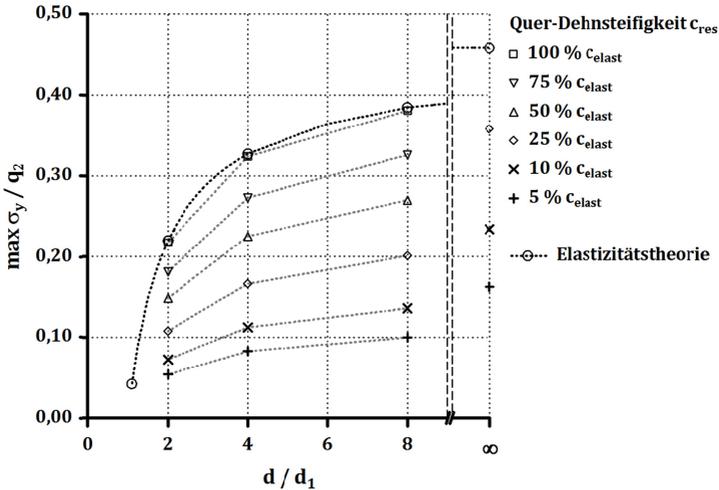


Bild 5-17: Maximalwert der Spaltzugspannung in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit beim ebenen Fall

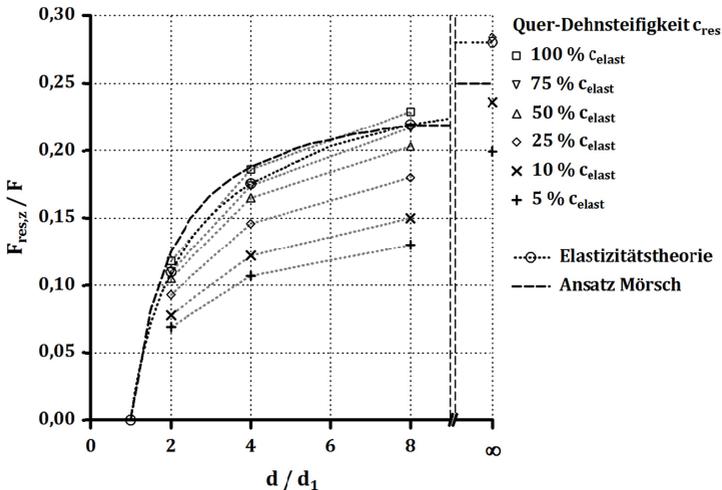


Bild 5-18: Resultierende Spaltzugkraft in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit beim ebenen Fall

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse mit dem Ansatz von MÖRSCH zeigt, dass die hiernach ermittelte Größe der Spaltzugkraft bei geringen Dehnsteifigkeiten überschätzt wird. Tabelle 5-2 gibt einen Überblick über die erzielten Ergebnisse zum Einfluss der Rissbildung auf die Spaltzugbeanspruchungen bei ebenen Fällen.

## 5 Auswirkung der Rissbildung in Kräfteinleitungsbereichen

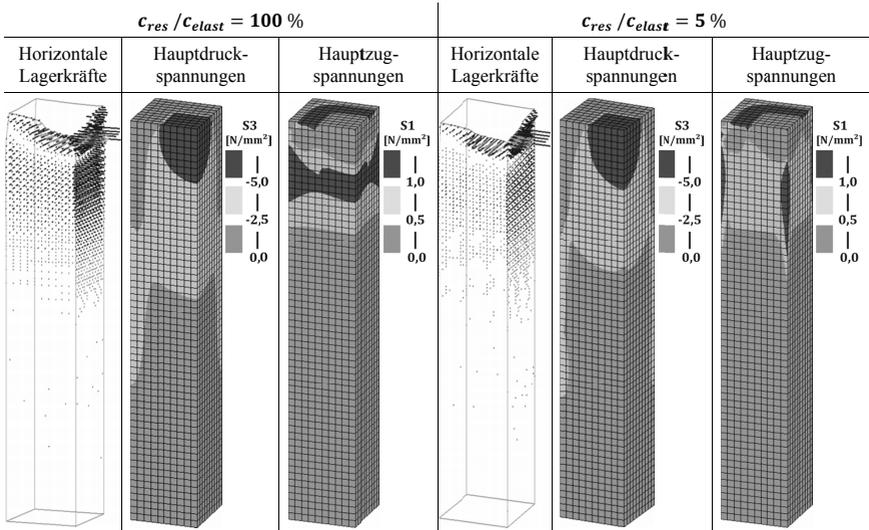
**Tabelle 5-2: Ergebnisse zum Einfluss der Rissbildung auf die Spaltzugbeanspruchungen bei ebenen Fällen**

| Last-konzentr.-verhältnis | Querdehnsteifigkeit | Lage der Spaltzugsp.-Resultierenden | Abstand der Resultierenden | max. Spaltzugspannung | rel. Spaltzugkraft  | rel. Spaltzugkraft (Bezug Ansatz Mörsch) |
|---------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|--|
| $d/d_1$                   | $c_{res}/c_{elast}$ | $x_{res,z}/d$                       | $z/d$                      | $\max \sigma_y / q_z$ | $F_{res,z}/F$       | $F_{res,z}/Z_{sp,Mörsch}$                |
| 2                         | 100 %               | 0,596                               | 0,531                      | 0,217                 | 0,118               | 94,1%                                    |
|                           | 75 %                | 0,634                               | 0,563                      | 0,181                 | 0,110               | 88,0%                                    |
|                           | 50 %                | 0,674                               | 0,593                      | 0,148                 | 0,105               | 83,9%                                    |
|                           | 25 %                | 0,754                               | 0,639                      | 0,108                 | 0,093               | 74,1%                                    |
|                           | 10 %                | 0,870                               | 0,678                      | 0,073                 | 0,078               | 62,3%                                    |
|                           | 5 %                 | 0,994                               | 0,753                      | 0,054                 | 0,069               | 55,2%                                    |
| 4                         | 100 %               | 0,548                               | 0,505                      | 0,324                 | 0,186               | 99,0%                                    |
|                           | 75 %                | 0,585                               | 0,535                      | 0,273                 | 0,174               | 93,0%                                    |
|                           | 50 %                | 0,628                               | 0,566                      | 0,225                 | 0,165               | 88,0%                                    |
|                           | 25 %                | 0,711                               | 0,614                      | 0,166                 | 0,146               | 78,0%                                    |
|                           | 10 %                | 0,831                               | 0,654                      | 0,113                 | 0,122               | 65,2%                                    |
|                           | 5 %                 | 0,960                               | 0,736                      | 0,083                 | 0,107               | 57,3%                                    |
| 8                         | 100 %               | 0,503                               | 0,477                      | 0,381                 | 0,229               | 104,9%                                   |
|                           | 75 %                | 0,537                               | 0,504                      | 0,326                 | 0,217               | 99,2%                                    |
|                           | 50 %                | 0,583                               | 0,537                      | 0,270                 | 0,203               | 92,8%                                    |
|                           | 25 %                | 0,668                               | 0,589                      | 0,201                 | 0,180               | 82,2%                                    |
|                           | 10 %                | 0,793                               | 0,639                      | 0,136                 | 0,150               | 68,4%                                    |
|                           | 5 %                 | 0,924                               | 0,711                      | 0,100                 | 0,130               | 59,6%                                    |
| $\infty$                  | 100 %               | 0,317 <sup>*)</sup>                 | 0,312 <sup>*)</sup>        | 2,309 <sup>*)</sup>   | 0,401 <sup>*)</sup> | 160,5 <sup>*)</sup>                      |
|                           | 75 %                | 0,384 <sup>*)</sup>                 | 0,375 <sup>*)</sup>        | 0,847 <sup>*)</sup>   | 0,334 <sup>*)</sup> | 133,6 <sup>*)</sup>                      |
|                           | 50 %                | 0,419 <sup>*)</sup>                 | 0,396 <sup>*)</sup>        | 0,544 <sup>*)</sup>   | 0,315 <sup>*)</sup> | 126,2 <sup>*)</sup>                      |
|                           | 25 %                | 0,490                               | 0,438                      | 0,358                 | 0,284               | 113,8%                                   |
|                           | 10 %                | 0,610                               | 0,488                      | 0,234                 | 0,236               | 94,6%                                    |
|                           | 5 %                 | 0,736                               | 0,559                      | 0,162                 | 0,199               | 79,6%                                    |

<sup>\*)</sup> Verfälschung der Ergebnisse im unmittelbaren Einleitungsbereich aufgrund punktueller Belastung

5.4.4 Berechnungsergebnisse für räumliche Fälle

In Bild 5-19 sind die Verteilungen der horizontalen Lagerreaktionen des räumlichen Modells mit  $d/d_1 = b/b_1 = 2$  bei zwei der sechs untersuchten Annahmen für die Quer-Dehnsteifigkeit dargestellt.

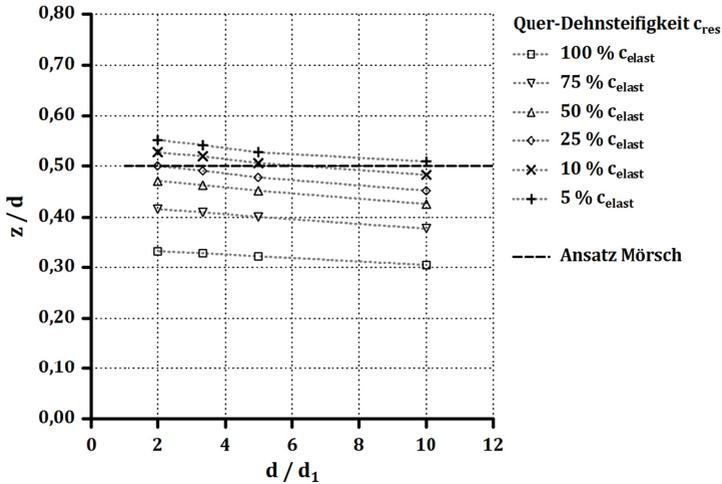


**Bild 5-19:** Ergebnisse für den räumlichen Fall mit der Lastkonzentration  $d/d_1 = 2$ , horizontale Lagerkräfte und Verlauf der Hauptdruckspannungen

Die horizontalen Lagerkräfte verringern sich mit abnehmender Steifigkeit der Federlagerung wie bei den Berechnungen zum ebenen Fall. Der Bereich mit Federzugkräften liegt im Vergleich zum ebenen Fall näher an der Lasteinleitungsstelle und weitet sich bei sinkender Lagersteifigkeit weniger stark in den Körper aus. Die Abstände der Resultierenden der Querdruck- und Spaltzugspannungen bleiben dementsprechend mit  $z/d = 0,30 \div 0,55$  geringer als im ebenen Fall (Bild 5-20).

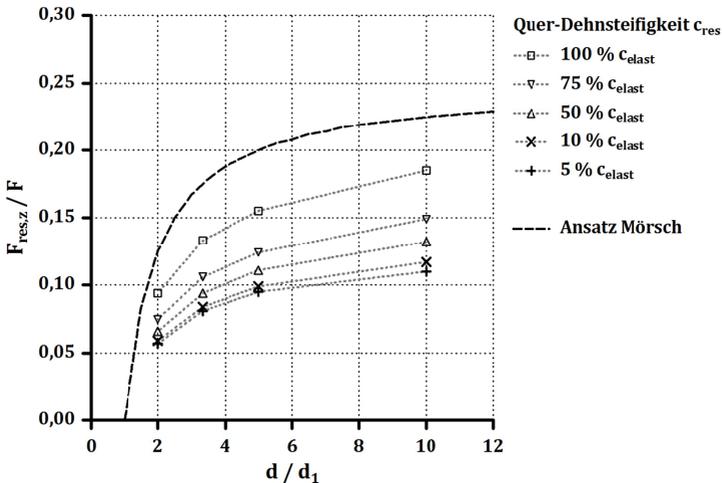
Die Hauptdruckspannungszustände werden durch unterschiedliche Lagersteifigkeiten nicht wesentlich beeinflusst. Im Gegensatz zum ebenen Fall führt eine geringere Lagersteifigkeit nicht zu einer deutlichen Vergrößerung des „Einleitungsbereichs“ bis zum Erreichen einer ausgewogenen Spannungsverteilung über den Querschnitt. Die Änderungen der Größe und Verteilung der Hauptzugspannungen resultieren aus den unterschiedlichen Lastabtragungsmechanismen.

## 5 Auswirkung der Rissbildung in Kräfteinleitungsbereichen



**Bild 5-20:** Abstand der Resultierenden der Querdruck- und Spaltzugspannungen in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit

In Bild 5-21 ist die Entwicklung der resultierenden Spaltzugkräfte mit abnehmender Quer-Dehnsteifigkeit im Vergleich mit der Annahme von MÖRSCH dargestellt.



**Bild 5-21:** Resultierende Spaltzugkraft in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit

Die aus dem dreidimensionalen Spannungszustand berechneten resultierenden Spaltzugkräfte liegen auch bei der Annahme der starren Lagerung ( $c_{res}/c_{elast} = 100\%$ ) unter denen nach dem Ansatz von MÖRSCH, da dieser auf einer Spannungsausbreitung in nur einer Raumrichtung quer zur Achse der eingeleiteten Druckkraft basiert. Mit

sinkenden Dehnsteifigkeiten fallen die rechnerischen Spaltzugkräfte bis auf ca. 50 % der Werte nach MÖRSCH. Tabelle 5-3 zeigt die erzielten Ergebnisse im Überblick.

**Tabelle 5-3: Ergebnisse zum Einfluss der Rissbildung auf die Spaltzugbeanspruchungen bei räumlichen Fällen**

| Lastkonzentrationsverhältnis | Querdehnsteifigkeit | Lage der Spaltzugsp.-Resultierenden | Abstand der Resultierenden | relative Spaltzugkraft | rel. Spaltzugkraft (Bezug Ansatz Mörsch) |
|------------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------------|--|
| $d/d_1$                      | $c_{res}/c_{elast}$ | $x_{res,z}/d$                       | $z/d$                      | $F_{res,z}/F$          | $F_{res,z}/Z_{sp,Mörsch}$                |
| 2                            | 100 %               | 0,502                               | 0,332                      | 0,094                  | 75,3%                                    |
|                              | 75 %                | 0,511                               | 0,416                      | 0,075                  | 60,0%                                    |
|                              | 50 %                | 0,531                               | 0,471                      | 0,066                  | 53,0%                                    |
|                              | 25 %                | 0,559                               | 0,500                      | 0,063                  | 50,0%                                    |
|                              | 10 %                | 0,590                               | 0,527                      | 0,059                  | 47,3%                                    |
|                              | 5 %                 | 0,617                               | 0,551                      | 0,057                  | 45,4%                                    |
| 3,33                         | 100 %               | 0,482                               | 0,328                      | 0,133                  | 76,3%                                    |
|                              | 75 %                | 0,490                               | 0,410                      | 0,106                  | 60,9%                                    |
|                              | 50 %                | 0,508                               | 0,463                      | 0,094                  | 54,0%                                    |
|                              | 25 %                | 0,536                               | 0,491                      | 0,089                  | 51,0%                                    |
|                              | 10 %                | 0,567                               | 0,519                      | 0,084                  | 48,2%                                    |
|                              | 5 %                 | 0,594                               | 0,541                      | 0,081                  | 46,2%                                    |
| 5                            | 100 %               | 0,463                               | 0,322                      | 0,155                  | 77,7%                                    |
|                              | 75 %                | 0,470                               | 0,401                      | 0,124                  | 62,2%                                    |
|                              | 50 %                | 0,487                               | 0,452                      | 0,111                  | 55,3%                                    |
|                              | 25 %                | 0,513                               | 0,478                      | 0,105                  | 52,3%                                    |
|                              | 10 %                | 0,544                               | 0,506                      | 0,099                  | 49,4%                                    |
|                              | 5 %                 | 0,571                               | 0,527                      | 0,095                  | 47,3%                                    |
| 10                           | 100 %               | 0,429                               | 0,305                      | 0,185                  | 82,1%                                    |
|                              | 75 %                | 0,433                               | 0,378                      | 0,149                  | 66,0%                                    |
|                              | 50 %                | 0,448                               | 0,426                      | 0,132                  | 58,7%                                    |
|                              | 25 %                | 0,475                               | 0,452                      | 0,124                  | 55,2%                                    |
|                              | 10 %                | 0,507                               | 0,483                      | 0,117                  | 51,8%                                    |
|                              | 5 %                 | 0,539                               | 0,509                      | 0,110                  | 49,1%                                    |

5.4.5 Ansatz zur Bestimmung der steifigkeitsabhängigen Spaltzugkraft

Zur rechnerischen Beschreibung der resultierenden Spaltzugkräfte werden die erzielten Ergebnisse in Regressionsanalysen ausgewertet. Aufgrund der unterschiedlichen Tragmechanismen erfolgt die getrennte Betrachtung der ebenen und räumlichen Fälle. Der Ansatz von MÖRSCH (Gl. 2-2) bildet wie bei FENWICK / LEE [Fen-1986] die Grundlage der rechnerischen Beschreibung. Der von der Lastkonzentration abhängige Einfluss der Quer-Dehnsteifigkeit wird in dem eigenen Ansatz durch einen zusätzlichen Vorfaktor berücksichtigt.

Auf Basis der Regressionsanalysen ergeben sich die resultierenden bezogenen Spaltzugkräfte in Abhängigkeit von der Lastkonzentration  $d/d_1$  und der relativen Quer-Dehnsteifigkeit  $c_{res}/c_{elast}$  im ebenen Fall zu

$$\frac{Z_{sp}}{F} = \left( 0,5 + 0,5 \cdot \sqrt{\frac{c_{res}}{c_{elast}}} \right) \cdot \left( 0,80 \cdot \left( \frac{d}{d_1} \right)^{0,15} \right) \cdot 0,25 \cdot \left( 1 - \frac{d_1}{d} \right) \tag{Gl. 5-17}$$

und im räumlichen Fall für die betrachtete Richtung parallel zur Dicke  $d$  zu

$$\frac{Z_{sp}}{F} = \left( 0,2 + 0,6 \cdot \sqrt{\frac{c_{res}}{c_{elast}}} \right) \cdot \left( 0,90 \cdot \left( \frac{d}{d_1} \right)^{0,10} \right) \cdot 0,25 \cdot \left( 1 - \frac{d_1}{d} \right) . \tag{Gl. 5-18}$$

In Bild 5-22 werden die für den ebenen Fall mit Hilfe der Finite-Elemente-Berechnungen bestimmten Spaltzugkräfte  $(Z_{sp}/F)_{FEM}$  mit den rechnerischen Ergebnissen  $(Z_{sp}/F)_{calc}$  nach den Ansätzen von MÖRSCH und FENWICK / LEE sowie dem eigenen Ansatz verglichen.

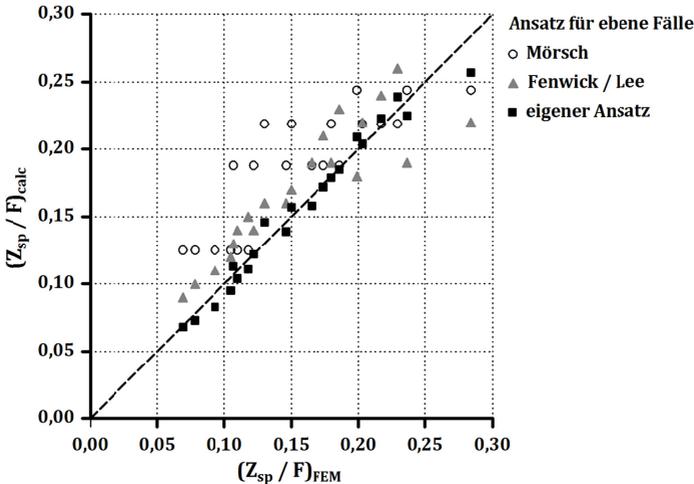
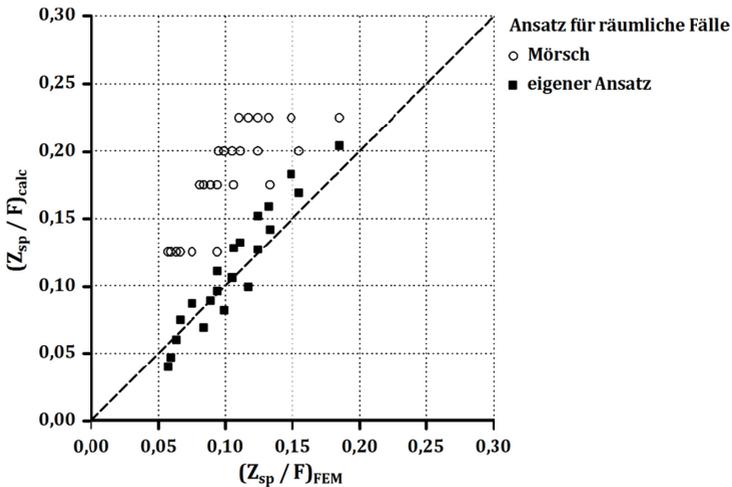


Bild 5-22: Vergleich der bezogenen Spaltzugkräfte beim ebenen Fall

Das Diagramm zeigt, dass mit dem eigenen Ansatz (Gl. 5-17) eine sehr gute Abbildung der Ergebnisse aus den Finite-Elemente-Berechnungen erzielt wird. Die bezogenen Spaltzugkräfte nach MÖRSCH ermitteln sich ohne Berücksichtigung der Steifigkeitszustände des Körpers und weichen daher um bis zu 55 % ab. Nach FENWICK / LEE ergeben sich die bezogenen Spaltzugkräfte unter dem Einfluss der Quer-Dehnsteifigkeit, der unabhängig von der Lastkonzentration berücksichtigt wird, und zeigen damit Abweichungen von bis zu 22 %.

Der entsprechende Vergleich der Ergebnisse zur bezogenen Spaltzugkraft für den räumlichen Fall erfolgt in Bild 5-23. Hierbei werden der Ansatz nach MÖRSCH und der eigene Vorschlag (Gl. 5-18) betrachtet.



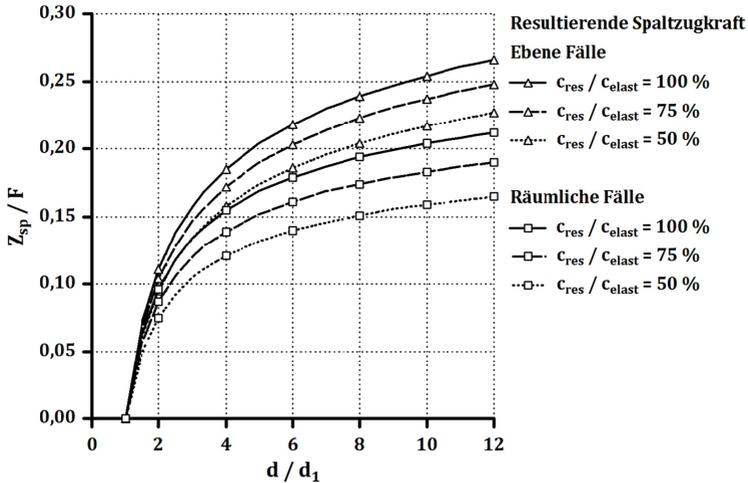
**Bild 5-23: Vergleich der bezogenen Spaltzugkräfte beim räumlichen Fall**

Der Vergleich zeigt auch hier, dass der eigene Ansatz die Berechnungsergebnisse der Finite-Elemente-Studie zum räumlichen Fall sehr gut widerspiegelt. Mit dem Ansatz von MÖRSCH ergeben sich deutlich größere Abweichungen von bis zu ca. 100 %.

Die neuen Ansätze zur rechnerischen Bestimmung der resultierenden bezogenen Spaltzugkraft bei ebenen und räumlichen Fällen berücksichtigen den Einfluss der Quer-Dehnsteifigkeit des teilflächenbelasteten Körpers, die nach der Rissbildung deutlich absinken kann (vgl. Kap. 5.3.2). Im Vergleich zu den bestehenden Methoden, die diese Einflüsse nicht oder nur implizit beachten, kann die Spaltzugkraft gerissener Körper damit realitätsnäher bestimmt werden. Wesentliche Grundlagen der Ansätze sind, dass im unmittelbaren Einleitungsbereich elastische Bauteilzustände (Stadium II-E nach Tabelle 2-4, S. 43) und über die Körperhöhe konstante Quer-Dehnsteifigkeiten vorliegen.

## 5 Auswirkung der Rissbildung in Kräfteleitungsbereichen

Bild 5-24 zeigt die Auswertung der eigenen Ansätze für Lastkonzentrationen bis  $d/d_1 = 12$ . Für die räumlichen Fällen gilt  $d/d_1 = b/b_1$ , die resultierende Spaltzugkraft tritt in beiden Körperachsen senkrecht zur eingeleiteten Druckkraft auf.



**Bild 5-24: Resultierende bezogene Spaltzugkraft bei ebenen und räumlichen Fällen der zentrischen Teilflächenbelastung in Abhängigkeit von der Quer-Dehnsteifigkeit**

Zur Bestimmung der bezogenen Werte der Quer-Dehnsteifigkeit kann auf die in Kapitel 5.3.2 (S. 76 ff.) erläuterten Ansätze zurückgegriffen werden. Für typische Bewehrungsgrade teilflächenbelasteter Bauteile ergeben sich in Abhängigkeit von der Länge der Zugstrebe bezogene Quer-Dehnsteifigkeiten von  $c_{res}/c_{elast} = 75 \%$  ÷  $5 \%$ .

---

## 6 Nichtlineare numerische Untersuchungen teilflächenbelasteter Körper

### 6.1 Grundlagen

Die Analyse teilflächenbelasteter Körper mittels nichtlinearer numerischer Berechnungen ist gut geeignet, um detaillierte Informationen zu den wirkenden Tragmechanismen zu erlangen, auch unter Berücksichtigung der Rissbildung im Krafterleitungsbereich.

Numerische Untersuchungen teilflächenbelasteter Körper wurden in der Vergangenheit u. a. von SPITZ [Spit-1977], SAMKARI [Sam-1987], UKHAGBE [Ukh-1990], FENWICK / LEE [Fen-1986], IBELL / BURGOYNE [Ibe-1994-1] [Ibe-1994-2] und FOSTER / ROGOWSKI [Fost-1997] durchgeführt. Zur Modellierung der teilflächenbelasteten Körper kamen unterschiedliche Element-Arten (Scheiben- bzw. Volumen-Elemente) und Materialgesetze zum Einsatz. Die meisten Untersuchungen erfolgten an ebenen Scheibenmodellen.

Zur Berücksichtigung der Rissbildung wurden unterschiedliche Methoden verwendet. FENWICK / LEE wendeten die diskrete Rissmodellierung an, konnten damit jedoch nur einen zentrischen Spaltriss abbilden. Die Nutzung der „verschmierten“ Rissmodellierung erwies sich in den Untersuchungen von SPITZ, SAMKARI und UKHAGBE als geeignet, um realistische Risszustände zu ermitteln.

Die Berücksichtigung des Materialverhaltens von Beton unter mehraxialen Spannungszuständen wurde in den vorliegenden Analysen ebenfalls unterschiedlich gehandhabt. Als Bruchkriterien wurden unterschiedliche Ansätze verwendet, z. B. vereinfachte Mehrflächenmodelle (SAMKARI, UKHAGBE) oder das VAN MISES-Bruchkriterium (SPITZ). FOSTER / ROGOWSKI nahmen zur Modellierung des Betons im unmittelbaren Bereich der Lasteinleitung vereinfachend eine Arbeitslinie an, die deutlich erhöhte zulässige Maximalspannungen aufweist, um so die infolge des mehraxialen Spannungszustands ertragbaren größeren Druckspannungen zu berücksichtigen. Sie stellten jedoch fest, dass die realistische Ermittlung der Grenztragfähigkeit hiermit nur bei entsprechender Festlegung der Arbeitslinie möglich ist. Auf die plastischen Verformungsprozesse im Bereich der Lastfläche ging keine der genannten Untersuchung ein. Die große Bedeutung der mehraxialen Spannungszustände für das Tragverhalten ist hingegen allgemein anerkannt.

Zur Abbildung der Spaltzugbewehrung wurden größtenteils Stabelemente genutzt, die gleichmäßig oder abschnittsweise gleichmäßig und fein verteilt angeordnet wurden. Untersuchungen zum Einfluss der Bewehrungsanordnung mit diskreter Stabmodellierung sind nicht bekannt. Die Einflüsse des Verbunds zwischen Beton und Bewehrung

wurden in den betrachteten Untersuchungen vereinfachend vernachlässigt und ein starrer Verbund vorausgesetzt.

Aus den Erfahrungen bisheriger Analysen sowie den eigenen Voruntersuchungen sind diejenigen Mechanismen und Parameter bekannt, die entscheidenden Einfluss auf das Trag- und Verformungsverhalten teilflächenbelasteter Körper haben und daher in der Modellbildung und den Berechnungsannahmen beachtet werden müssen:

- **Rissbildung:**  
Die Spaltrissbildung führt zu einer deutlichen Veränderung der Steifigkeitszustände im Körper und beeinflusst damit die auftretenden Verformungen und wirkenden Tragmechanismen. Die Berücksichtigung der Rissbildung ist daher ein maßgebender Aspekt bei der Berechnung teilflächenbelasteter Körper.
  
- **Mehraxiale Spannungszustände und plastische Bruchmechanismen an der Lasteinleitungsstelle bei Erreichen der Grenztragfähigkeit:**  
In teilflächenbelasteten Körpern liegen in großen Bereichen mehraxiale Spannungszustände vor, die Auswirkungen auf die ertragbaren Spannungen und zugehörigen Verzerrungen haben. An der Lasteinleitungsstelle kommt es bei Annäherung an die Grenztragfähigkeit zu ausgeprägten plastischen Verformungen. Die realistische Abbildung des Tragverhaltens teilflächenbelasteter Bauteile in diesem Beanspruchungszustand erfordert daher eine angepasste und zweckmäßige Materialmodellierung. Zur Bestimmung der Grenztragfähigkeit ist der unmittelbare Lasteinleitungsbereich detailliert zu betrachten und die wirklichkeitsnahe Modellierung der plastischen Bruchprozesse erforderlich.
  
- **Spaltzugbewehrungen und Verbundcharakteristik:**  
Die häufig nur relativ geringen Abmessungen der teilflächenbelasteten Körper bzw. der Bewehrungslängen in Richtung der Spaltzugbeanspruchungen können dazu führen, dass der Dehnungsausgleich zwischen Beton und Bewehrung bis zur Endverankerungsstelle nicht erreicht wird. Die infolge der speziellen Verbundcharakteristik auftretenden Dehnungsdifferenzen beeinflussen die Verformung des Körpers und sind daher für eine realitätsnahe Abbildung zu berücksichtigen. Hierzu ist die Modellierung diskreter Stabbewehrungselemente mit Kontaktelementen bzw. Kontaktfedern sinnvoll.

### 6.2 Modellbildung

Die eigenen nichtlinearen numerischen Untersuchungen erfolgen mit dem Programmpaket DIANA von TNO DIANA, Delft / Niederlande [TNO-2010]. DIANA unterstützt zahlreiche Modellansätze zur Abbildung des nichtlinearen Materialverhaltens von Stahlbeton und ist daher zur realitätsnahen Untersuchung teilflächenbelasteter Bauteile geeignet.

Die Analysen zentrisch teilflächenbelasteter Scheiben erfolgen an ebenen Modellen. Zur Abbildung des Betonkörpers werden 8-knotige Scheiben-Elemente des Typs „CQ16M“ genutzt. Diese unterstützen den ebenen Spannungszustand, bei dem die Spannungskomponente in der Dickenrichtung stets  $\sigma_z = 0$  ist. Aufgrund der Symmetrie der betrachteten Körper werden Halbmodelle untersucht (siehe Bild 6-1).

Zur Berechnung zentrisch teilflächenbelasteter Prismen werden räumliche Modelle genutzt. Die Abbildung des Betonkörpers erfolgt hierzu mit 20-knotigen Volumenelementen des Typs „CHX60“. Die Symmetrie des Bauteils ermöglicht die Nutzung von Viertelmodellen (siehe Bild 6-2).

In allen Modellen wird eine einheitliche Beton-Arbeitslinie ohne „Einleitschicht“ und eine diskrete Abbildung der Spaltzugbewehrungen eingesetzt. Die Anbindung der Bewehrungs-Stab-Elemente erfolgt in den ebenen Modellen über Interface-Elemente, um die Verbundeigenschaften zwischen Beton und Bewehrung abzubilden (siehe Detail Bild 6-1). In den räumlichen Modellen wird vereinfachend eine Einbettung der Bewehrungselemente gewählt („embedded reinforcement“), da Testberechnungen zeigten, dass die Konvergenzeigenschaften des räumlichen Modells durch den Einsatz von Interface-Elementen negativ beeinflusst werden.

Für den Beton und den Betonstahl werden nichtlineare Arbeitslinien angesetzt. Zur Berücksichtigung des Betonverhaltens unter mehraxialen Beanspruchungen kommt das DRUCKER-PRAGER-Fließkriterium zum Einsatz. Die Abbildung des Rissverhaltens des Betons erfolgt durch Nutzung des Modells der „verschmierten Rissbildung“ („smeared cracking“).

Die Belastung der Modelle wird mittels gleichmäßiger Knotenverschiebungen auf dem Bereich der Lastfläche abgebildet, da die Konvergenzeigenschaften im Vergleich zur kraftgesteuerten Berechnung besonders auf hohem Beanspruchungsniveau besser sind.

Bild 6-1 und Bild 6-2 zeigen den Aufbau der genutzten Finite-Elemente-Modelle. Im Folgenden werden die verwendeten Ansätze und Annahmen näher erläutert.

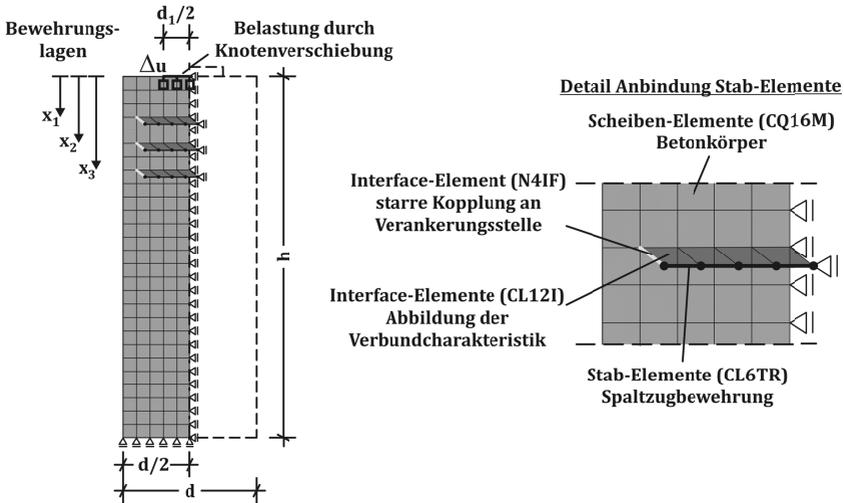


Bild 6-1: Grundsätzlicher Aufbau der verwendeten Finite-Elemente-Modelle für Untersuchungen zum ebenen Fall

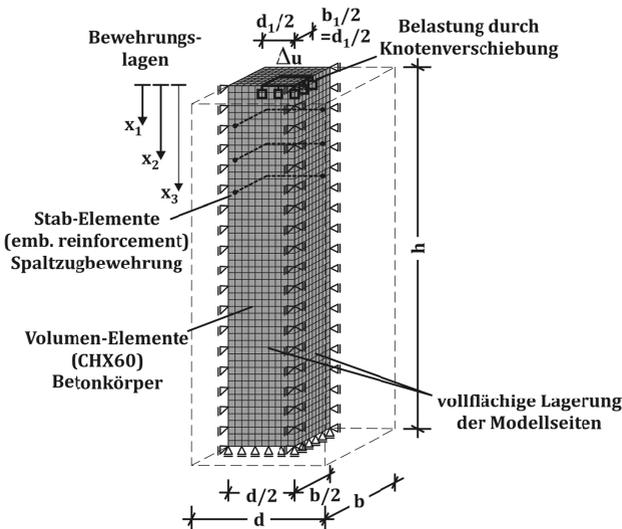


Bild 6-2: Grundsätzlicher Aufbau der verwendeten Finite-Elemente-Modelle für Untersuchungen zum räumlichen Fall

### 6.3 Modellierung des Betonverhaltens

#### 6.3.1 Materialverhalten unter ein- und mehraxialen Beanspruchungszuständen

Das Betonverhalten unter einaxialer Druckbeanspruchung entspricht bis zu einer Spannung von ca. 40 % der Druckfestigkeit dem eines linear-elastischen Werkstoffs. Bei weiterer Steigerung der Spannung entstehen Mikrorisse, die sich zunehmend parallel zur Belastungsrichtung erweitern. Die Mikrorisse vereinigen sich schließlich zu Makrorissen. Mit Erreichen der Druckfestigkeit bilden sich aus den Makrorissen Bruchflächen aus. Die ertragbare Druckspannung fällt bei weiterer Dehnungszunahme deutlich ab.

Unter einaxialer Zugbeanspruchung verhält sich Beton bis zum Erreichen einer Spannung von ca. 70 ÷ 80 % der Zugfestigkeit weitgehend linear-elastisch. Ab diesem Spannungsniveau setzt die Aufweitung und Neubildung von Mikrorissen ein. Mit Erreichen der Zugfestigkeit kommt es zu einer spröden Ausbildung eines Makrorisses. Nach Überschreiten der Zugfestigkeit können durch Rissverzahnungen noch geringe Restspannungen über den Riss übertragen werden.

Das Materialverhalten bei zwei axialen Spannungszuständen weicht zum Teil deutlich von dem unter einaxialer Beanspruchung ab. KUPFER [Kup-1973] und NELISSEN [Nel-1972] führten experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von Beton unter zwei axialer Beanspruchung bei Variation der Spannungsverhältnisse durch. Die Ergebnisse zeigen, dass der vorliegende Spannungszustand maßgebende Auswirkungen auf die erreichbaren Druckspannungen und Grenzdehnungen sowie die Versagensbilder aufweist. Unter zwei axialen Druckbeanspruchungen sind bei Normalbeton Spannungen bis 25 % über der einaxialen Druckfestigkeit ertragbar. Die Dehnungen bei Erreichen der maximal ertragbaren Druckspannungen steigen ebenfalls an.

Bei zwei axialen Druck-Zug-Spannungszuständen wird die ertragbare Druckspannung bereits bei geringen Zugspannungen in der zweiten Achsrichtung wesentlich reduziert. Die zugehörigen Bruchdehnungen sinken ebenfalls im Vergleich zur einaxialen Beanspruchung. Für den zwei axialen Zugspannungszustand ergeben sich hingegen keine maßgebenden Abweichungen der ertragbaren Spannungen von der Zugfestigkeit bei einaxialer Beanspruchung.

Unter drei axialen Druckbeanspruchungen steigen die ertragbaren Spannungen im Vergleich zur zwei axialen Beanspruchung deutlich an [Hof-1995] [Mie-1987] und können ein Mehrfaches der einaxialen Druckfestigkeit erreichen. Neben den maximal ertragbaren Spannungen steigen auch die zugehörigen Dehnungen deutlich an. Das Verhalten unter drei axialen Druck-Zug-Spannungszuständen hängt vom jeweiligen Spannungsverhältnis ab.

6.3.2 Elasto-plastische Materialbeschreibung mit dem Fließkriterium nach DRUCKER-PRAGER

Im Rahmen der eigenen nichtlinearen numerischen Untersuchungen erfolgt die Beschreibung des Betonverhaltens auf makroskopischer Ebene mit Hilfe eines elasto-plastischen Materialansatzes und dem in DIANA implementierten Fließkriterium nach DRUCKER-PRAGER [TNO-2010]. Mit diesem Modell ist die Steuerung des Betonverhaltens für ein- und mehraxiale Spannungszustände auf Basis einer vorgegebenen einaxialen Arbeitslinie und der Parameter des Fließkriteriums

- innerer Reibungswinkel  $\phi$ ,
- Dilatationswinkels  $\psi$  und
- beanspruchungsabhängige Kohäsion  $c(\kappa)$

möglich. Bei dem verwendeten elasto-plastischen Modell erfolgt eine Zerlegung der Gesamtverzerrung  $\varepsilon_{i,j}$  in den elastischen und plastischen Anteil  $\varepsilon_{i,j}^{el}$  bzw.  $\varepsilon_{i,j}^{pl}$ .

$$\varepsilon_{i,j} = \varepsilon_{i,j}^{el} + \varepsilon_{i,j}^{pl} \tag{Gl. 6-1}$$

Die Grenze zwischen dem rein elastischen und dem elasto-plastischen Zustand wird durch die Fließfläche definiert. Diese erzeugt beim DRUCKER-PRAGER-Kriterium eine kreisförmige Deviatorebene, die in der Größe entlang der hydrostatischen Achse (Äquisektrix) veränderlich ist. Im Hauptspannungsraum bildet die Grenzfläche damit einen in Richtung des hydrostatischen Drucks offenen Kreiskegel um die Äquisektrix, im ebenen Spannungsraum beschreibt die Fläche eine ellipsenähnliche Form (Bild 6-3).

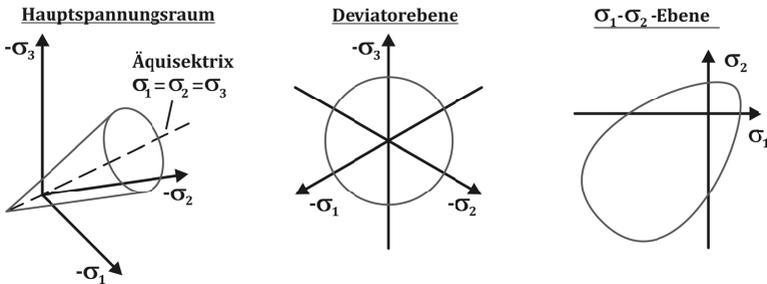


Bild 6-3: Bruch- bzw. Fließfläche des DRUCKER-PRAGER-Kriteriums

Die DRUCKER-PRAGER-Fließbedingung wird in DIANA [TNO-2010] entsprechend folgender Bedingung beschrieben:

$$F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = \sigma_e + \alpha_f \cdot \sigma_p - c \cdot \beta = 0 \quad \text{Gl. 6-2}$$

mit:

$$\sigma_p = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = I_1$$

Hydrostatischer Anteil  
( $I_1$  erste Invariante des Spannungstensors)

$$\sigma_e = \sqrt{3 \cdot J_2}$$

Deviatorischer Anteil  
( $J_2$  zweite Invariante des deviatorischen Spannungsanteils)

$$= \sqrt{\frac{1}{2} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$

$$\alpha_f = \frac{2 \cdot \sin(\phi)}{3 - \sin(\phi)}, \quad \beta = \frac{6 \cdot \cos(\phi)}{3 - \sin(\phi)}$$

Parameter

$$c(\sigma_c) = |\sigma_c| \cdot \frac{1 - \sin(\phi)}{2 \cdot \cos(\phi)}$$

Spannungsabhängige Kohäsion

$$c_u = f_{c,R} \cdot \frac{1 - \sin(\phi)}{2 \cdot \cos(\phi)}$$

Maximale Kohäsion für den Rechenwert der Druckfestigkeit  $f_{c,R}$

$$\phi$$

Innerer Reibungswinkel

Spannungskombinationen mit  $F = 0$  liegen genau auf der Fließfläche. Alle Kombinationen, die zu  $F < 0$  führen, liegen innerhalb der Fließfläche.

Mit der Festlegung der zwei Eingangsparameter Kohäsion  $c$  und innerer Reibungswinkel  $\phi$  sind für den ebenen Spannungszustand ( $\sigma_3 = 0$ ) folgende Kenngrößen bestimmt:

Einaxiale Druckfestigkeit  $\sigma_{2u,uniax}$  ( $\sigma_1 = 0$ )

$$\sigma_{2u,uniax} = \frac{c \cdot \beta}{1 - \alpha_f} \quad \text{Gl. 6-3}$$

Einaxiale Zugfestigkeit  $\sigma_{1u,uniax}$  ( $\sigma_2 = 0$ )

$$\sigma_{1u,uniax} = \frac{c \cdot \beta}{1 + \alpha_f} \quad \text{Gl. 6-4}$$

Zweiaxiale Druckfestigkeit unter hydrostatischem Spannungszustand  $\sigma_{2u,hydro}$

( $\sigma_1 = \sigma_2 < 0$ )

$$\sigma_{2u,hydro} = \frac{c \cdot \beta}{1 - 2 \cdot \alpha_f} \quad \text{Gl. 6-5}$$

Zweiaxiale Zugfestigkeit unter hydrostatischem Spannungszustand  $\sigma_{1u,hydro}$

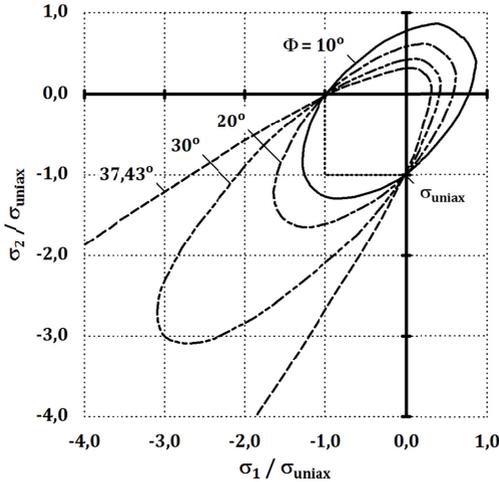
( $\sigma_1 = \sigma_2 > 0$ )

$$\sigma_{1u,hydro} = \frac{c \cdot \beta}{1 + 2 \cdot \alpha_f} \quad \text{Gl. 6-6}$$

## 6 Nichtlineare numerische Untersuchungen teillächenbelasteter Körper

Das Materialverhalten bei mehraxialen Spannungszuständen wird maßgeblich durch den Verlauf der Fließfläche bestimmt, dieser kann mit der Wahl des inneren Reibungswinkels  $\phi$  gesteuert werden. Bild 6-4 zeigt den Fließflächenverlauf für unterschiedliche Werte von  $\phi$  im ebenen Spannungsraum.

Mit der Zunahme der Reibungswinkel verlagert sich die Fließfläche bei Annäherung an den hydrostatischen Spannungszustand zunehmend weiter in den reinen Druck-Sektor. Im Bereich der Druck-Zug- und Zug-Zug-Spannungszustände liegen die Fließflächen hingegen bei kleinen Reibungswinkeln auf höherem Spannungsniveau.



**Bild 6-4: DRUCKER-PRAGER-Fließflächen in Abhängigkeit vom inneren Reibungswinkel  $\phi$  bei zweiaxialen Spannungszuständen**

Das DRUCKER-PRAGER-Plastizitätsmodell von DIANA unterstützt zusätzlich die Verwendung von Verfestigungsfunktionen („strain hardening“), mit denen die Lage bzw. Aufweitung der Fließfläche in Abhängigkeit vom Beanspruchungszustand bestimmt werden kann. Die Anfangsfließfläche kann dabei aufgeweitet (isotrope oder anisotrope Verfestigung) oder im Spannungsraum verschoben werden (kinematische Verfestigung).

Die Steuerung der Verfestigungsfläche erfolgt in DIANA in Abhängigkeit von den plastischen Verzerrungen  $\dot{\epsilon}_{i,j}^{pl}$ . Der Plastizitätszustand wird dazu mittels der sogenannten internen Zustandsvariable  $\dot{\kappa}$  mit

$$\dot{\kappa} = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot (\dot{\epsilon}_1^{pl} \cdot \dot{\epsilon}_1^{pl} + \dot{\epsilon}_2^{pl} \cdot \dot{\epsilon}_2^{pl} + \dot{\epsilon}_3^{pl} \cdot \dot{\epsilon}_3^{pl})} \quad \text{Gl. 6-7}$$

beschrieben. Mit der Verfestigungsfunktion können somit beanspruchungsabhängige Ausbildungen der Verfestigungsflächen definiert werden. DIANA unterstützt hierbei

die Anpassung der Kohäsion („cohesion hardening“), der inneren Reibung („friction hardening“) oder einer Kombination aus beiden.

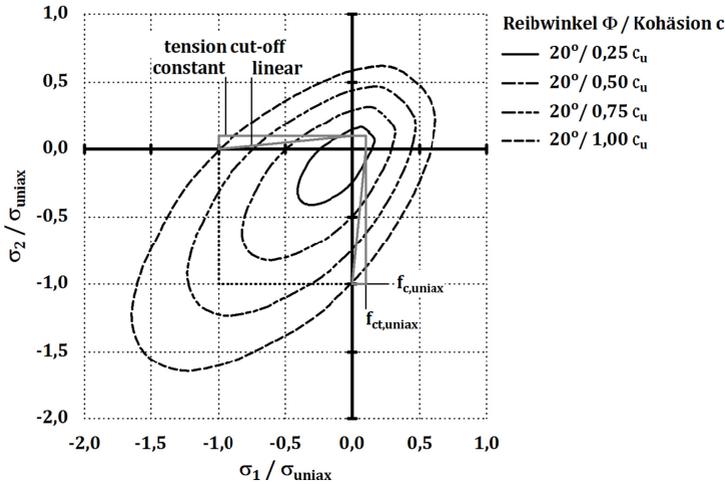
Bis zum Erreichen der Fließgrenze liegen ausschließlich elastische Dehnungen  $\varepsilon_{i,j}^{el}$  vor, bei denen das HOOKE'sche Gesetz gilt. Nach Überschreiten der Fließgrenze teilt sich die Gesamtverzerrung nach Gl. 6-1 in elastische und plastische Anteile auf.

Die Steuerung der Inkremente der plastischen Verzerrungen  $\dot{\varepsilon}_{i,j}^{pl}$  erfolgt mittels einer Potenzialfunktion, deren Gradient die Richtung des plastischen Dehnungszuwachses in Bezug auf die Verfestigungsfläche festlegt. Die sogenannte assoziierte Fließregel liegt vor, wenn die Verfestigungsfunktion mit der Potenzialfunktion identisch ist. Der Vektor der plastischen Verzerrungen  $\dot{\varepsilon}_{i,j}^{pl}$  steht in diesem Fall senkrecht auf der Fließfläche. Bei der nicht-assozierten Fließregel stimmen die Verfestigungs- und Potenzialfunktion nicht überein und die Richtung der plastischen Verzerrungen  $\dot{\varepsilon}_{i,j}^{pl}$  weicht von der Senkrechten auf der Verfestigungsfläche ab.

Die Annahme einer assoziierten Fließregel führt bei der Implementierung zu stabilen, symmetrischen Formulierungen. Aus Vergleichen von Versuchen und Berechnungsergebnissen ist jedoch bekannt, dass der Ansatz der assoziierten Fließregel für Beton zu einer Überschätzung der plastischen Dehnungen führt. Für die Berechnung von Betonbauteilen wird daher im Allgemeinen die Verwendung einer nicht-assozierten Fließregel empfohlen, auch wenn hierbei ein höherer numerischer Rechenaufwand entsteht.

Im DRUCKER-PRAGER-Plastizitätsmodell von DIANA erfolgt die Steuerung der Fließregel über die Vorgabe des Dilatationswinkels  $\psi$ . Bei der assoziierten Fließregel entspricht dieser dem Winkel der inneren Reibung ( $\psi = \phi$ ), bei der nicht-assozierten Fließregel ist  $\psi < \phi$  vorzugeben.

Erfahrungen mit der Modellierung von Betonbauteilen in DIANA (z. B. MALIK [Mal-2007]) zeigen, dass mit der isotropen Anpassung der Kohäsion sowie Annahme einer nicht-assozierten Fließregel gute Abbildungsergebnisse erzielt werden können. Mit der Vorgabe unterschiedlicher Kohäsionsstufen wird die initiale Fließfläche somit aufgeweitet und es entstehen weitere Verfestigungsflächen, denen jeweils ein plastischer Zustand zugeordnet wird. Bild 6-5 zeigt ein Beispiel für den Fließ- und Verfestigungsflächenverlauf bei Annahme unterschiedlicher Kohäsionsstufen. Die initiale Fließfläche ist bei 25 % der maximalen Kohäsion festgelegt.

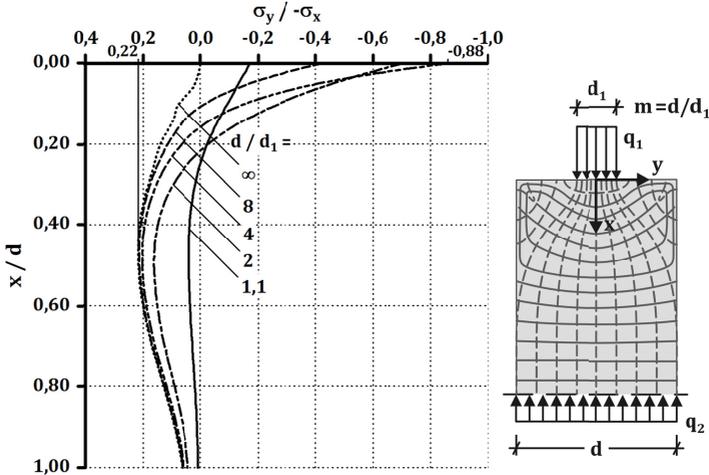


**Bild 6-5: Initiale Fließ- und aufgeweitete Verfestigungsflächen bei Nutzung der Kohäsionsverfestigung; Zug-Abbruchkriterien**

Bei Anwendung des DRUCKER-PRAGER-Fließkriteriums zur Beschreibung des Materialverhaltens von Beton wird die Zugtragfähigkeit im Allgemeinen überschätzt. Zur Begrenzung der zulässigen Zugspannungen wird daher ein zusätzliches „tension cut-off“-Abbruchkriterium genutzt. DIANA [TNO-2010] stellt hierzu systemintern zwei Kriterien mit konstanter bzw. linear verlaufender Abbruchspannung zur Verfügung (siehe Bild 6-5). Beim konstanten Abbruchkriterium werden die Zugspannungen unabhängig vom Spannungszustand auf die einaxiale Zugfestigkeit  $f_{ct,uniax}$  beschränkt. Das lineare Abbruchkriterium begrenzt die Zugspannungen bei gleichzeitig einwirkenden Druckkräften in Abhängigkeit vom Spannungszustand. Bei Zug-Zug-Spannungszuständen liegt die Grenzspannung in Höhe der einaxialen Zugfestigkeit  $f_{ct,uniax}$ .

### 6.3.3 Parameter zur Materialmodellierung

Bild 6-6 zeigt die in der Körperachse auftretenden Spannungsverhältnisse  $\sigma_y / -\sigma_x$  zentrisch belasteter Scheiben in Abhängigkeit von der Lastkonzentration. Die dargestellten Spannungsverhältnisse beruhen auf einem linear-elastischen Materialverhalten (Ergebnisse nach IYENGAR), können jedoch zur qualitativen Bestimmung der Materialparameter für die nichtlinearen Berechnungen genutzt werden.



**Bild 6-6:** Spannungsverhältnisse in der Körperachse zentrisch teillächenbelasteter Scheiben nach IVENGAR (Elastizitätstheorie)

In der Körperachse liegt im Bereich der belasteten Oberfläche ein zweiachsender Druck-Druck-Spannungszustand vor. Die Spannungsverhältnisse variieren mit der Lastkonzentration und erreichen ein Extremum bei  $d/d_1 = 4$  mit einem Verhältnis von  $\sigma_x/\sigma_y = -1/-0,88$ . Im Bereich der Spaltzugspannungen treten Druck-Zug-Spannungszustände auf. Bei  $x/d \approx 0,5$  nimmt das Spannungsverhältnis für  $d/d_1 = \infty$  einen Extremwert mit  $\sigma_x/\sigma_y = -1/+0,22$  an. Im räumlichen Fall der Teilflächenbelastung treten Querspannungen auf, die nur ca. 60 % der Werte des ebenen Falls betragen (vgl. Kap. 2.3.3). Damit ergeben sich die Extremwerte der Spannungsverhältnisse beim räumlichen Fall im Bereich der belasteten Oberfläche zu  $\sigma_x/\sigma_y = -1/-0,53$  und im Bereich der Spaltzugspannungen zu  $\sigma_x/\sigma_y = -1/+0,13$ .

Zur Modellierung eines für die Berechnung teillächenbelasteter Scheiben und Prismen geeigneten Materialverhaltens sind daher insbesondere die mehraxialen Druck-Druck- und Druck-Zug-Spannungszustände zu betrachten. In Abhängigkeit vom vorliegenden Spannungszustand sind zur realistischen Abbildung des Betonverhaltens innere Reibungswinkel von  $\phi = 10^\circ \div 40^\circ$  erforderlich.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen teillächenbelasteter Betonscheiben erfolgen unter Annahme eines ebenen Spannungszustands, bei dem im Vergleich zur dreidimensionalen Modellierung für eine realitätsnahe Abbildung geringere innere Reibungswinkel  $\phi$  anzunehmen sind. PIELOW [Piep-2005] untersuchte das Tragverhalten CFK-verstärkter Stahlbetonbauteile mit DIANA. Sie nutzte dabei ebene Scheibenmodelle und das beschriebene elasto-plastische Materialmodell. Bei Annahme eines inneren Reibungswinkels von  $\phi = 10^\circ$  in Kombination mit einer assoziierten

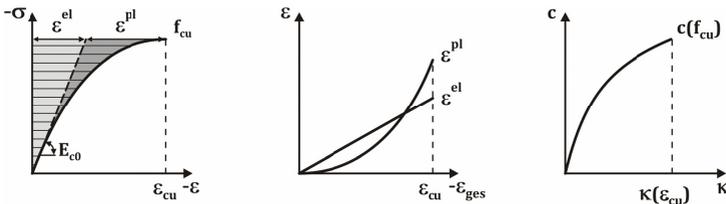
## 6 Nichtlineare numerische Untersuchungen teillächenbelasteter Körper

Fließregel ( $\psi = 10^\circ$ ) konnten sehr gute Übereinstimmungen der Berechnungsergebnisse mit Messwerten aus Versuchen erzielt werden.

Zur Bestimmung geeigneter Annahmen der inneren Reibungs- und Dilatationswinkel für die eigenen Berechnungen werden Versuchsergebnisse von KUPFER [Kup-1973] (Versuchsreihe 1) genutzt. Die unter zwei axialen Druckbeanspruchungen erreichten maximalen Spannungserhöhungen von ca. 25 % gegenüber der einaxialen Druckfestigkeit erfordern die Wahl des inneren Reibungswinkels von  $\phi = 10^\circ$ .

Zur Bestimmung der beanspruchungsabhängigen Höhe der Kohäsion wird die Spannungs-Dehnungslinie unter einaxialer Druckbeanspruchung analysiert. Hierbei erfolgt die Zerlegung der Dehnungen in elastische Anteile  $\varepsilon^{el} = \sigma_{c,R}(\varepsilon_{ges})/E_c$  und plastische Anteile  $\varepsilon^{pl} = \varepsilon_{ges} - \varepsilon^{el}$  (Bild 6-7).

Anhand der plastischen Dehnungsanteile sowie des inneren Reibungs- und Dilatationswinkels lässt sich dann die Entwicklung der Kohäsion  $c(\kappa)$  in Abhängigkeit von der internen Zustandsvariablen  $\kappa$  bestimmen (Gl. 6-8).



**Bild 6-7: Ermittlung des Kohäsionsverlaufs aus der Spannungs-Dehnungslinie unter einaxialer Druckbeanspruchung**

$$c(\kappa) = \sigma_{c,R}(\kappa) \cdot \frac{1 - \sin(\phi)}{2 \cdot \cos(\phi)} \quad \text{Gl. 6-8}$$

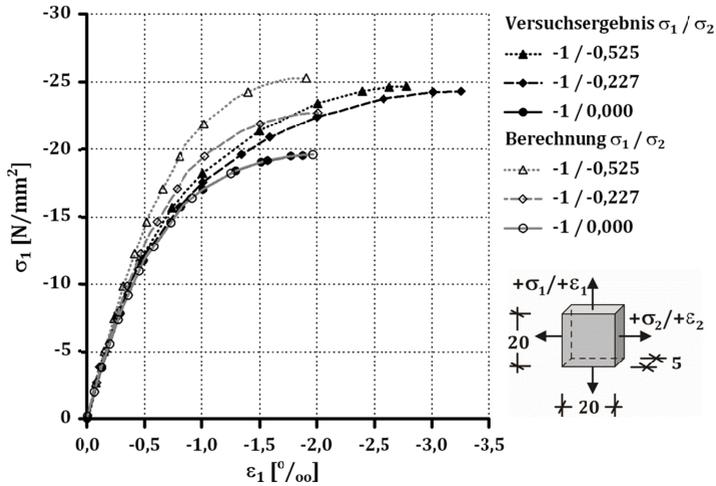
mit:

$$\kappa = -\sqrt{\frac{1 + 2 \cdot \alpha_g^2}{1 - \alpha_g}} \cdot \varepsilon^{pl} \quad \text{interne Zustandsvariable}$$

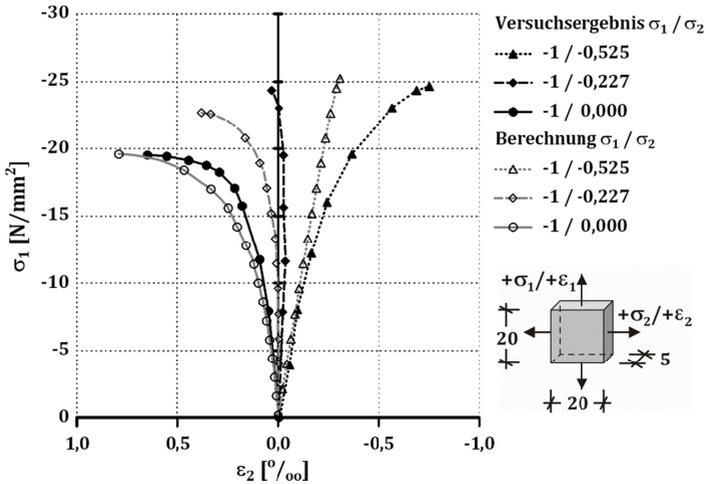
$$\alpha_g = \frac{2 \cdot \sin(\psi)}{3 - \sin(\psi)} \quad \text{Parameter}$$

$$\psi \quad \text{Dilatationswinkel}$$

Bild 6-8 und Bild 6-9 zeigen Vergleiche der Versuchsergebnisse von KUPFER mit Ergebnissen eigener Berechnungen an Modellen unter Druck-Druck-Spannungszuständen, die auf den vorgestellten Ansätzen und den Annahmen eines inneren Reibungswinkels von  $\phi = 10^\circ$  sowie eines Dilatationswinkels von  $\psi = 1^\circ$  basieren. Die Querdehnzahl für den elastischen Dehnungsanteil ist dabei mit  $\nu = 0,2$  angesetzt.



**Bild 6-8:** Vergleich Versuchsergebnisse KUPFER - Berechnung  $\sigma_1 - \epsilon_1$  (zweiachiale Druck-Druck-Beanspruchung)



**Bild 6-9:** Vergleich Versuchsergebnisse KUPFER – Berechnung  $\sigma_1 - \epsilon_2$  (zweiachiale Druck-Druck-Beanspruchung)

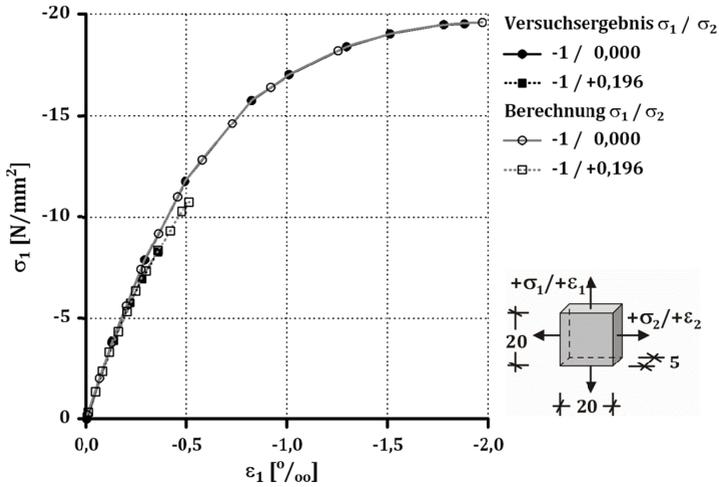
Der Kohäsionsverlauf  $c(\kappa)$  ist aus der Spannungs-Dehnungslinie bei einaxialer Druckbeanspruchung ( $\sigma_1/\sigma_2 = -1/0,000$ ) abgeleitet. Der berechnete Dehnungsverlauf in der Hauptdruckspannungsrichtung  $\epsilon_1$  stimmt daher für den einaxialen Beanspruchungszustand mit den Versuchsergebnissen fast exakt überein (Bild 6-8). Die zugehörige Querdehnung  $\epsilon_2$  wird trotz der sehr geringen Annahme des Dilatationswinkels leicht überschätzt (Bild 6-9).

In den betrachteten Druck-Druck-Spannungszuständen zeigt sich hinsichtlich der maximal ertragbaren Druckspannungen eine sehr gute Übereinstimmung der errechneten Werte mit den Versuchsergebnissen. Die zugehörigen Dehnungen in der Hauptdruckspannungsrichtung  $\varepsilon_1$  werden unterschätzt, da in allen Fällen die spannungsabhängigen Plastizitätszustände unter einaxialer Druckbeanspruchung zugrundegelegt werden. Aus diesem Grund ergeben sich auch die entsprechenden Unterschiede bei den zugehörigen Querdehnungen  $\varepsilon_2$ .

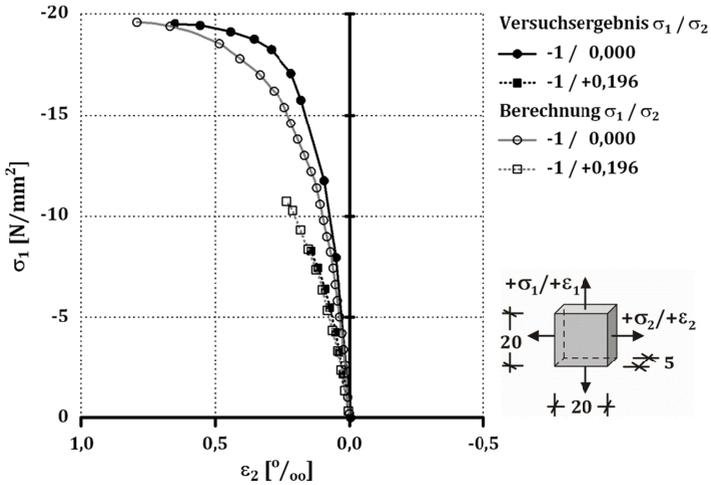
Die ermittelten Abweichungen der spannungsabhängigen Dehnungen resultieren aus der Verwendung des DRUCKER-PRAGER-Fließkriteriums und können bei der Betrachtung einzelner Beanspruchungszustände durch Annahme der spannungsabhängigen Plastizitätsauslegung verringert bzw. behoben werden. Da im vorliegenden Fall teilflächenbelastete Körper mit lokal stark unterschiedlichen Beanspruchungszuständen im Druckbereich ( $\sigma_1/\sigma_2 \approx -1/-1 \div -1/0$ ) unter Annahme eines allgemein gültigen Materialansatzes untersucht werden sollen, werden die geringen Abweichungen toleriert.

Das rechnerische Materialverhalten unter Druck-Zug-Spannungszuständen bei den Annahmen  $\phi = 10^\circ, \psi = 1^\circ$  wird in Bild 6-10 und Bild 6-11 dargestellt und mit den entsprechenden Versuchsergebnissen von KUPFER verglichen. Grundlage der Berechnungen sind wiederum die beanspruchungsabhängigen Plastizitätszustände unter einaxialer Druckbeanspruchung. Die Zugarbeitslinie des Materialmodells wird hierzu bis zum Erreichen der Zugfestigkeit linear-elastisch angesetzt. Weiterhin wird das Zugabbruchkriterium „constant tension cut-off“ (Bild 6-3) angesetzt. Die Höhe der Betonzugfestigkeit ist den Versuchsergebnissen entnommen.

Die Berechnungsergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen. Bei der Spannungscombination  $\sigma_1/\sigma_2 = -1/+0,196$  begrenzt das Zugabbruchkriterium die aufnehmbare Spannung.



**Bild 6-10:** Vergleich Versuchsergebnisse KUPFER – Berechnung  $\sigma_1 - \epsilon_1$  (zweiachiale Druck-Zug-Beanspruchung)



**Bild 6-11:** Vergleich Versuchsergebnisse KUPFER – Berechnung  $\sigma_1 - \epsilon_2$  (zweiachiale Druck-Zug-Beanspruchung)

Der Vergleich des rechnerischen Materialverhaltens unter zweiachialen Spannungszuständen mit Versuchsergebnissen zeigt bei Nutzung der beschriebenen Materialmodelle und Parameterannahmen für den Druck-Druck- und Druck-Zug-Spannungszustand eine sehr gute Abbildungsgenauigkeit. Der Bereich der zulässigen Spannungszustände wird rechnerisch sehr gut erfasst. Modellbedingt treten geringe Abweichungen der spannungsabhängigen Verzerrungszustände auf. Die Ergebnisse bestätigen damit

die Eignung des beschriebenen Ansatzes zur Materialmodellierung für die numerischen Untersuchungen teilflächenbelasteter Scheiben.

Bei dreiaxialen Spannungszuständen kann zur Festlegung der Größe des inneren Reibungswinkels  $\phi$  der Faktor der Spannungserhöhung  $k_l$  betrachtet werden. Mit Hilfe dieses Parameters kann bei gleichmäßiger Umschnürungsspannung  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_{lat}$  die ertragbare Spannung  $\sigma_3$  auf Basis der einaxialen Druckfestigkeit  $f_{c,uniax}$  und des inneren Reibungswinkels  $\phi$  mit

$$\sigma_3 = f_{c,uniax} + k_l \cdot \sigma_{lat} \quad \text{Gl. 6-9}$$

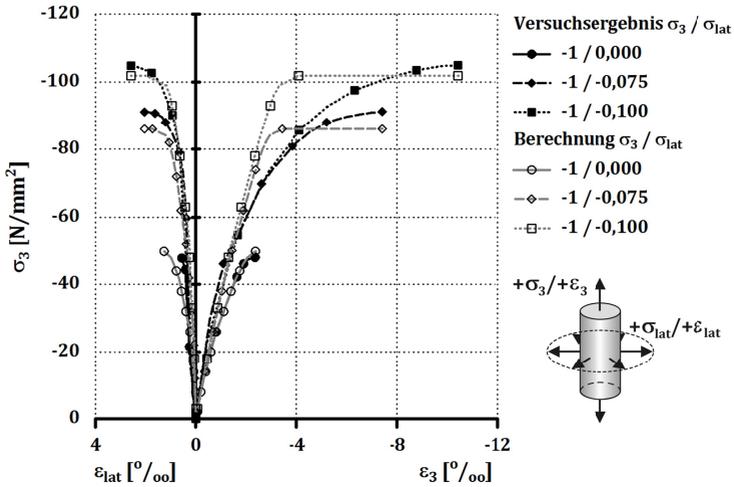
sowie

$$k_l = \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} \quad \text{Gl. 6-10}$$

bestimmt werden. In verschiedenen experimentellen Untersuchungen der Betondruckfestigkeit unter räumlichen Spannungszuständen wurden in Abhängigkeit von der Betongüte und der Versuchsdurchführung Werte von  $k_l = 2,5 \div 7,0$  ermittelt (entspricht  $\phi = 25,4^\circ \div 48,6^\circ$ ). RICHART et al. [Rich-1928] geben für Normalbeton einen Faktor von  $k_l = 4,1$  ( $\phi = 37,43^\circ$ ) an.

MALIK [Mal-2007] führte numerische Untersuchungen an CFK-ummantelten Druckgliedern mit dreidimensionalen Volumenmodellen unter Verwendung des beschriebenen elasto-plastischen Materialansatzes mit DIANA durch. Bei der Nachrechnung von Versuchskörpern aus normalfestem Beton erzielte er bei Annahme eines Reibungswinkels von  $\phi = 37^\circ$  und einer nicht-assozierten Fließregel mit einem Dilatationswinkel von  $\psi = 17^\circ$  die besten Übereinstimmungen.

Zur Bestimmung geeigneter Annahmen für die Berechnungen an dreidimensionalen Modellen werden Versuchsergebnisse von ROGGE [Rog-2002] (Versuchsserie „C40“) genutzt. ROGGE untersuchte Probekörper in einer Triaxialzelle unter dreiaxialen Druckspannungszuständen und maß die Dehnungen in der Hauptbelastungsrichtung sowie quer dazu. Bild 6-12 zeigt den Vergleich der Messdaten von Versuchskörpern mit den Berechnungsergebnissen unter Annahme einer nicht-assozierten Fließregel mit  $\phi = 42,5^\circ$  und  $\psi = \phi/2$ . Die beanspruchungsabhängigen Plastizitätszustände wurden aus der Arbeitslinie unter einaxialer Druckbeanspruchung abgeleitet. Die berechneten Maximalspannungen stimmen sehr gut mit den Versuchsergebnissen überein. Die Dehnungszustände in der Hauptbelastungsrichtung und quer dazu werden ebenfalls mit nur geringen Abweichungen zu den Versuchsmesswerten abgebildet.



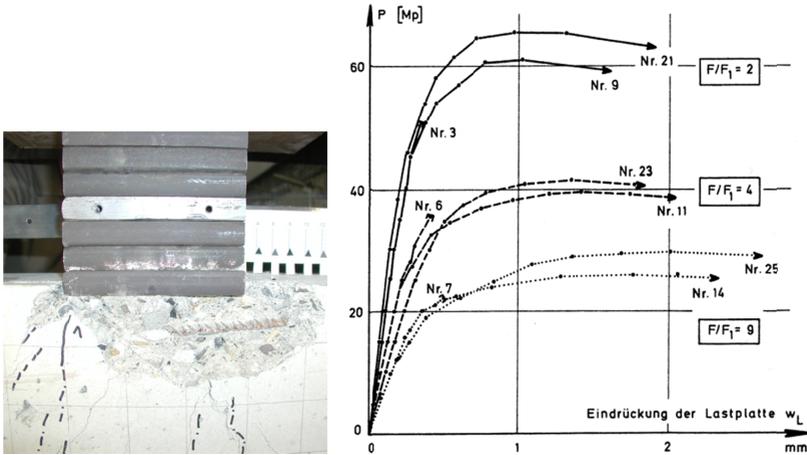
**Bild 6-12:** Vergleich Versuchsergebnisse ROGGE – Berechnung  $\sigma_3 - \epsilon_3, \sigma_3 - \epsilon_{lat}$  (dreiaxiale Druck-Beanspruchung)

Der Vergleich des rechnerischen Materialverhaltens unter dreiaxialen Spannungszuständen mit Versuchsergebnissen bestätigt die befriedigende Eignung der beschriebenen Materialmodelle und Parameterannahmen auch zur Berechnung teilflächenbelasteter dreidimensionaler Modelle.

### 6.3.4 Modellierung des unmittelbaren Bereichs der Krafteinleitung

Zur realistischen Abbildung des Material- bzw. Körperverhaltens im Bereich der Lastfläche sind besondere Annahmen zu treffen. Aus Versuchen zum ebenen Fall der Teilflächenbelastung ist bekannt, dass die ertragbaren Druckspannungen auf der belasteten Fläche in Abhängigkeit von der Lastkonzentration deutlich oberhalb der einaxialen Druckfestigkeit liegen können (vgl. Versuchsdatenbank in Kapitel 3.2). Die beobachteten Lastflächenspannungen von  $q_1 \gg 1,25 \cdot f_{c,uni\,ax}$  lassen sich nur unter Berücksichtigung der Druckspannungskomponenten in Dickenrichtung und des damit vorliegenden dreiaxialen Spannungszustands erklären. Beim räumlichen Fall sind infolge der Umschnürungswirkung des die Lastfläche umgebenden Betons sowie der umfassenden Spaltzugbewehrungen noch deutlich größere Druckspannungen auf der Lastfläche ertragbar.

Im Bereich der Lastplatte treten zudem bei Annäherung an die Grenztragfähigkeit starke plastische Verformungen mit deutlichen Einsenkungen der Lastplatte sowie einer Bruchkeil- bzw. Bruchpyramidenbildung auf. Bild 6-13 zeigt die in einem eigenen Versuch beobachtete Einsenkung der Lastplatte sowie die gemessenen kraftabhängigen Lastplatteneindrückungen bei Versuchen von WURM / DASCHNER [Wur-1983].

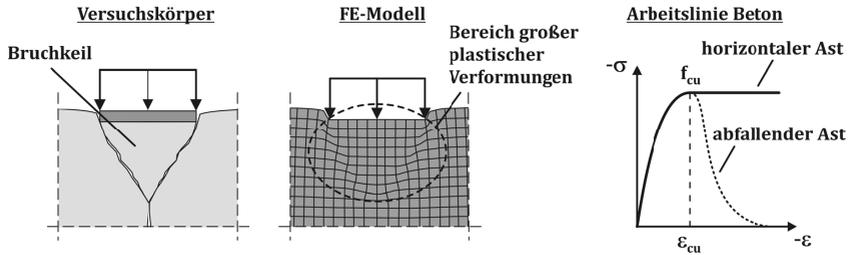


**Bild 6-13:** Einsenkung der Lastplatte im eigenen Versuch (links); kraftabhängige Lastplatteneindrückung bei den Versuchen von WURM / DASCHNER [Wur-1983] (rechts)

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird ein Modellansatz zur Berechnung teilflächenbelasteter Bauteile genutzt, bei dem ein kontinuierliches Finite-Elemente-Modell ohne Diskontinuitäten mit einheitlicher Materialarbeitslinie des Betons zugrundegelegt wird (siehe Bild 6-1 und Bild 6-2). Die Abbildung des Bauteilverhaltens im unmittelbaren Einleitungsbereich erfolgt dabei durch die gezielte Anpassung der Betonarbeitslinie.

Hierzu wird in der Betonarbeitslinie nach Überschreiten der Grenzdehnung bei Höchstspannung  $\epsilon_{cu}$  ein vollplastischer Zustand mit konstantem Spannungsniveau angenommen (siehe Bild 6-14). Diese Annahme führt im Bereich der Kräfteinleitung dazu, dass die Dehnungen in Lastrichtung bei Erreichen der maximal ertragbaren Druckspannungen stark zunehmen. Infolge der resultierenden Querdehnungen, die durch den umliegenden Teil des Körpers behindert werden, entstehen zusätzliche Querpressungen.

Der hierbei auftretende Druck-Spannungszustand erlaubt in der Folge eine Steigerung der aufnehmbaren Lastflächenspannungen über die einaxiale Druckfestigkeit hinaus. Bild 6-14 zeigt die angesetzte Materialarbeitslinie des Betons auf der Druckseite mit horizontalem Ast im Vergleich zum Ansatz mit abfallendem Ast.



**Bild 6-14:** Modellierung des Lasteinleitungsbereichs

In verschiedenen Parameterstudien konnte festgestellt werden, dass für eine realitätsnahe Abbildung des Verhaltens im Lasteinleitungsbereich bei ebenen Fällen die Annahme eines gegenüber den Erläuterungen in Kapitel 6.3.3 erhöhten inneren Reibungswinkels von  $\phi = 20^\circ \div 30^\circ$  in Verbindung mit einem Dilatationswinkel von  $\psi = 15^\circ \div 25^\circ$  erforderlich wird. Für den räumlichen Fall sind innere Reibungswinkel von  $\phi = 20^\circ \div 30^\circ$  in Verbindung mit einer assoziierten Fließregel zielführend.

Plastische Dehnungszustände treten aufgrund der schnellen Ausbreitung der Druckspannungen im Körper nur im unmittelbaren Krafteinleitungsbereich auf. In den übrigen Bereichen liegen deutlich geringere Druckbeanspruchungszustände vor. Die Auswirkungen der modifizierten Arbeitslinie beschränken sich daher auf den Einleitungsbereich. Infolge der angepassten Reibungs- und Dilatationswinkel ergeben sich zusätzliche Änderungen im Materialverhalten, insbesondere hinsichtlich der auftretenden Querdehnungen sowie bei Druck-Zugbeanspruchungen. Diese bleiben jedoch in ihrer Auswirkung gering.

### 6.3.5 Modellierung der Rissbildung

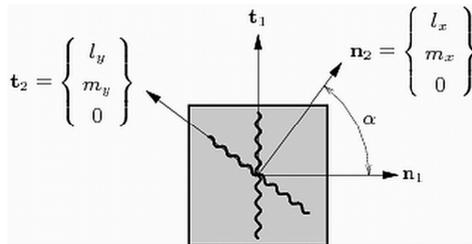
Die numerische Abbildung gerissener Bauteile erfordert streng genommen die Anpassung der gewählten Diskretisierung an das aufgrund der entstandenen Diskontinuität veränderte System. In einer Finite-Elemente-Berechnung besteht hierzu die Möglichkeit, einzelne diskrete Risse abzubilden. Dieses Verfahren wird als „diskrete Rissmodellierung“ bezeichnet. Der maßgebende Vorteil dieser Modellierungsart ist, dass jeder Riss in seiner wirklichen Lage und Ausdehnung in die Berechnung eingehen kann. Die Methode wird aufgrund des Aufwands in der Eingabe und Berechnung jedoch nur bei Systemen eingesetzt, bei denen wenige Risse berücksichtigt werden sollen.

Zur Abbildung von Körpern, in denen viele Risse mit unterschiedlichen Lagen und Ausdehnungen auftreten, ist die Anwendung des Konzepts der „verschmierten Rissbildung“ sinnvoller. Hierbei wird auf die Abbildung der Risse als Diskontinuitätsstellen

verzichtet und stattdessen eine integrale Betrachtung der gerissenen Elemente vorgenommen.

Die Risse werden innerhalb eines Elementes „verschmiert“ und die steifigkeitsmindernden Einflüsse der Rissbildung durch eine Anpassung des Werkstoffgesetzes berücksichtigt. Die Ausbreitung des gerissenen Bereichs wird dabei in Form eines Bands definiert, wobei in diesem sogenannten Rissband annähernd parallele Risse dicht verteilt nebeneinander angenommen werden. Die berechneten Risse können dabei lediglich integral beschrieben werden, z. B. durch die mittlere Breite und den mittleren Abstand.

Für die eigenen Berechnungen der teilflächenbelasteten Scheiben und Prismen wird das in DIANA implementierte Modell der multi-direktional fixierten verschmierten Rissbildung genutzt, da neben den zentralen Spaltrissen auch zusätzliche Risse im Bereich der Lastplatte sowie an den Körperseiten untersucht werden sollen. In diesem Rissmodell reißt das betroffene Element, wenn die rechnerische Hauptzugspannung die Betonzugfestigkeit überschreitet. Bei der Berechnung mit multi-direktional fixierter Rissbildung werden die Risse in Lage und Orientierung im Berechnungsablauf nicht verändert („fixed-crack-model“) (Bild 6-15). Die über den Riss übertragbaren Schubkräfte werden mit Hilfe eines Schubübertragungskoeffizienten definiert. Das Nachrissverhalten wird durch die vorgegebene einaxiale Zugarbeitslinie gesteuert.



**Bild 6-15: Multi-direktional fixiertes Rissmodell [TNO-2010]**

### 6.4 Modellierung der Bewehrung

Bei der Modellierung von Stahlbetonbauteilen auf Grundlage der Finite-Elemente-Methode bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Abbildung der Bewehrung:

- verschmierte Bewehrung
- diskrete Bewehrung

Im Rahmen der eigenen Berechnungen teilflächenbelasteter Scheiben erfolgt die Abbildung der Bewehrung diskret mit Stabelementen vom Typ „CL6TR“ [TNO-2010]. Die Materialarbeitslinie der Bewehrung wird in Anlehnung an die Angaben in DIN 1045-1

[DIN-2008] und Eurocodes 2 [EC-2008] [EC-2010] bilinear gewählt. Als kennzeichnende Parameter werden die Fließgrenze und die Bruchspannung sowie die zugehörigen Dehnungen genutzt. Die Parameter werden dabei auf Grundlage der Ergebnisse von Zugversuchen oder entsprechend den normativen Vorgaben für die Druck- und Zugseite gleichermaßen festgelegt.

### 6.5 Modellierung des Verbundverhaltens zwischen Betonstahlbewehrung und Betonmatrix

#### 6.5.1 Grundlagen zum Verbund

In einem bewehrten Betonkörper wird das Verbundverhalten zwischen der Betonstahlbewehrung und der Betonmatrix aus dem Zusammenwirken der drei Verbundarten Adhäsion (Haftverbund), Scher- und Reibungsverbund bestimmt. Die Beschreibung der Verbundkräfte zwischen Stahl und Beton erfolgt über eine am differentiellen Stabelement wirkende nominelle Verbundspannung  $\tau$ . Die Verbundcharakteristik wird über die Beziehung zwischen der lokal auftretenden mittleren Verbundschubspannung und der zugehörigen Relativverschiebung (Schlupf) mittels sogenannter Verbundgesetze charakterisiert.

Zum Verbundverhalten von Betonstahlbewehrung in Betonbauteilen wurden zahlreiche experimentelle Untersuchungen an Verbundelementkörpern mit überwiegend kurzen Einbettungslängen durchgeführt. Auf Basis der erzielten Versuchsergebnisse definierten u. a. DÖRR [Dör-1980], NOAKOWSKI [Noa-1978] [Noa-1988], ELIGEHAUSEN [Eli-1983] und KRELLER [Kre-1990] verschiedene Verbundgesetze.

#### 6.5.2 Modellierung des Verbunds

Im Finite-Elemente-Modell kann die Anbindung der diskreten Bewehrungselemente an die Betonelemente mit starrem oder verschieblichem Verbund erfolgen.

Bei Nutzung der eingebetteten Bewehrung („embedded reinforcement“) wird in DIANA standardmäßig der starre Verbund verwendet. Der Vorteil dieser Modellierung liegt vor allem in der vereinfachten Eingabe der Bewehrungselemente. Nachteilig ist, dass die Spannungsverteilung entlang der Bewehrungselemente nur vereinfacht erfasst wird und damit das Verformungsverhalten des Modells nur vereinfacht abgebildet werden kann. Für die Berechnungen zum räumlichen Fall werden eingebettete Bewehrungselemente genutzt. In Voruntersuchungen zeigte sich, dass die Querverformungen des gewählten Modells bei den betrachteten, an den Außenseiten angeordneten Bewehrungen durch die Art der Einbettung der Bewehrung nur geringfügig beeinflusst werden.

Die Modellierung des Verbundverhaltens mit entkoppelten Bewehrungselementen, die über spezielle Verbundelemente an die Betonelemente angebunden werden, ermöglicht eine realitätsnahe Abbildung des Verbundverhaltens. Die Koppelkräfte können dabei entsprechend des gewählten Verbundgesetzes in Abhängigkeit vom auftretenden Schlupf berücksichtigt werden.

Für die eigenen numerischen Berechnungen teilflächenbelasteter Scheiben werden die diskret abgebildeten Bewehrungsstäbe über Interface-Elemente an die Scheiben-Elemente des Betonkörpers angebunden. Die aufwändige Modellierung wird gewählt, um die Einflüsse kurzer Zugstreben (vgl. Kapitel 5.3.2) in den untersuchten Modellen realitätsnah abzubilden.

Zur Beschränkung des Berechnungsaufwands sowie zur Sicherstellung einer hohen numerischen Stabilität wird eine vereinfachte starr-plastische Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung auf Grundlage des Ansatzes von SIGRIST (in [Marti-1999]) genutzt.

Auf den Ansatz des Verbundspannungsabfalls nach Erreichen des Schlupfes  $\delta_y$  wird verzichtet, da der Steifigkeitsabfall in Modellen mit hoher Anzahl von Bewehrungselementen zu einer wesentlichen Verschlechterung der Konvergenzeigenschaften führt.

Die eigenen Annahmen zur Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung sind damit wie folgt definiert.

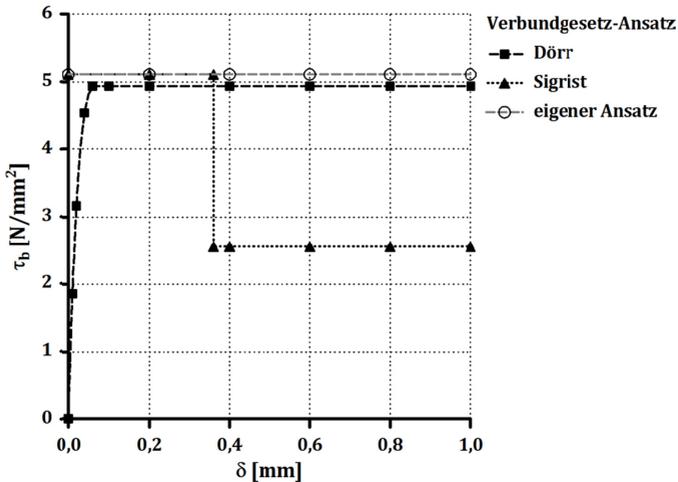
$$\tau_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot f_{c,cyl} \\ 2 \cdot f_{ct} \end{array} \right. \quad \text{Gl. 6-11}$$

mit:

|             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| $f_{c,cyl}$ | Zylinderdruckfestigkeit des Betons |
| $f_{ct}$    | zentrische Betonzugfestigkeit      |

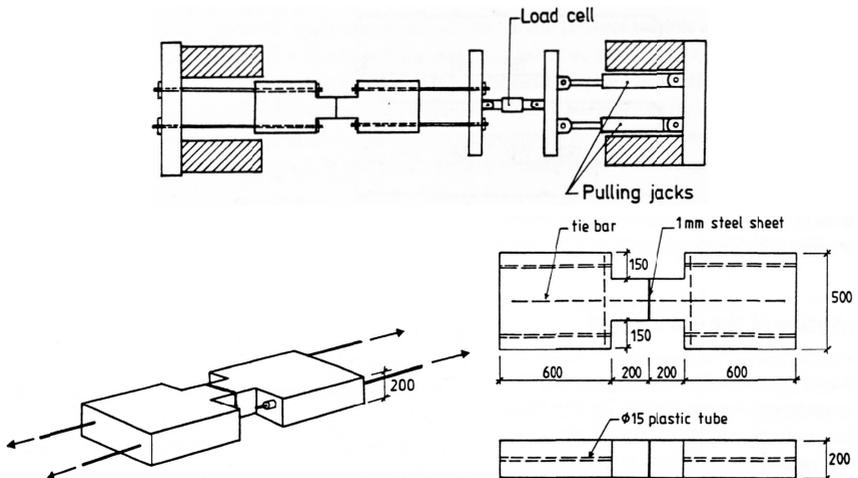
In Bild 6-16 wird die angenommene Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung anhand eines Beispiels mit anderen Verbundgesetzen verglichen.

Der gewählte starr-plastische Ansatz stimmt bei geringem Schlupf sehr gut mit den Ansätzen von DÖRR und SIGRIST überein. Beim Anwachsen des Schlupfes erfolgt nach SIGRIST mit Erreichen der Fließgrenze des Betonstahls ein Verbundspannungsabfall, der jedoch bei DÖRR wie im eigenen Modell vernachlässigt wird.



**Bild 6-16:** Vergleich verschiedener Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen, Beispiel für Beton C25/30 und Betonstahl B500 (jeweils Mittelwerte), Stabdurchmesser 10 mm

Die gewählte Modellierung ermöglicht eine vereinfachte Abbildung der Verbundeigenschaften, die entsprechend der jeweiligen Bauteileigenschaften angepasst werden kann. Hiermit können maßgebenden Einflüsse erfasst und Bauteilverformungen realitätsnah abgebildet werden. Zur Verifizierung des Ansatzes werden zwei Auszugversuche von ENGSTRÖM nachgerechnet, da diese besonders gut dokumentiert sind.



**Bild 6-17:** Auszugversuche von ENGSTRÖM [Eng-1992] – prinzipieller Versuchsaufbau (oben); Probekörper Typ A (unten)

## 6 Nichtlineare numerische Untersuchungen teillächenbelasteter Körper

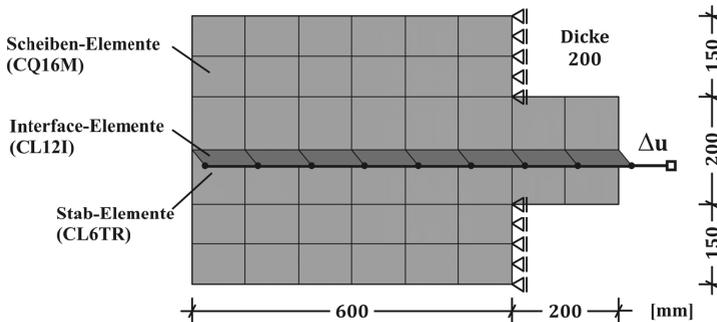
ENGSTRÖM [Eng-1992] führte experimentelle Untersuchungen zur Verbindung vorfabrizierter Stahlbetonelemente durch. In diesem Rahmen wurden Zugversuche an zweiteiligen, mittels einer Fuge getrennten Probekörpern vorgenommen, die als Auszugversuche betrachtet werden können. ENGSTRÖM variierte die Art und Ausbildung der fugenüberbrückenden Bewehrung („tie bar“) sowie die Betongüte. Das Messprogramm umfasste neben der Aufnahme der kraftabhängigen Fugenöffnungen auch die Bestimmung der auftretenden Bewehrungsdehnungen. Der prinzipielle Versuchsaufbau und die Geometrie der näher betrachteten Probekörper (Typ A) sind in Bild 6-17 dargestellt.

Die numerische Untersuchung erfolgt für die Einzelversuche Nr. 2 und 23. In Tabelle 6-1 sind die maßgebenden Kennwerte der Fugenbewehrung und des Betons zusammengestellt.

**Tabelle 6-1: Kennwerte und Parameter ausgewählter Auszugversuche von ENGSTRÖM**

| Versuch Nr. | Bewehrung Fuge | $E_s$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{sy}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{su}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{cm,cube150}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{cm,cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $E_{com}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------|----------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 2           | 1Ø10           | 213.000                    | 472                           | 674                           | 29,1                                  | 23,3                              | 2,64                           | 27.100                         |
| 23          | 2Ø10           | 213.000                    | 472                           | 674                           | 30,5                                  | 24,4                              | 2,68                           | 27.600                         |

Der Aufbau des verwendeten FE-Modells ist in Bild 6-18 dargestellt. Für die numerischen Untersuchungen der Auszugversuche von ENGSTRÖM wird ein ebenes Halbmodell der Probekörper genutzt. Die Abbildung der Bewehrung erfolgt diskret durch Stab-Elemente, die über Interface-Kopplungen an die Scheiben-Elemente des Betonkörpers angebunden werden. Die Modellierung der Verbundcharakteristik wird über die Steuerung des Verhaltens der Interface-Elemente erreicht. Die Belastung erfolgt weggesteuert durch Verschiebung des Stab-Elementknotens der Bewehrung direkt in der Symmetrieachse bzw. der Fuge.

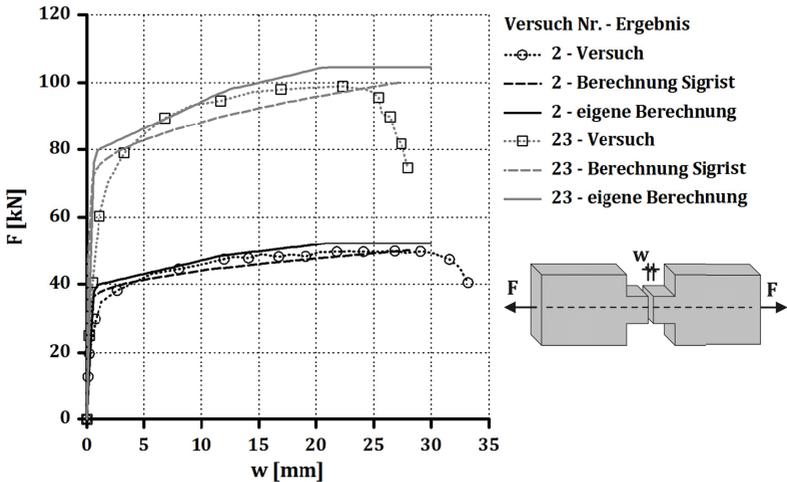


**Bild 6-18: FE-Modell für die numerische Untersuchung der Auszugversuche von ENGSTRÖM**

Das Materialverhalten des Betons wird linear-elastisch angenommen, da in den Probekörpern global ein niedriges Beanspruchungsniveau vorliegt und weder die Zug- noch

die Druckfestigkeit erreicht werden. Die Arbeitslinie des Betonstahls wird bilinear angenähert. Das Verhalten der Interface-Elemente kann in DIANA über die Vorgabe der Verbundkraft-Verformungsdifferenz-Beziehungen gesteuert werden. Zur Modellierung des Verbunds werden die resultierenden Verbundkraft-Schlupf-Beziehungen daher auf Basis des erläuterten Ansatzes (Gl. 6-11) in Abhängigkeit von den Betonparametern und der Bewehrungsstabgeometrie berechnet.

Die Ergebnisse der eigenen numerischen Berechnung werden in Bild 6-19 mit den in den Versuchen von ENGSTRÖM aufgenommenen Messwerten sowie den Resultaten der Versuchsnachrechnung von SIGRIST [Marti-1999] verglichen.



**Bild 6-19:** Auszugversuche von ENGSTRÖM, experimentell ermittelte Kraft-Fugenöffnungs-Beziehungen im Vergleich mit Berechnungsergebnissen

Die ermittelten kraftabhängigen Fugenöffnungen weisen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen auf. Der Vergleich mit den Ergebnissen von SIGRIST zeigt geringe Unterschiede, wobei die eigenen Berechnungen stets ein steiferes Verhalten ergeben. Die höhere Systemsteifigkeit wird dabei durch die Vernachlässigung der Verbundkraftabminderung bei Erreichen der Fließgrenze hervorgerufen.

Die sehr gute Übereinstimmung der Versuchs- und Berechnungsergebnisse bestätigt die grundsätzliche Eignung der Verbundmodellierung mittels Interface-Elementen sowie der vereinfachten Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung. Die bei hoher Auslastung der Bewehrung vorliegende Verbundsteifigkeit übertrifft jene nach dem Ansatz von SIGRIST leicht. Für die Berechnung von teilflächenbelasteten Körpern ist die Wahl einer oberen Schranke der Verbundsteifigkeit sinnvoll und auf der sicheren Seite liegend, da

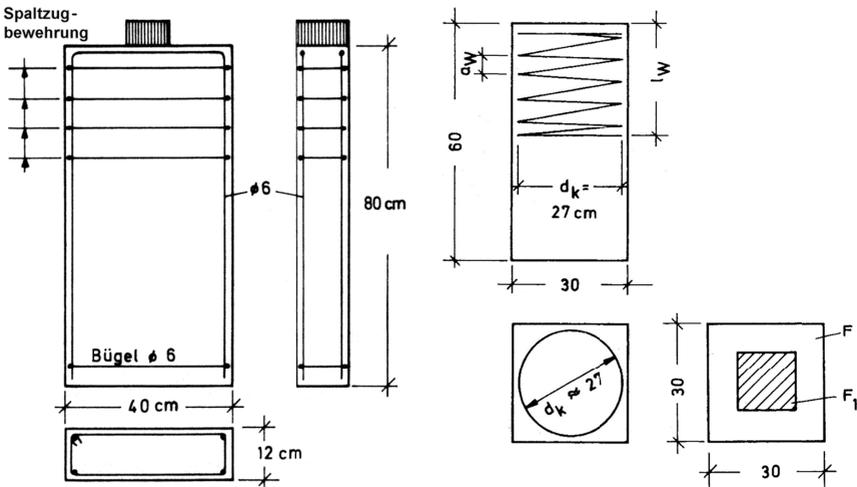
mit der Körpersteifigkeit auch die Höhe der Spaltzugbeanspruchungen ansteigt (vgl. Kap. 5.4).

Aufgrund der guten Eignung der an den Auszugversuchen verifizierten Abbildungsmethode des Verbundverhaltens wird diese nachfolgend auch in Modellen teilflächenbelasteter Scheiben genutzt. Die Übertragung ist möglich, da in teilflächenbelasteten Körpern Beanspruchungszustände vorliegen, die hinsichtlich des Verbunds zwischen Beton und Betonstahl mit denen eines Zugkörpers vergleichbar sind.

## 6.6 Kalibrierung der Modelle

### 6.6.1 Allgemeines

Zur Kalibrierung der entwickelten Modelle werden verschiedene zentrisch teilflächenbelastete Versuchskörper von WURM / DASCHNER [Wur-1977] [Wur-1983] numerisch untersucht. WURM / DASCHNER prüften zum ebenen Fall Versuchskörperscheiben der Abmessungen  $d / h / b = 40/80/12$  cm und zum räumlichen Fall Probekörperprismen mit  $d / h / b = 30/60/30$  cm, die sowohl unbewehrt als auch bewehrt ausgeführt wurden. Bild 6-20 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Versuchskörper.



**Bild 6-20:** Versuchskörper mit Spaltzugbewehrung WURM / DASCHNER – Scheiben [Wur-1983] (links), Prismen [Wur-1977] (rechts)

Zur Herstellung der Versuchskörper kamen Normalbetone sowie gerippte bügel- und wendelförmige Spaltzugbewehrungen zur Anwendung. Neben den Bewehrungsgehalten wurden die Anordnungen und Durchmesser der Spaltzugbewehrungen in den verschiedenen Versuchskörpern variiert. Die Belastung der Versuchskörper erfolgte wegge-

steuert, so dass auch die Zustände nach Überschreiten der Höchstlast untersucht werden konnten.

Während der Versuche wurde das Verformungsverhalten der Versuchskörper detailliert erfasst. Neben den Längsverformungen und Lastplatteneinsenkungen wurden mittels eines Setzdehnmessers Verformungen senkrecht zur Richtung der aufgebracht Druckkraft am Beton sowie an den Spaltzugbewehrungen aufgenommen.

**6.6.2 Numerische Berechnung ausgewählter Versuchskörperscheiben zum ebenen Fall der Teilflächenbelastung**

Für die Kalibrierung und Verifizierung des numerischen Modells zum ebenen Fall werden die Versuchskörper (VK) Nr. 5, 11, 18 und 52 aus [Wur-1983] betrachtet, zu denen detaillierte Ergebnisse der Querdehnungsmessungen vorliegen. Die näher untersuchten Versuchskörper wurden alle zentrisch mit einer Lastkonzentration von  $m = 4$  belastet, wiesen jedoch unterschiedliche Bewehrungsgrade auf.

Die Versuchskörper (VK) können wie folgt charakterisiert werden:

- VK Nr. 5: unbewehrter Versuchskörper, Versagen durch Betonzugfestigkeit bestimmt
- VK Nr. 11: Versuchskörper mit geringem Bewehrungsgrad, Versagen durch Betonzugfestigkeit und Bewehrung sowie Bruchkeilbildung bestimmt
- VK Nr. 18: Versuchskörper mit mittlerem Bewehrungsgrad, Versagen durch Bewehrung sowie Bruchkeilbildung bestimmt
- VK Nr. 52: Versuchskörper mit hohem Bewehrungsgrad, Versagen durch Bruchkeilbildung bzw. Betondruckversagen im unmittelbaren Einleitungsbereich bestimmt

Tabelle 6-2 enthält die maßgebenden Versuchsparameter, Betonkennwerte und die im Versuch ertragenen Höchstlasten, in Tabelle 6-3 sind Angaben zur Spaltzugbewehrung zusammengestellt.

**Tabelle 6-2: Versuchsparameter, Materialkennwerte Beton und Versuchsergebnisse der Versuchskörper Nr. 5, 11, 18 und 52 [Wur-1983]**

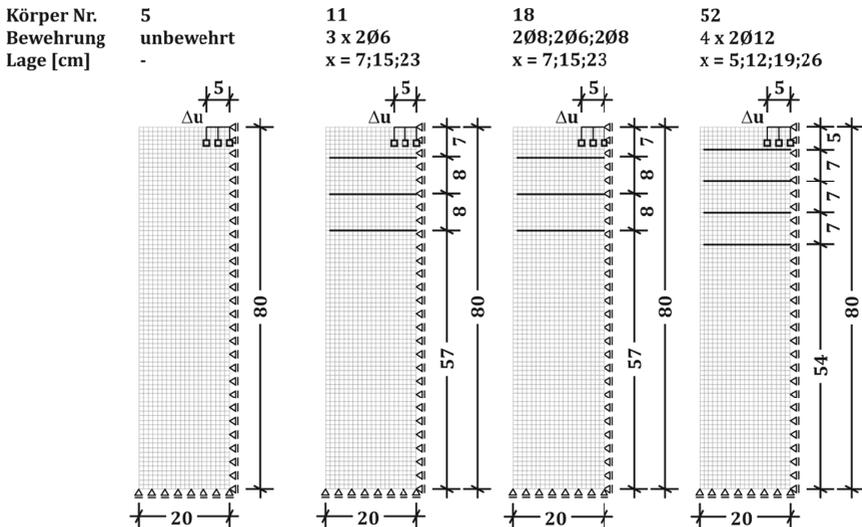
| VK Nr. | $A_{c1}/A_{c0}$ | $f_{cm,cyl}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $F_u$<br>[kN] | $q_{1u}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------|----------------------------------|
| 5      | 4               | 21,3                                 | 2,1                               | 351,1         | 29,2                             |
| 11     | 4               | 20,5                                 | 2,4                               | 389,3         | 32,5                             |
| 18     | 4               | 36,4                                 | 3,0                               | 688,4         | 57,4                             |
| 52     | 4               | 20,6                                 | 2,0                               | 416,8         | 34,7                             |

## 6 Nichtlineare numerische Untersuchungen teillächenbelasteter Körper

**Tabelle 6-3: Anordnung Spaltzugbewehrung und Materialkennwerte Betonstahl der Versuchskörper Nr. 5, 11, 18 und 52 [Wur-1983]**

| VK Nr. | Lage      | $x_i$<br>[cm] | $d_{s,i}$<br>[mm] | $A_{s,i}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $A_{s,ges}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $\rho_{1d}$<br>[%] | $f_y$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_u$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|-----------|---------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 5      | unbewehrt | -             | -                 | -                               | -                                 | -                  | -                             | -                             |
| 11     | 1         | 7             | 2Ø6               | 0,57                            | 1,71                              | 0,36               | 546                           | 787                           |
|        | 2         | 15            | 2Ø6               | 0,57                            |                                   |                    | 546                           | 787                           |
|        | 3         | 23            | 2Ø6               | 0,57                            |                                   |                    | 546                           | 787                           |
| 18     | 1         | 7             | 2Ø8               | 1,01                            | 2,59                              | 0,54               | 512                           | 769                           |
|        | 2         | 15            | 2Ø6               | 0,57                            |                                   |                    | 546                           | 787                           |
|        | 3         | 23            | 2Ø8               | 1,01                            |                                   |                    | 512                           | 769                           |
| 52     | 1         | 5             | 2Ø12              | 2,26                            | 9,04                              | 1,88               | 442                           | 696                           |
|        | 2         | 12            | 2Ø12              | 2,26                            |                                   |                    | 442                           | 696                           |
|        | 3         | 19            | 2Ø12              | 2,26                            |                                   |                    | 442                           | 696                           |
|        | 4         | 26            | 2Ø12              | 2,26                            |                                   |                    | 442                           | 696                           |

Zur numerischen Untersuchung der Versuchskörper werden Halb-Modelle (vgl. Bild 6-1) sowie eine Lastaufbringung durch Knotenverschiebung der Lastfläche genutzt. Bild 6-21 zeigt die untersuchten Modelle im Überblick.



**Bild 6-21: Modelle der Versuchskörperscheiben Nr. 5, 11, 18 und 52 von WURM / DASCHNER [Wur-1983]**

Alle angesetzten Materialparameter und Arbeitslinien sind im Anhang F detailliert aufgeführt.

Für die Auswertung werden die folgenden Berechnungsergebnisse genutzt:

- Beziehung Kraft  $F$  – aufgebrachter Weg  $\Delta u$
- Verteilung der kraftabhängigen gemittelten Querdehnungen des Betons  $\varepsilon_{c,m}$  und des Betonstahls  $\varepsilon_{s,m}$
- kraftabhängiges Verformungs- und Rissverhalten

Die gemittelten Querdehnungen des Betons und Betonstahls werden entsprechend den in den Versuchen genutzten Messstellen bestimmt. Der ausgewertete Bereich weist eine Breite von 10 cm auf und sein Mittelpunkt liegt in der Körperachse. Die nachfolgenden Bilder enthalten die maßgebenden Berechnungsergebnisse sowie zum Vergleich die entsprechenden Messwerte der Versuche.

Ergebnisse Modell Versuchskörper Nr. 5 (unbewehrt)

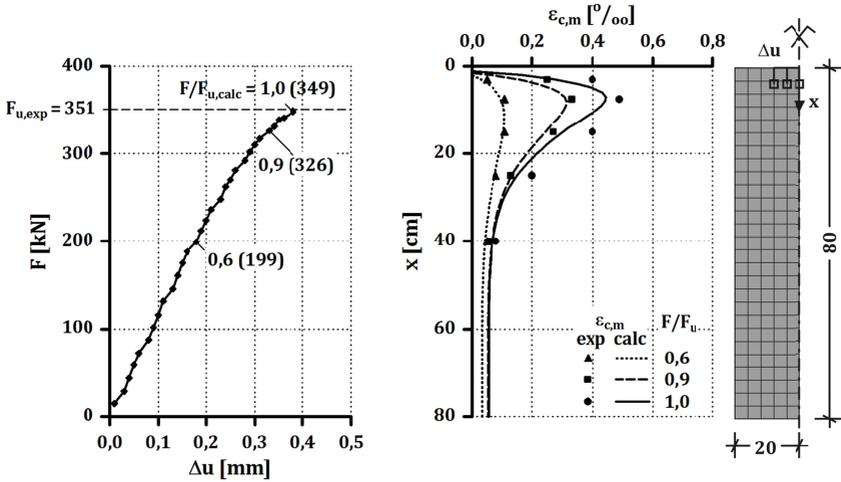


Bild 6-22: Modell Versuchskörper Nr. 5 – Kraft-Weg-Beziehung (links) und gemittelte Querdehnungen (rechts)

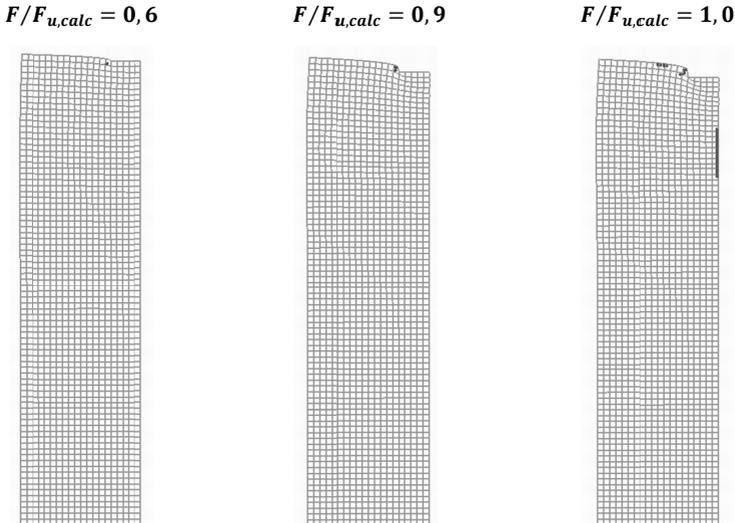


Bild 6-23: Modell Versuchskörper Nr. 5 – Verformungs- und Rissverhalten (150-fache Überhöhung)

Ergebnisse Modell Versuchskörper Nr. 11 (geringer Bewehrungsgrad)

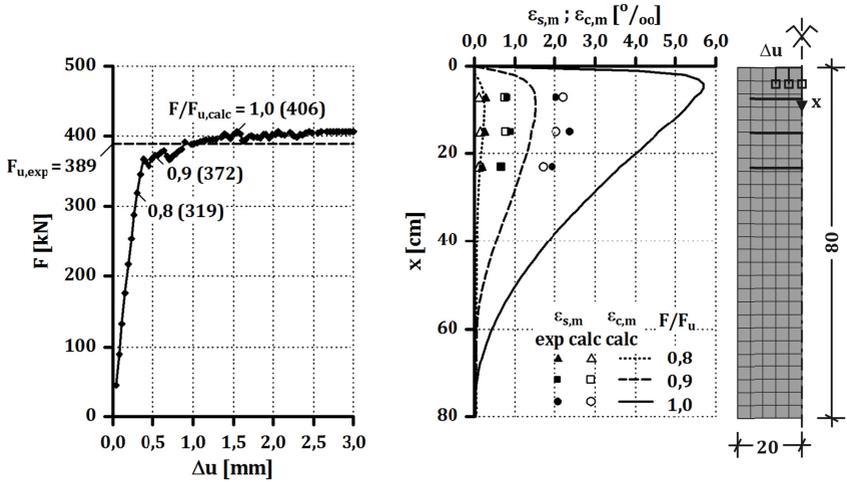


Bild 6-24: Modell Versuchskörper Nr. 11 – Kraft-Weg-Beziehung (links) und gemittelte Querdehnungen (rechts)

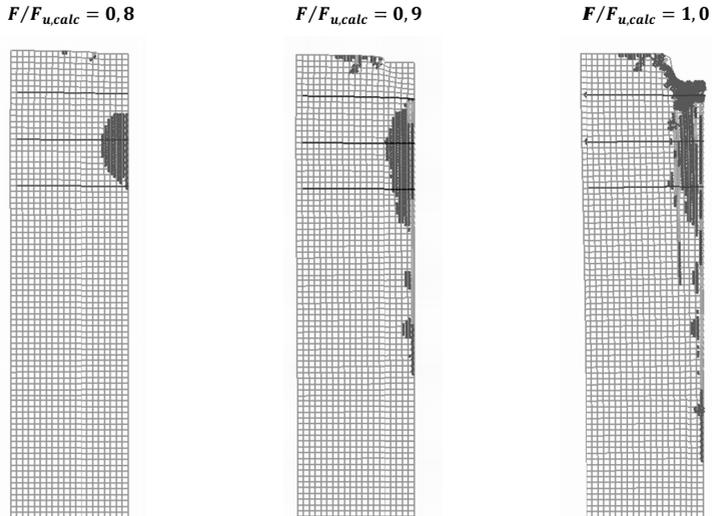


Bild 6-25: Modell Versuchskörper Nr. 11 – Verformungs- und Rissverhalten (40-fache Überhöhung)

Ergebnisse Modell Versuchskörper Nr. 18 (mittlerer Bewehrungsgrad)

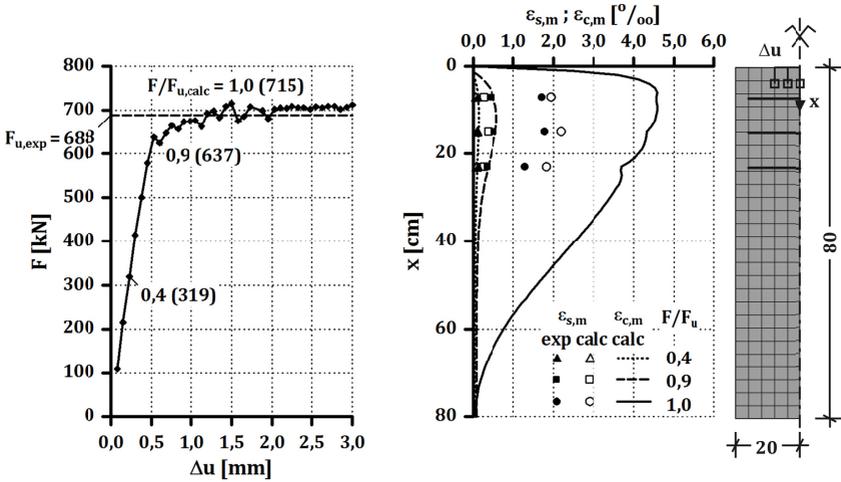


Bild 6-26: Modell Versuchskörper Nr. 18 – Kraft-Weg-Beziehung (links) und gemittelte Querdehnungen (rechts)

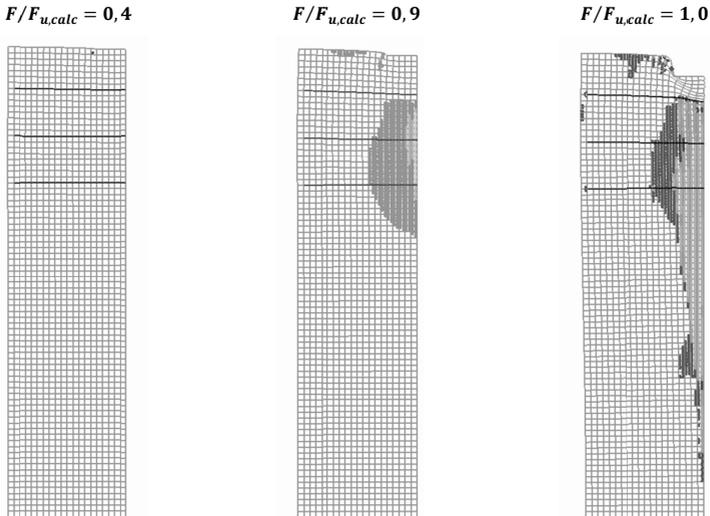


Bild 6-27: Modell Versuchskörper Nr. 18 – Verformungs- und Rissverhalten (40-fache Überhöhung)

Ergebnisse Modell Versuchskörper Nr. 52 (hoher Bewehrungsgrad)

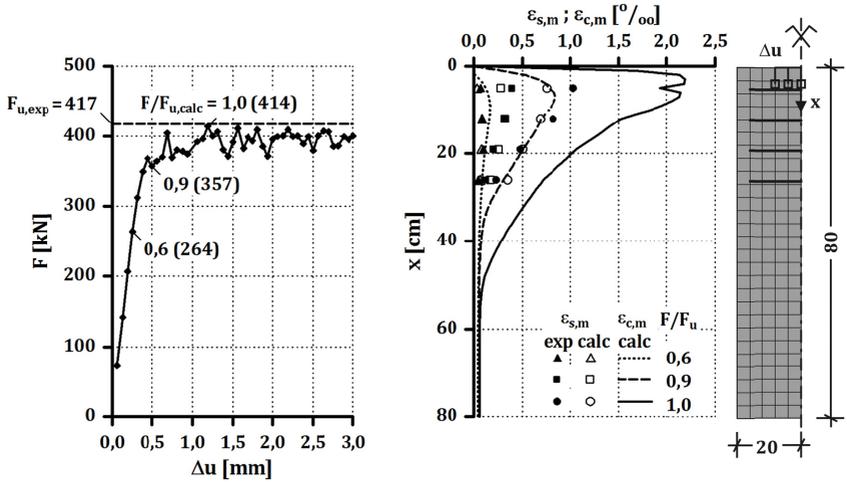


Bild 6-28: Modell Versuchskörper Nr. 52 – Kraft-Weg-Beziehung (links) und gemittelte Querdehnungen (rechts)

$F/F_{u,calc} = 0,6$

$F/F_{u,calc} = 0,9$

$F/F_{u,calc} = 1,0$

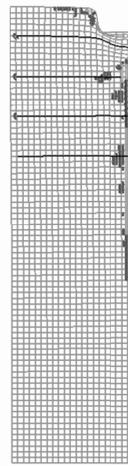
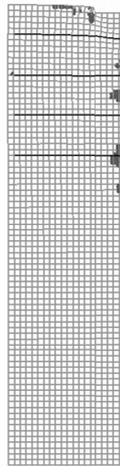
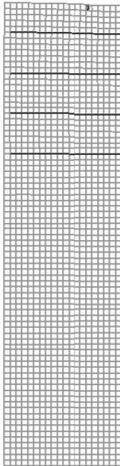


Bild 6-29: Modell Versuchskörper Nr. 52 – Verformungs- und Rissverhalten (40-fache Überhöhung)

Die Vergleiche der Versuchsergebnisse von WURM / DASCHNER mit den ermittelten Werten der maximal ertragbaren Kraft  $F_u$  sowie der kraftabhängigen, gemittelten Querdehnungen des Betons  $\varepsilon_{c,m}$  und Betonstahls  $\varepsilon_{s,m}$  zeigen eine sehr gute Übereinstimmung.

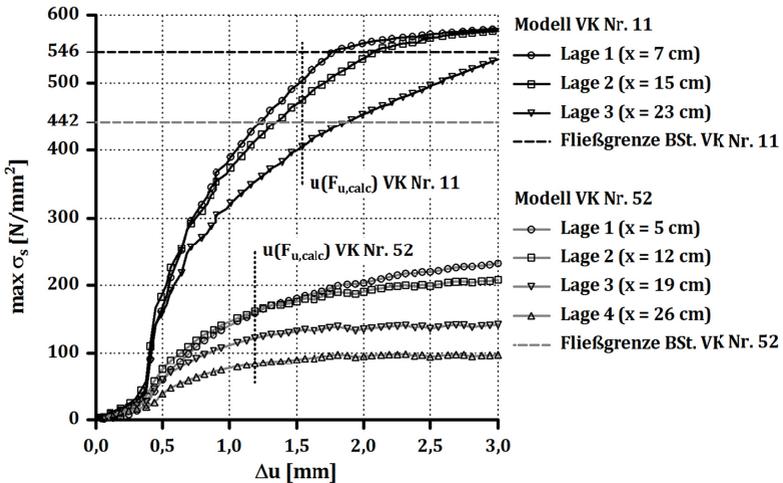
Aufgrund des vereinfachten Ansatzes der Beton- und Betonstahl-Arbeitslinien ohne abfallenden Ast verbleiben auch nach Erreichen der Grenztragfähigkeit bei weiterer Steigerung des aufgebracht Weges rechnerisch hohe Tragwiderstände. Dieses Verhalten entspricht dem in den Versuchen beobachteten. Die Festlegung der rechnerischen Grenztragfähigkeit erfolgt anhand des resultierenden Lastplateaus.

Die berechneten Risszustände spiegeln die in den Versuchen beobachteten zentrischen Spaltrisse sehr gut wider. Die Risse treten typischerweise erst auf hohem Lastniveau und zunächst im Bereich von ca.  $x/d = 0,4 \div 0,5$  auf. Bei Annäherung an die Grenztragfähigkeit breiten sich die gerissenen Bereiche rechnerisch wie in Versuchen beobachtet aus.

Beim Modell des unbewehrten Körpers konnten keine stabilen Zustände nach vollständiger Ausbildung der Rissbildung berechnet werden. In Bild 6-23 ist daher nur die lokal eng begrenzte Erstrissbildung im letzten konvergierten Berechnungsschritt zu erkennen. Die beschränkte Abbildemöglichkeit des vollständig gerissenen Körpers erklärt zudem die leichte Unterschätzung der Grenztragfähigkeit sowie der Querdehnungen.

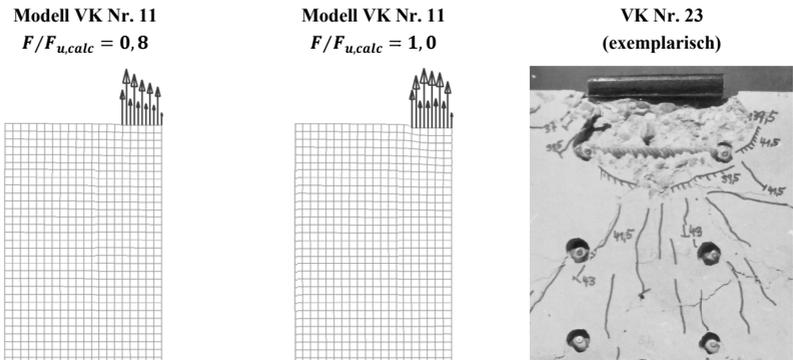
Die Entwicklung der berechneten Spannungen in den Spaltzugbewehrungen ist exemplarisch für die Modelle der Versuchskörper Nr. 11 und 52 in Bild 6-30 dargestellt. Der Vergleich der ermittelten Spannungsverläufe zeigt, dass entsprechend des experimentell beobachteten Verhaltens im ungerissenen Körper (bis  $\Delta u = 0,4$  mm) zunächst nur sehr geringe Spannungen auftreten. Mit eintretender Rissbildung steigen die Spannungen der Bewehrungen in den Modellen beider Versuchskörper deutlich stärker an, wobei die Spannungszuwächse der unterschiedlichen Bewehrungslagen untereinander differieren. Die Spannungszuwächse in dem Modell des hochbewehrten Versuchskörpers Nr. 52 sind - wie im Versuch beobachtet - beschränkt, die maximalen Spannungen bei Erreichen der rechnerischen Grenztragfähigkeit  $F_{u,calc}$  weisen in allen Lagen einen großen Abstand zur Fließgrenze des Betonstahls auf.

Im Modell des gering bewehrten Versuchskörpers Nr. 11 steigen die Spannungen in den Spaltzugbewehrungen hingegen nach eingetretener Rissbildung stark an. Bei Erreichen der rechnerischen Grenztragfähigkeit  $F_{u,calc}$  liegen die ermittelten Spannungen nahe der Fließgrenze. Bei weiterer Steigerung des aufgebracht Weges wird die Streckgrenze in den Bewehrungen der Lagen 1 und 2 schnell überschritten.



**Bild 6-30: Modelle Versuchskörper Nr. 11 und 52 – Betonstahlspannungen**

Die Verläufe der Hauptdruckspannungen zeigen wie erwartet hohe Spannungskonzentrationen im Bereich der unmittelbaren Lasteinleitung, die sich mit zunehmendem Abstand abbauen. Eine Spannungsspitze entsteht in allen Fällen am Rand der belasteten Elemente, da hier eine modellbedingte Singularität vorliegt. In diesem Bereich treten daher höhere Dehnungen in Belastungsrichtung auf, die bei der Vorgabe einheitlicher Knotenverschiebungen zu einer Lastverringering führen.



**Bild 6-31: Rechnerische Spannungen auf der belasteten Linie; Lastplatteneinsenkung (exemplarisch) [Wur-1983]**

Die Verteilung der Spannungen auf der Lastlinie ist daher bei Erreichen der Grenztragfähigkeit annähernd gleichmäßig mit einer wenig ausgeprägten Spannungsspitze am Lastrand. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Ergebnisse weitgehend den

## 6 Nichtlineare numerische Untersuchungen teilflächenbelasteter Körper

Zuständen in den Versuchen entsprechen, bei denen massive Stahlplatten zur Lasteinleitung genutzt wurden (siehe Bild 6-31).

### 6.6.3 Numerische Berechnung ausgewählter Versuchskörperprismen zum räumlichen Fall der Teilflächenbelastung

Die Kalibrierung und Verifizierung des numerischen Modell für den räumlichen Fall erfolgt anhand der Versuchskörperprismen (VK) Nr. 3, 32, 33 und 38 aus [Wur-1977], für die Ergebnisse aus Querdehnungsmessungen vorliegen. Die betrachteten Versuchskörper wurden zentrisch mit einer Lastkonzentration von  $m = 4$  belastet und wiesen unterschiedliche Bewehrungsgrade auf.

Die Versuchskörper (VK) können wie folgt charakterisiert werden:

- VK Nr. 3: unbewehrter Versuchskörper, Versagen durch Betonzugfestigkeit bestimmt
- VK Nr. 38: Versuchskörper mit geringem Bewehrungsgrad, Versagen durch Betonzugfestigkeit und Bewehrung sowie Bruchpyramidenbildung bestimmt
- VK Nr. 33: Versuchskörper mit mittlerem Bewehrungsgrad, Versagen durch Bewehrung sowie Bruchpyramidenbildung bestimmt
- VK Nr. 32: Versuchskörper mit hohem Bewehrungsgrad, Versagen durch Bruchpyramidenbildung bzw. Betondruckversagen im unmittelbaren Einleitungsbereich bestimmt

Die maßgebenden Versuchsparameter, Betonkennwerte und die im Versuch ertragenen Höchstlasten sind in Tabelle 6-4 zusammengestellt, Angaben zur eingesetzten Spaltzugbewehrung sind in Tabelle 6-5 enthalten.

**Tabelle 6-4: Versuchsparameter, Materialkennwerte Beton und Versuchsergebnisse der Versuchskörper Nr. 3, 38, 33 und 32 [Wur-1977]**

| VK Nr. | $A_{c1}/A_{c0}$ | $f_{cm,cyl}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $F_u$<br>[kN] | $q_{1u}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------|----------------------------------|
| 3      | 4               | 27,5                                 | 2,6                               | 902           | 40,1                             |
| 38     | 4               | 30,2                                 | 2,8                               | 1569          | 69,7                             |
| 33     | 4               | 27,3                                 | 2,2                               | 1942          | 86,3                             |
| 32     | 4               | 27,3                                 | 2,2                               | 1952          | 86,7                             |

Tabelle 6-5: Anordnung der Spaltzugbewehrung und Materialkennwerte des Betonstahls der Versuchskörper Nr. 3, 38, 33 und 32 [Wur-1977]

| VK Nr. | $d_{s,w}$<br>[mm] | $l_w$     | $a_w$<br>[cm] | $A_{s,ges}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $\rho_{1d}$<br>[%] | $f_y$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_u$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|-------------------|-----------|---------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 3      | -                 | unbewehrt | -             | -                                 | -                  | -                             | -                             |
| 38     | Ø8                | 18        | 5             | 5,0                               | 0,56               | 292                           | 450                           |
| 33     | Ø12               | 18        | 5             | 9,6                               | 1,07               | 249                           | 351                           |
| 32     | Ø16               | 18        | 5             | 17,7                              | 1,97               | 260                           | 385                           |

Zur numerischen Untersuchung der Versuchskörper kommen Viertel-Modelle (vgl. Bild 6-2) zur Anwendung. Der wendelartige Bewehrungsverlauf wird durch ebene Viertelkreisbögen angenähert, die Lastaufbringung erfolgt durch Knotenverschiebung der Lastfläche. Bild 6-32 zeigt die untersuchten Modelle im Überblick.

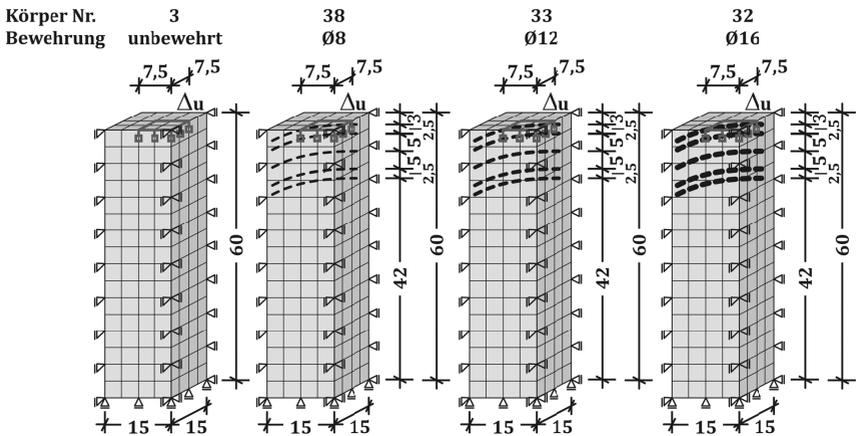


Bild 6-32: Modell der Versuchskörperprismen Nr. 3, 38, 33 und 32 von WURM / DASCHNER

Alle angesetzten Materialparameter und Arbeitslinien sind im Anhang G detailliert aufgeführt.

Für die Auswertung werden die Beziehungen Kraft  $F$  – aufgebrachter Weg  $\Delta u$  sowie die Querdehnungs- und Risszustände bei Erreichen der Grenztragfähigkeit betrachtet. Die mittleren Querdehnungen der Körper  $\varepsilon_{lat,m}$  werden wie in den Versuchen aus den Verformungen zwischen zwei gegenüberliegenden Seitenmittelpunkten bestimmt und für unterschiedliche Abstände zur belasteten Oberfläche ausgewertet. Die nachfolgenden Bilder enthalten die maßgebenden Berechnungsergebnisse sowie zum Vergleich die entsprechenden Messwerte der Versuche.

Ergebnisse Modell Versuchskörperprisma Nr. 3 (unbewehrt)

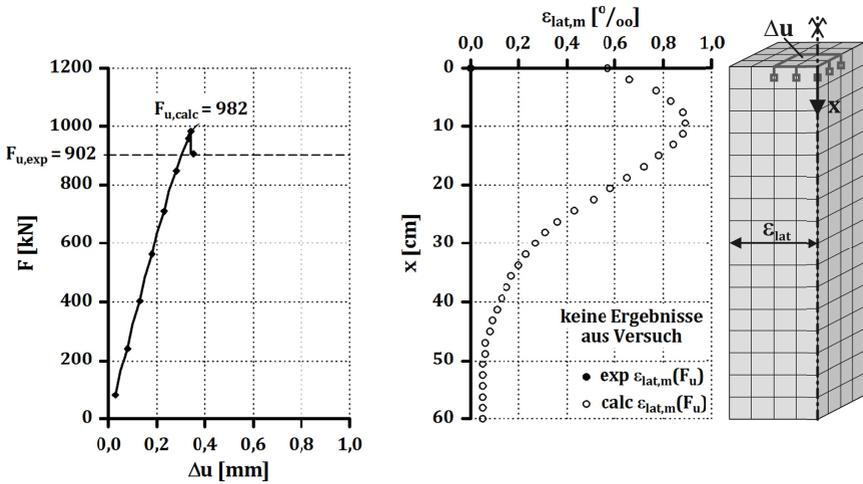


Bild 6-33: Modell Versuchskörper Nr. 3 – Kraft-Weg-Beziehung (links) und gemittelte Querdehnungen (rechts)

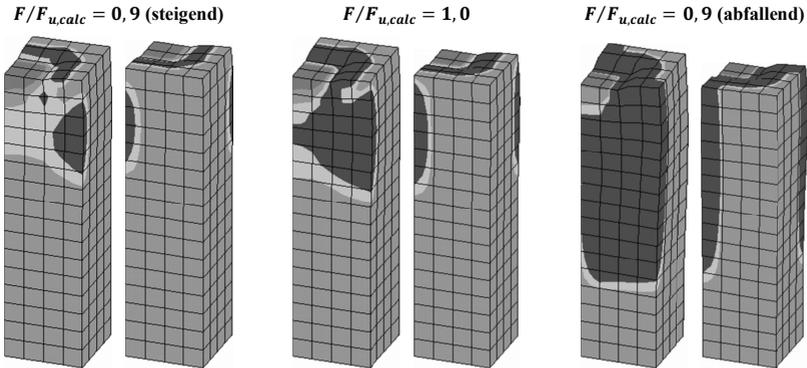


Bild 6-34: Modell Versuchskörper Nr. 3 – Verformungs- und Rissverhalten (100-fache Überhöhung) (jeweils aus zwei Perspektiven, dunkel markierte Bereiche gerissen)

Ergebnisse Modell Versuchskörperprisma Nr. 38 (geringer Bewehrungsgrad)

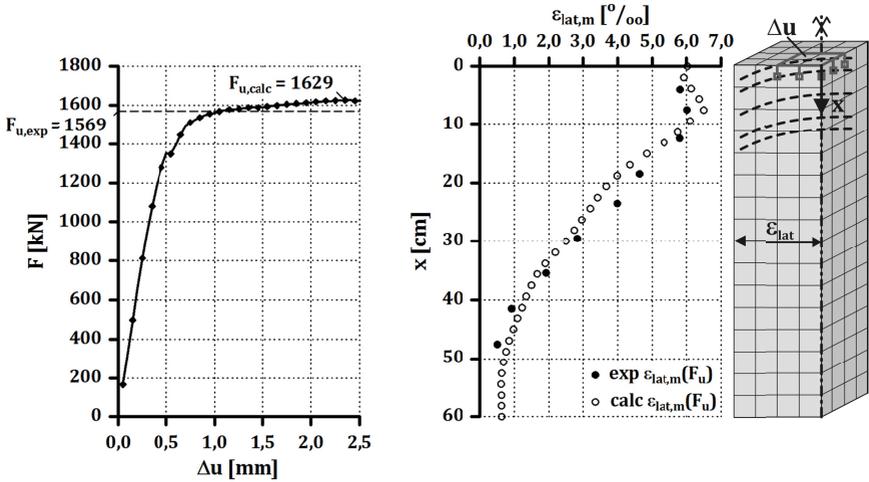


Bild 6-35: Modell Versuchskörper Nr. 38 – Kraft-Weg-Beziehung (links) und gemittelte Querdehnungen (rechts)

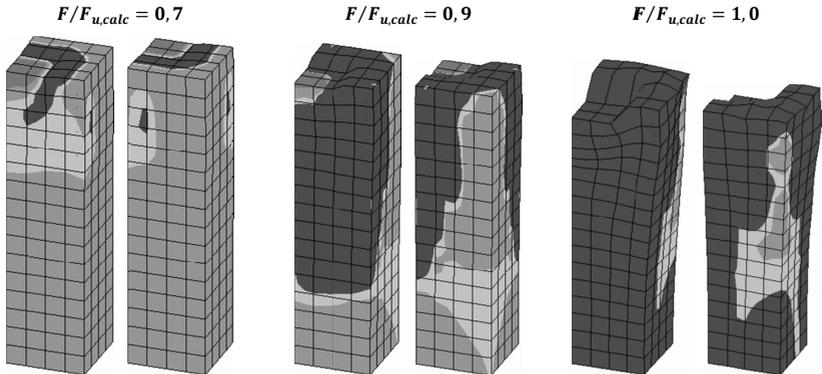


Bild 6-36: Modell Versuchskörper Nr. 38 – Verformungs- und Rissverhalten (40-fache Überhöhung) (jeweils aus zwei Perspektiven, dunkel markierte Bereiche gerissen)

Ergebnisse Modell Versuchskörperprisma Nr. 33 (mittlerer Bewehrungsgrad)

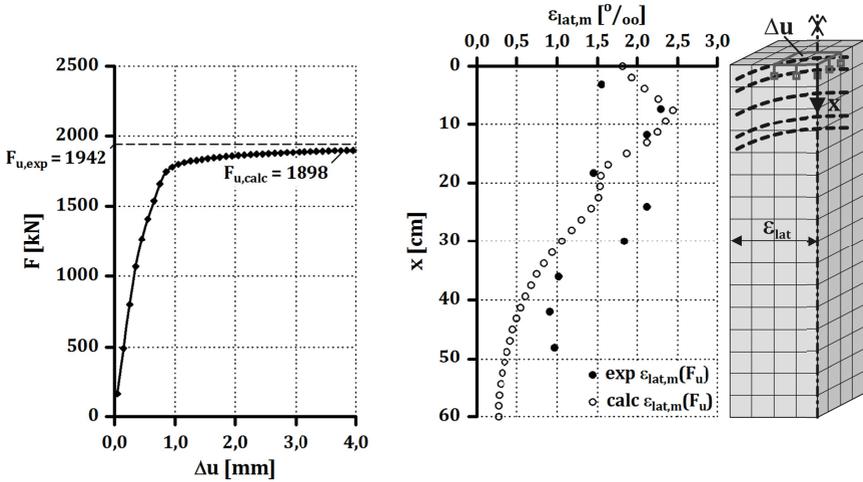


Bild 6-37: Modell Versuchskörper Nr. 33 – Kraft-Weg-Beziehung (links) und gemittelte Querdehnungen (rechts)

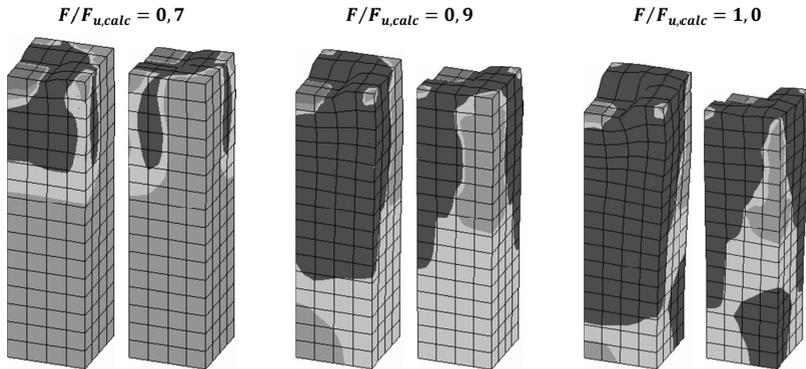


Bild 6-38: Modell Versuchskörper Nr. 33 – Verformungs- und Rissverhalten (40-fache Überhöhung) (jeweils aus zwei Perspektiven, dunkel markierte Bereiche gerissen)

Ergebnisse Modell Versuchskörperprisma Nr. 32 (hoher Bewehrungsgrad)

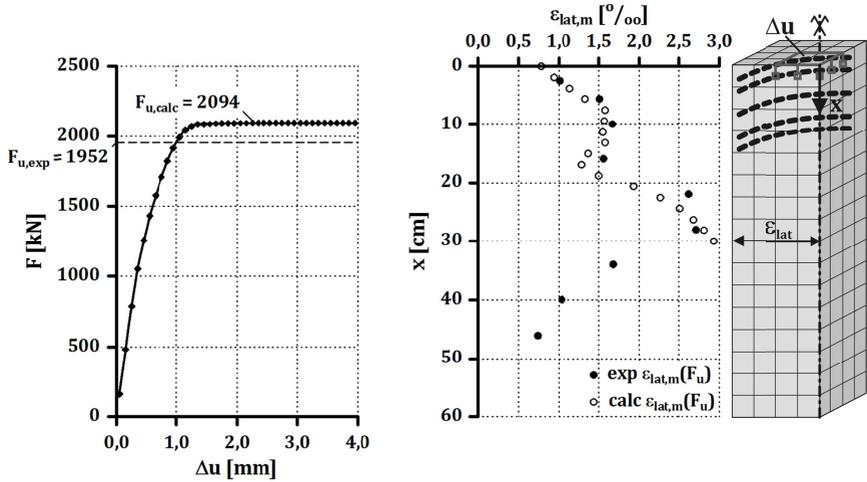


Bild 6-39: Modell Versuchskörper Nr. 32 – Kraft-Weg-Beziehung (links) und gemittelte Querdehnungen (rechts)

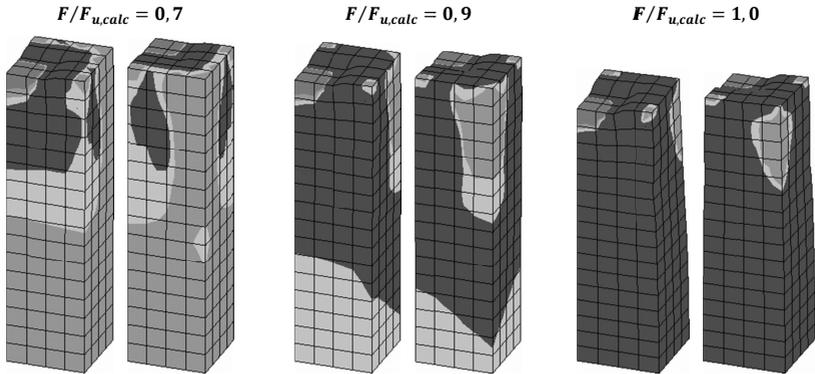


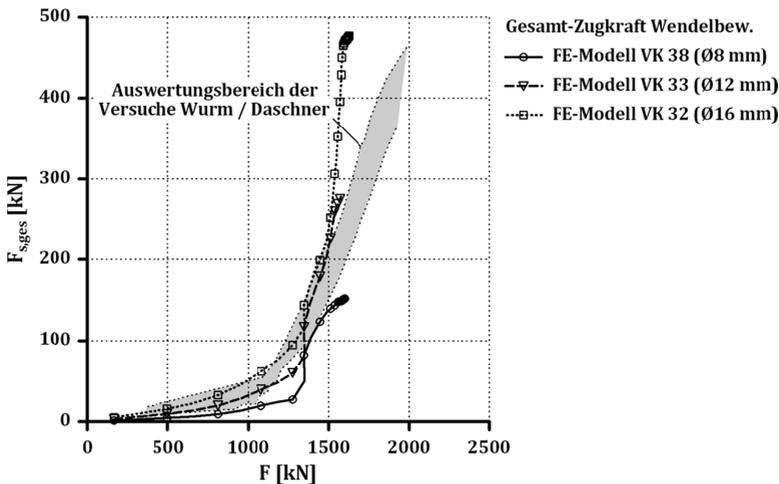
Bild 6-40: Modell Versuchskörper Nr. 32 – Verformungs- und Rissverhalten (40-fache Überhöhung) (jeweils aus zwei Perspektiven, dunkel markierte Bereiche gerissen)

## 6 Nichtlineare numerische Untersuchungen teillächenbelasteter Körper

Die Berechnungsergebnisse stimmen mit den experimentell ermittelten Werten der maximal ertragbaren Kraft  $F_u$  sowie der gemittelten Querdehnungen des Bauteils  $\varepsilon_{lat,m}$  sehr gut überein.

Die Größe und Lage der gerissenen Bereiche in den Modellen entspricht den Versuchsbeobachtungen. Die Rissbildung stellt sich wie bei den experimentellen Untersuchungen zunächst im Bereich um die Lastfläche ein. Mit steigender Belastung bilden sich im Körperinneren infolge der Spaltzugbeanspruchungen Risse parallel zur eingeleiteten Kraft aus, die bis an die Seitenflächen verlaufen. Bei Erreichen der Grenztragfähigkeit dehnt sich die Rissbildung schließlich auf die gesamte Körperhöhe aus.

WURM/DASCHNER ermittelten aus gemessenen Querverformungen rechnerisch die beanspruchungsabhängige Gesamt-Zugkraft in den Wendelbewehrungen unterschiedlicher Versuchskörper (vgl. Bild 2-20, S. 21). Bild 6-41 zeigt die Auswertung der in den FE-Modellen auftretenden Gesamt-Zugkräfte im Vergleich.



**Bild 6-41:** Gesamt-Zugkraft in der Wendelbewehrung  $F_{s,ges}$

Die mit den FE-Berechnungen ermittelten Verläufe weisen eine gute Übereinstimmung mit dem Auswertungsbereich der Versuche von WURM/DASCHNER auf. Die Ergebnisse bestätigen damit die Eignung der genutzten Berechnungsansätze zur realitätsnahen Bestimmung der Zugkräfte in den Spaltzugbewehrungen sowie der bewehrungsbeeinflussten Grenztragfähigkeit auch für den räumlichen Fall.

### 6.7 Schlussfolgerung zur Modellierung

Bei numerischen Untersuchungen teilflächenbelasteter Bauteile müssen im Rahmen der Modellbildung die auftretenden mehraxialen Spannungszustände, die Wirkungsweise der Spaltzugbewehrung und die Tragmechanismen im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich berücksichtigt werden, um eine realitätsnahe Abbildung des Trag- und Verformungsverhaltens zu erreichen.

Die hierzu vorgestellten Ansätze zur Abbildung des Betonverhaltens sind für Untersuchungen teilflächenbelasteter Bauteile aus Normalbeton geeignet, können durch Variation der bestimmenden Parameter aber auch an abweichende Betoneigenschaften angepasst werden. Mit der genutzten diskreten Abbildung der Spaltzugbewehrungen ist die Berücksichtigung der Bewehrungsanordnung im Bauteil möglich und es können zudem unterschiedliche Bewehrungsformen wie Wendeln oder Bügel betrachtet werden. Zur Modellierung des Tragverhaltens im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich wird eine einheitliche Elementierung in Kombination mit einer angepassten Betonarbeitslinie gewählt, mit der die Auswirkungen von plastischen Bruchmechanismen auch in kontinuierlichen Finite-Elemente-Modellen erfasst werden können.

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Messwerten der Versuche von WURM / DASCHNER zeigt eine sehr gute Übereinstimmung und bestätigt damit, dass das Trag- und Verformungsverhalten mit den entwickelten Modellen realitätsnah rechnerisch nachvollzogen werden kann. Die verwendete Modellabbildung zeigt in Kombination mit den vorgestellten Ansätzen eine sehr gute Eignung für weitere Analysen zentrisch teilflächenbelasteter Scheiben sowie Prismen und wird daher im Folgenden für Untersuchungen zur konstruktiven Durchbildung verwendet.

---

## **7 Untersuchungen zur konstruktiven Durchbildung**

### **7.1 Grundlagen**

#### **7.1.1 Bedeutung der konstruktiven Durchbildung**

In der Vergangenheit durchgeführte theoretische Analysen und experimentelle Untersuchungen zur konstruktiven Durchbildung von teilflächenbelasteten Bauteilen führten zu unterschiedlichen Ausführungsempfehlungen (vgl. Tabelle 2-2, S. 39). Diese enthalten sowohl hinsichtlich der Größe und Lage des bewehrten Bereichs sowie der Bewehrungsaufteilung teilweise stark abweichende Angaben, die bisher nicht vergleichend bewertet wurden.

Aus den Ergebnissen der in Kapitel 5.4 vorgestellten Berechnungen wird deutlich, dass sich die auftretenden Tragmechanismen und resultierenden Spaltzugbeanspruchungen entsprechend der Steifigkeitszustände und Verformungen des belasteten Körpers einstellen. Diese Parameter sind jedoch wiederum stark von der konstruktiven Durchbildung abhängig. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass unterschiedliche Ausbildungen der Kräfteinleitungsbereiche zu Abweichungen beim Trag- und Verformungsverhalten teilflächenbelasteter Körper führen.

Mit der zielgerichteten Wahl der konstruktiven Durchbildung ergibt sich die Möglichkeit einer begrenzten Steuerung der Steifigkeitszustände und Körperversformungen. Auf diese Weise lässt sich das Bauteilverhalten so beeinflussen, dass die Spaltzugbewehrung bei Erreichen der Grenztragfähigkeit vollständig ausgenutzt, ungleichmäßige Spaltrissaufweitungen verhindert und die einleitbaren Druckkräfte maximiert werden. Die folgenden Untersuchungen haben das Ziel, eine geeignete konstruktive Durchbildung für zentrisch teilflächenbelastete Bauteile zu finden. Die Analysen behandeln dabei ausschließlich Bewehrungen, die bis an die lastparallelen Außenseiten der Bauteile geführt und dort verankert bzw. umgelenkt werden.

#### **7.1.2 Bewertungskriterien**

Zur Bewertung unterschiedlicher konstruktiver Durchbildungen wird neben der Anordnung der Spaltzugbewehrung zusätzlich der Bewehrungsgrad der untersuchten Körper variiert, da die Eignung der konstruktiven Durchbildung auch von der absoluten Höhe der Spaltzugbeanspruchungen abhängig sein kann.

Die Beurteilung verschiedener Varianten der Anordnung von Spaltzugbewehrungen erfolgt anhand folgender drei Kriterien (siehe auch Bild 7-1):

1. Maximal ertragbare Lastflächenspannung  $q_{1u}$  bei Erreichen der Grenztragfähigkeit
2. Verteilung der Dehnungen in den verschiedenen Bewehrungslagen, beschrieben durch den Parameter

$$\delta = \frac{\overline{\varepsilon_{s,i}}}{\max \varepsilon_{s,i}} \quad \text{Gl. 7-1}$$

Der Parameter  $\delta$  berechnet sich aus dem Verhältnis des Mittelwerts der Dehnungen in den Bewehrungslagen  $\overline{\varepsilon_{s,i}}$  und der maximalen Dehnung  $\max \varepsilon_{s,i}$ . Bei  $\delta = 1$  liegen in allen Bewehrungslagen gleiche Dehnungen und damit eine ausgewogene Auslastung vor. Bei einer ungleichmäßigen Verteilung der Dehnungen in den Bewehrungslagen ergibt sich  $0 \leq \delta \leq 1$ .

3. Bezogene Summe der Kräfte in den Spaltzugbewehrungen, beschrieben durch den Parameter

$$\kappa_F = \frac{\sum F_{s,i}}{Z_{sp,Mörsch}} \quad \text{Gl. 7-2}$$

Der Parameter  $\kappa_F$  gibt das Verhältnis der aus den ermittelten Bewehrungszugkräften  $F_{s,i}$  aufsummierten Gesamtzugkraft zur rechnerischen Spaltzugkraft nach MÖRSCH  $Z_{sp,Mörsch}$  (Gl. 2-1) an.  $\kappa_F = 1$  bedeutet, dass die ermittelte Gesamtzugkraft derjenigen nach Ansatz von MÖRSCH entspricht,  $\kappa_F < 1$  zeigt eine im Vergleich geringere,  $\kappa_F > 1$  eine höhere Gesamtzugkraft an.

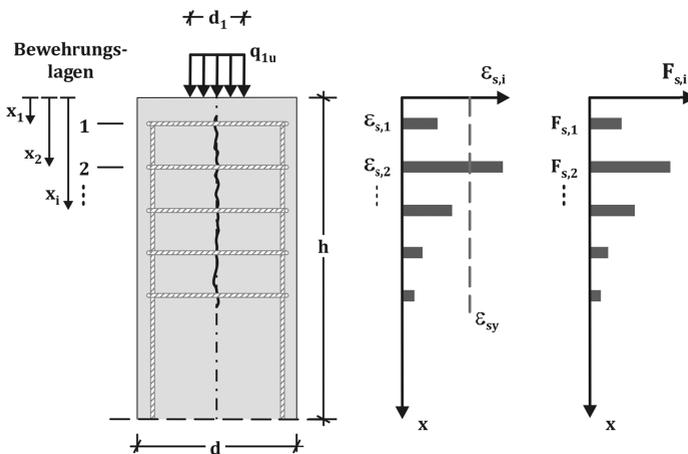


Bild 7-1: Parameter zur Charakterisierung der konstruktiven Durchbildung

Die Ausprägungen der Bewertungskriterien bei einer „optimalen“ konstruktiven Durchbildung können damit quantitativ festgelegt und in der Analyse als „Zielgrößen“ herangezogen werden:

- maximal ertragbare Lastflächenspannung bzw. Grenztragfähigkeit
$$q_{1u} = \textit{maximal} \quad \text{Gl. 7-3}$$
- gleichmäßige Dehnungsverteilung in den Bewehrungslagen
$$\delta = 1 \quad \text{Gl. 7-4}$$
- geringe Zugkräfte in den Bewehrungen
$$\kappa_F = \begin{cases} \textit{minimal} \\ < 1 \end{cases} \quad \text{Gl. 7-5}$$

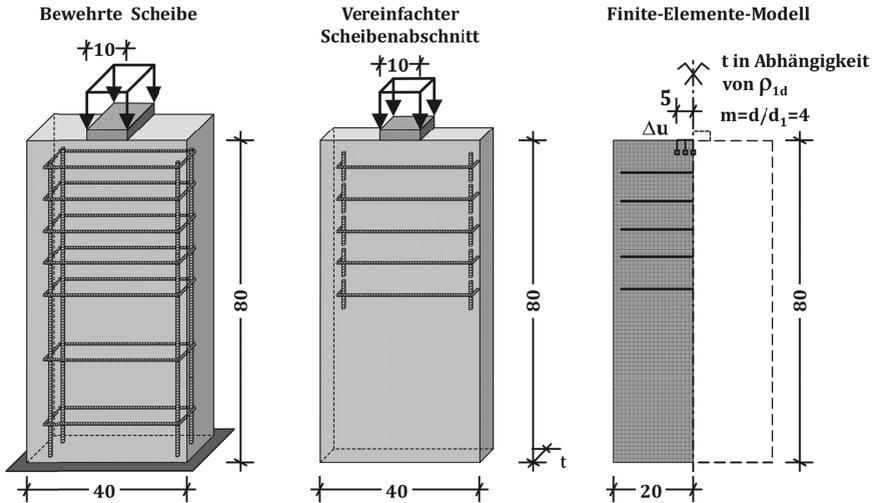
### 7.2 Parameterstudie zur konstruktiven Durchbildung

#### 7.2.1 Modell und berechnete Varianten

Mit Hilfe der in Kapitel 6 entwickelten numerischen Modelle können zentrisch teilflächenbelastete Bauteile mit unterschiedlichen konstruktiven Durchbildungen numerisch realitätsnah analysiert und die Eignung der Bewehrungsanordnungen anhand der erläuterten Kriterien beurteilt werden.

Die vorgestellten Empfehlungen zur konstruktiven Durchbildung basieren überwiegend auf Untersuchungen zum ebenen Fall. Daher werden im Rahmen einer Parameterstudie zunächst Berechnungen zum ebenen Fall vorgenommen. Anschließend erfolgt die Überprüfung der gewonnenen Erkenntnisse auch für räumliche Fälle.

Für die Parameterstudie werden Scheibenmodelle in Anlehnung an die in Kapitel 6.6 vorgestellten Versuchskörper von WURM / DASCHNER mit Abmessungen von  $d/h = 40/80$  cm und einer Lastkonzentration von  $m = 4$  genutzt. Die Berechnungen erfolgen auf Grundlage der Mittelwerte der Materialeigenschaften, da das Trag- und Verformungsverhalten realitätsnah abgebildet werden soll. Die Materialarbeitslinien werden entsprechend den Angaben in DIN 1045-1 [DIN-2008] und Eurocode 2 [EC-2008] [EC-2010] für einen Beton der Druckfestigkeitsklasse C30/37 sowie den Betonstahl B500 gewählt. Die Berechnungen erfolgen an ebenen Finite-Elemente-Modellen bestimmter Tiefe  $t$ , die scheibenförmige Abschnitte des realen Körpers darstellen (Bild 7-2).



**Bild 7-2: Modellbildung im Rahmen der numerischen Untersuchung**

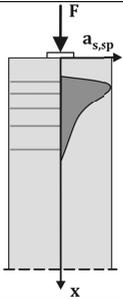
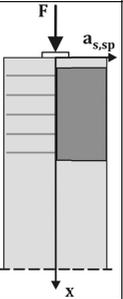
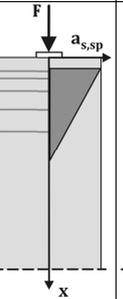
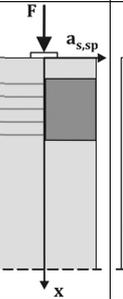
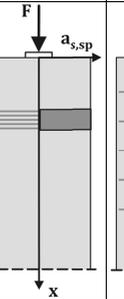
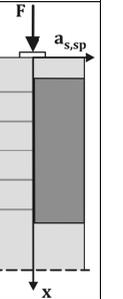
Für die numerischen Untersuchungen werden die in Kapitel 2.5 zusammengestellten Empfehlungen zur konstruktiven Durchbildung in Gruppen zusammengefasst:

- Gruppe 1 „linear-elastisch“  
ungleichmäßige Bewehrungsverteilung im ST. VENANT'schen Einleitungsbereich in Anlehnung an die Zugspannungsverteilung im ungerissenen Zustand (hier entsprechend Spannungszustand bei  $m = 4$ )
- Gruppe 2 „gleichmäßig“  
gleichmäßige Bewehrungsverteilung im ST. VENANT'schen Einleitungsbereich von  $x/d = 0,1 \div 1,0$
- Gruppe 3 „gestuft“ (Ansatz DAfStb-Heft 240)  
linear abgestufte Bewehrungsverteilung im ST. VENANT'schen Einleitungsbereich von  $x/d = 0,1 \div 1,0$  mit Bewehrungsschwerpunkt bei  $x/d = 0,4$
- Gruppe 4 „breites Zugband“ (Ansatz SCHLAICH / SCHÄFER)  
gleichmäßige Bewehrungsverteilung auf einer Breite von  $x/d = 0,6$  mit Bewehrungsschwerpunkt bei  $x/d = 0,5$
- Gruppe 5 „konzentriertes Zugband“ (Ansatz RÜSCH)  
gleichmäßige Bewehrungsverteilung auf einer Breite von  $x/d = 0,2$  mit Bewehrungsschwerpunkt bei  $x/d = 0,6$
- Gruppe 6 „weit verteilt“ (Ansatz FOSTER / ROGOWSKI)  
gleichmäßige Bewehrungsverteilung auf einer Breite von  $x/d = 1,4$  mit Bewehrungsschwerpunkt bei  $x/d = 0,9$

## 7 Untersuchungen zur konstruktiven Durchbildung

In den Berechnungen werden einheitlich fünf Bewehrungslagen sowie ein Stabdurchmesser der Spaltzugbewehrung von  $d_s = 10$  mm angenommen, da diese Kombination für die untersuchten Körperabmessungen als realistische Bewehrungsausbildung eingeschätzt wird. Zur Variation der untersuchten Bewehrungsgrade erfolgt eine entsprechende Festlegung der Modelltiefe  $t$  (vgl. Bild 7-2) auf Grundlage der in allen Modellen identischen Gesamt-Bewehrungsfläche von  $A_{s,ges} = 3,93 \text{ cm}^2$  (aus 5Ø10). Tabelle 7-1 gibt einen Überblick über die numerisch untersuchten konstruktiven Durchbildungen.

**Tabelle 7-1: Numerisch untersuchte konstruktive Durchbildungen**

| Gruppe        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|---------------|---|---|---|---|---|---|
|               | linear-elastisch  | gleichmäßig   | gestuft   | breites Zugband   | konzentr. Zugband   | weit verteilt   |
| $x_{B,a}/d$   | 0,16  | 0,10  | 0,10  | 0,20  | 0,50  | 0,20  |
| $x_{B,e}/d$   | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 0,80  | 0,70  | 1,60  |
| $x_{B,s}/d$   | 0,51  | 0,55  | 0,40  | 0,50  | 0,60  | 0,90  |
| Bew.-Lage     |  |  |  |  |  |  |
| $x_{B1}$ [cm] | 10  | 8   | 6   | 10  | 21  | 14  |
| $x_{B2}$ [cm] | 15  | 15  | 10  | 15  | 22  | 25  |
| $x_{B3}$ [cm] | 19  | 22  | 15  | 20  | 24  | 36  |
| $x_{B4}$ [cm] | 24  | 29  | 20  | 25  | 26  | 47  |
| $x_{B5}$ [cm] | 33  | 36  | 29  | 30  | 27  | 58  |

$x_{B,a}/d \div x_{B,e}/d$

$x_{B,s}/d$

$x_{Bi}$

Anfang bzw. Ende des bewehrten Bereichs

Schwerpunktlage Bewehrung

Abstand der Spaltzugbewehrung der Lage  $i$  vom belasteten Rand

Nach den Analysen in Kapitel 4.2.2 (S. 64 ff.) beträgt der Mindestbewehrungsgrad zur Vermeidung eines spröden Bauteilverhaltens nach der Rissbildung für die betrachteten Körper der Betondruckfestigkeitsklasse C30/37  $\min \rho_{1d} = 0,29 \%$ . Experimentelle Untersuchungen von WURM / DASCHNER [Wur-1983] und IBELL [Ibe-1993] zeigen, dass die Tragfähigkeit teilflächenbelasteter Scheiben durch zusätzliche Spaltzugbewehrung nur begrenzt gesteigert werden kann, da es bei hohen Bewehrungsgraden zu einem

Betonversagen unterhalb der Lastfläche in Dickenrichtung des Bauteils kommt. Beobachtete „Maximalbewehrungsgrade“ liegen bei  $\rho_{1d} \approx 1,00 \%$ .

Da die an ebenen Modellen durchgeführten numerischen Untersuchungen dieses Versagen bei sehr stark bewehrten Bauteilen nicht abbilden können, werden Körper mit Bewehrungsgraden von  $\rho_{1d} = 0,29 \%$ ;  $0,50 \%$ ;  $0,75 \%$ ;  $1,00 \%$  untersucht, für die ein Betonversagen in Dickenrichtung weitgehend ausgeschlossen werden kann.

Bei den Körpern der Gruppe 6 wird zur einheitlichen Bewertung der Ergebnisse der Gesamt-Bewehrungsgehalt der übrigen Körper übernommen. Hierdurch ergeben sich aufgrund der Bewehrungsaufteilung über  $x/d = 1,0$  hinaus geringere Bewehrungsgrade  $\rho_{1d} = 0,18 \%$ ;  $0,30 \%$ ;  $0,45 \%$ ;  $0,60 \%$  (vgl. zusätzliche Klammerangaben in der Ergebnisdarstellung).

Mit diesen Annahmen berechnen sich auf Basis der konstanten Bewehrungsvorgaben die Tiefen  $t$  der vier Modelle, die für jede Gruppe der Bewehrungsausbildung untersucht werden:

$$\rho_{1d} = 0,29 \% \rightarrow t_1 = \frac{A_{s,sp}}{d \cdot \rho_{1d}} = \frac{3,93}{40 \cdot 0,29 \%} = 33,9 \text{ cm} \quad \text{Gl. 7-6}$$

$$\rho_{1d} = 0,50 \% \rightarrow t_2 = \frac{A_{s,sp}}{d \cdot \rho_{1d}} = \frac{3,93}{40 \cdot 0,50 \%} = 19,7 \text{ cm} \quad \text{Gl. 7-7}$$

$$\rho_{1d} = 0,75 \% \rightarrow t_3 = \frac{A_{s,sp}}{d \cdot \rho_{1d}} = \frac{3,93}{40 \cdot 0,75 \%} = 13,1 \text{ cm} \quad \text{Gl. 7-8}$$

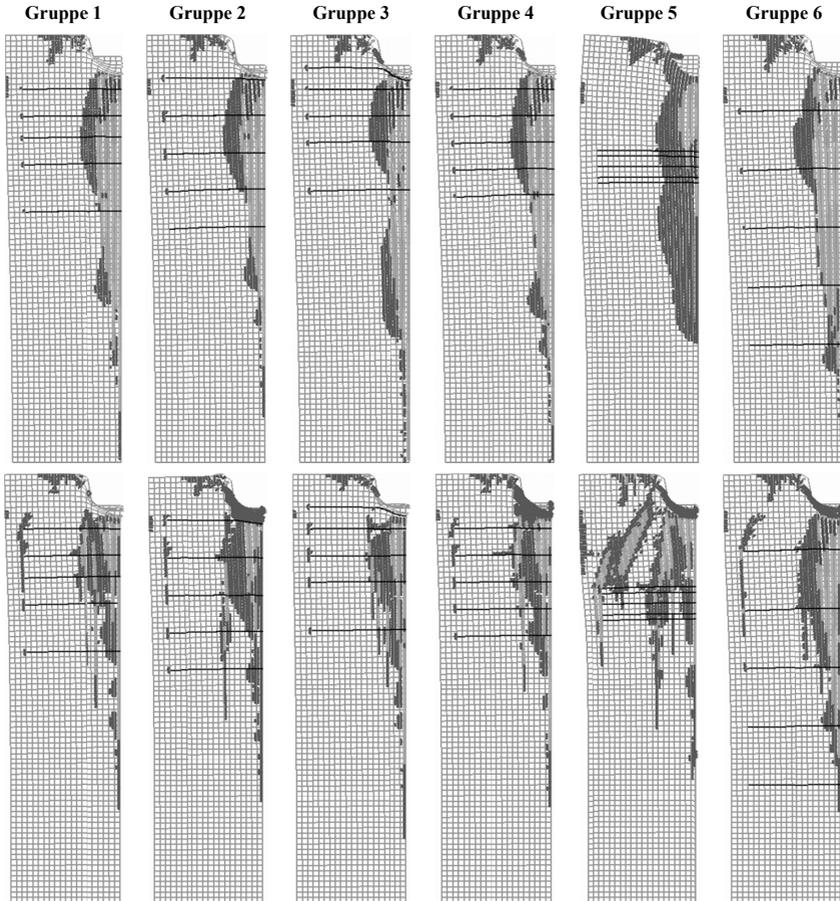
$$\rho_{1d} = 1,00 \% \rightarrow t_4 = \frac{A_{s,sp}}{d \cdot \rho_{1d}} = \frac{3,93}{40 \cdot 1,00 \%} = 9,8 \text{ cm} \quad \text{Gl. 7-9}$$

Die berechneten Modelle bilden damit anschaulich Körper mit den Bewehrungsausbildungen  $\emptyset 10/34$  cm,  $\emptyset 10/20$  cm,  $\emptyset 10/13$  cm und  $\emptyset 10/10$  cm in Tiefenrichtung des Bauteils ab. Die Benennung der Modelle erfolgt nach dem Muster „Gruppe der Bewehrungsanordnung“ – „Bewehrungsgrad“, z. B. 1 – 0,29 %.

7.2.2 Ergebnisse der Parameterstudie und Analyse

7.2.2.1 Verformungs- und Rissverhalten

In Bild 7-3 sind die Verformungen und Rissbildungen der Modelle mit minimal und maximal berechnetem Bewehrungsgrad bei Erreichen der Grenztragfähigkeit abgebildet.



**Bild 7-3: Modelle der Gruppen 1 bis 6 – Verformung und Rissbildung bei Erreichen der Grenztragfähigkeit (25-fache Überhöhung), Modelle mit  $\rho_{1d} = 0,29\%$  (0,18 %) (oben); Modelle mit  $\rho_{1d} = 1,00\%$  (0,60 %) (unten)**

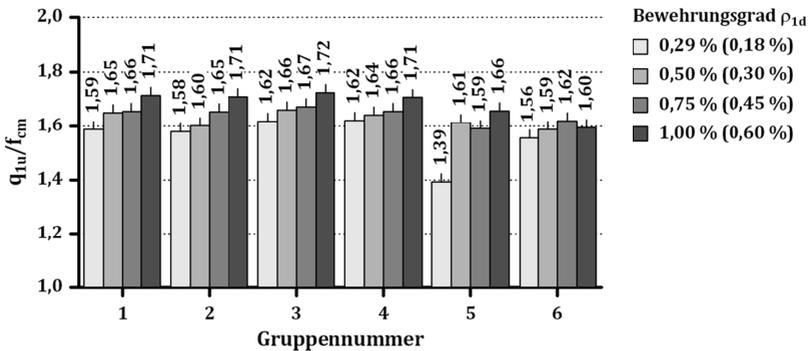
Die Modelle der Gruppen 1 bis 4 zeigen hierbei nur geringe Unterschiede. Aufgrund der lokalen Konzentration der Bewehrung in der Gruppe 5 ergeben sich bei diesen

Modellen besonders starke Rissbildungen in den unbewehrten Bereichen ober- und unterhalb des Zugbands. In den Modellen der Gruppe 6 (weit verteilt) liegen aufgrund der Anordnung der Bewehrung im Vergleich zu den Modellen der Gruppe 1 bis 4 nahe an der Lasteinleitung nur geringe Bewehrungsanteile vor. Die tiefliegenden Bewehrungslagen werden nicht vollständig aktiviert, so dass starke Rissbildungen im Bereich nahe der Lasteinleitung auftreten.

Hinsichtlich des Verformungs- und Rissverhaltens zeigen die Bewehrungsvarianten der Gruppen 1 bis 4 die beste Eignung.

### 7.2.2.2 Ertragbare Lastflächenspannung

Bild 7-4 zeigt die zu den unterschiedlichen Modellen berechneten Lastflächenspannungen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit  $q_{1u}/f_{cm}$ .



**Bild 7-4: Modelle der Gruppen 1 bis 6 – Lastflächenspannung  $q_{1u}/f_{cm}$**

Der Vergleich der ertragbaren Lastflächenspannungen  $q_{1u}/f_{cm}$  in Bild 7-4 zeigt, dass bei identischem Bewehrungsgrad rechnerisch nur geringe Unterschiede der Grenztragfähigkeiten auftreten. In Tabelle 7-2 sind die Lastflächenspannungen  $q_{1u}/f_{cm}$  vergleichend zusammengestellt.

**Tabelle 7-2: Modelle der Gruppen 1 bis 6 – Lastflächenspannungen  $q_{1u}/f_{cm}$**

| Lastflächenspannungen $q_{1u}/f_{cm}$ |                        | Bewehrungsgrad $\rho_{1d}$ |                 |                 |                 |
|---------------------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Gruppe                                | Aufteilungsart         | 0,29 % (0,18 %)            | 0,50 % (0,30 %) | 0,75 % (0,45 %) | 1,00 % (0,60 %) |
| 1                                     | linear-elastisch       | 1,59 (100 %)               | 1,65 (102 %)    | 1,66 (104 %)    | 1,71 (108 %)    |
| 2                                     | gleichmäßig            | 1,58 (100 %)               | 1,60 (101 %)    | 1,65 (104 %)    | 1,71 (108 %)    |
| 3                                     | gestuft                | 1,62 (100 %)               | 1,66 (102 %)    | 1,67 (103 %)    | 1,72 (106 %)    |
| 4                                     | breites Zugband        | 1,62 (100 %)               | 1,64 (101 %)    | 1,66 (102 %)    | 1,71 (106 %)    |
| 5                                     | konzentriertes Zugband | 1,39 (100 %)*)             | 1,61 (116 %)    | 1,59 (114 %)    | 1,66 (119 %)    |
| 6                                     | weit verteilt          | 1,56 (100 %)               | 1,59 (102 %)    | 1,62 (104 %)    | 1,60 (103 %)    |

\*) Abbruch der Berechnung

Bei den mit Mindestspaltzugbewehrung versehenen Modellen wird im Mittel eine Lastflächenspannung von  $q_{1u}/f_{cm} = 1,59$  erreicht. Die höchsten Werte erzielen die Bewehrungsanordnungen der Gruppe 3 (gestuft) und 4 (breites Zugband). Die entsprechende Berechnung des Modells 5 (konzentriertes Zugband) mit  $\rho_{1d} = 0,18\%$  bricht auf niedrigem Lastniveau infolge einer ausgeprägten Rissbildung oberhalb des konzentriert bewehrten Bereichs ab. Bei Steigerung des Bewehrungsgrads sind auch bei dieser Bewehrungsanordnung höhere Grenztragfähigkeiten erreichbar. Die schwach ausgelegte, konzentrierte Bewehrung ist daher rechnerisch offensichtlich nicht in der Lage, die Rissbildung der benachbarten, unbewehrten Bereiche wirksam zu begrenzen.

Mit steigenden Bewehrungsgraden nehmen auch die ertragbaren Lastflächenspannungen stetig zu. Bei dem angenommenen Maximalbewehrungsgrad von  $\rho_{1d} = 1,00\%$  (0,60 %) ergeben sich Erhöhungen im Vergleich zum Modell mit Mindestbewehrung von ca. 2,5 % bis 7,5 %. Bei hohen Bewehrungsgraden erreichen die Modelle der Gruppe 1 bis 4 mit  $q_{1u}/f_{cm} = 1,71$  bzw. 1,72 annähernd gleiche Grenztragfähigkeiten, die Modelle der Gruppe 5 (konzentriertes Zugband) und 6 (weit verteilt) zeigen um ca. 4 ÷ 7 % geringere Werte.

### 7.2.2.3 Dehnungszustände und Dehnungsverteilung in den Bewehrungslagen

Die Entwicklungen der maximalen Dehnungen in den Bewehrungselementen der unterschiedlichen Lagen  $\max \varepsilon_{s,i}$  sind in Bild 7-5 bis Bild 7-10 dargestellt. Bei allen Modellen können drei charakteristische Entwicklungsstufen in den Stahldehnungen festgestellt werden.

Bis zu einem Lastniveau von ca.  $q_1/f_{cm} = 1,1 \div 1,2$  liegen in den Bewehrungen nur sehr geringe Dehnungen vor, da der Körper bis zu diesem Belastungszustand weitgehend ungerissen ist. Die Spaltzugbeanspruchungen werden überwiegend durch Betonzugspannungen abgetragen. Mit eintretender Spaltrissbildung nehmen die Dehnungen der Bewehrungen im Rissbereich stark zu, bleiben jedoch zunächst noch im elastischen Bereich unterhalb der rechnerischen Streckgrenze ( $\varepsilon_{ym} = 2,75\%$ ).

Bei weiterer Steigerung der Belastung wird in einzelnen Bewehrungslagen die Fließspannung erreicht und überschritten. In der Folge wachsen die Dehnungen dieser Bewehrungselemente überproportional an.

Mit steigendem Bewehrungsgrad verringern sich in allen Modellen die auftretenden Dehnungen in der Bewehrung aufgrund der höheren Steifigkeiten. Infolge des begrenzten Querdehnvermögens der Körper werden insbesondere die Bewehrungslagen, die einen großem Abstand zur Lasteinleitungsstelle aufweisen, nicht mehr bis zur Fließgrenze ( $\varepsilon_{ym} = 2,75\%$ ) gestreckt.

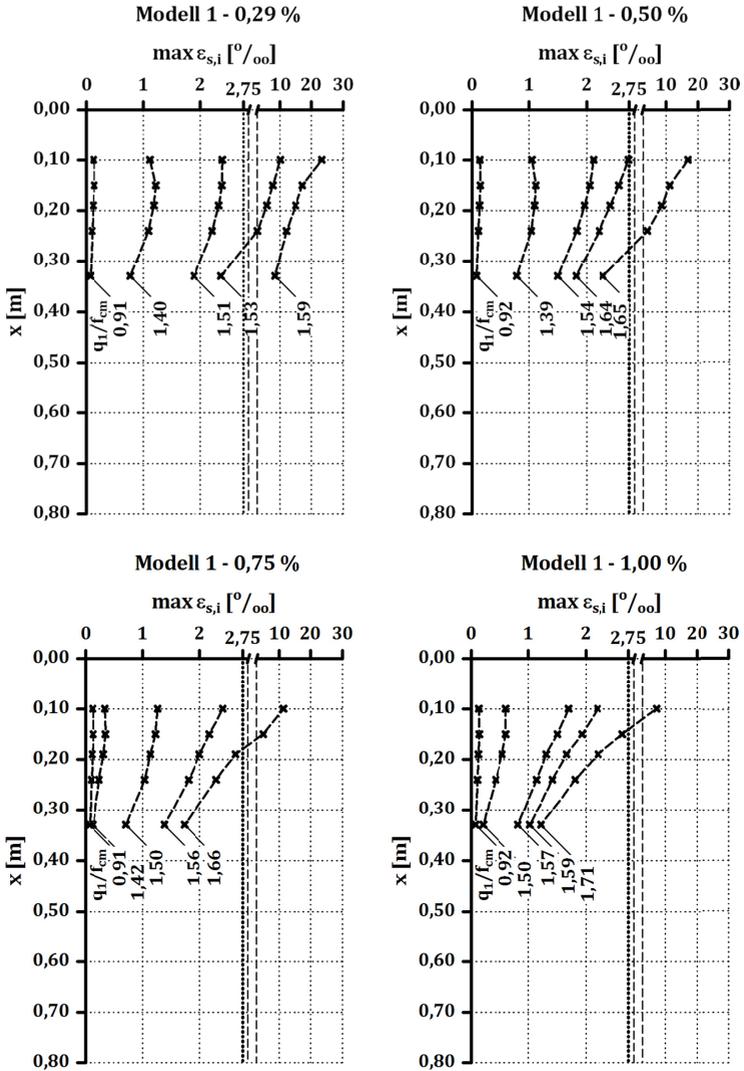


Bild 7-5: Modelle der Gruppe 1 – Dehnungen der Bewehrungselemente  $\max \varepsilon_{s,i}$

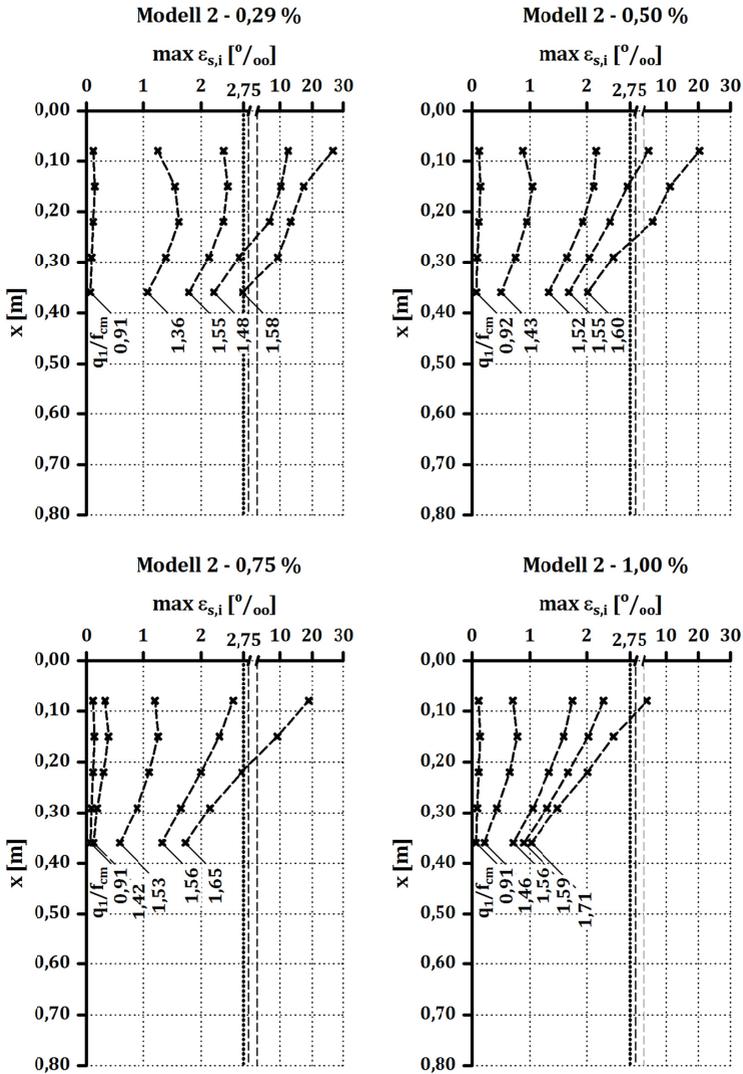


Bild 7-6: Modelle der Gruppe 2 – Dehnungen der Bewehrungselemente  $\max \varepsilon_{s,i}$

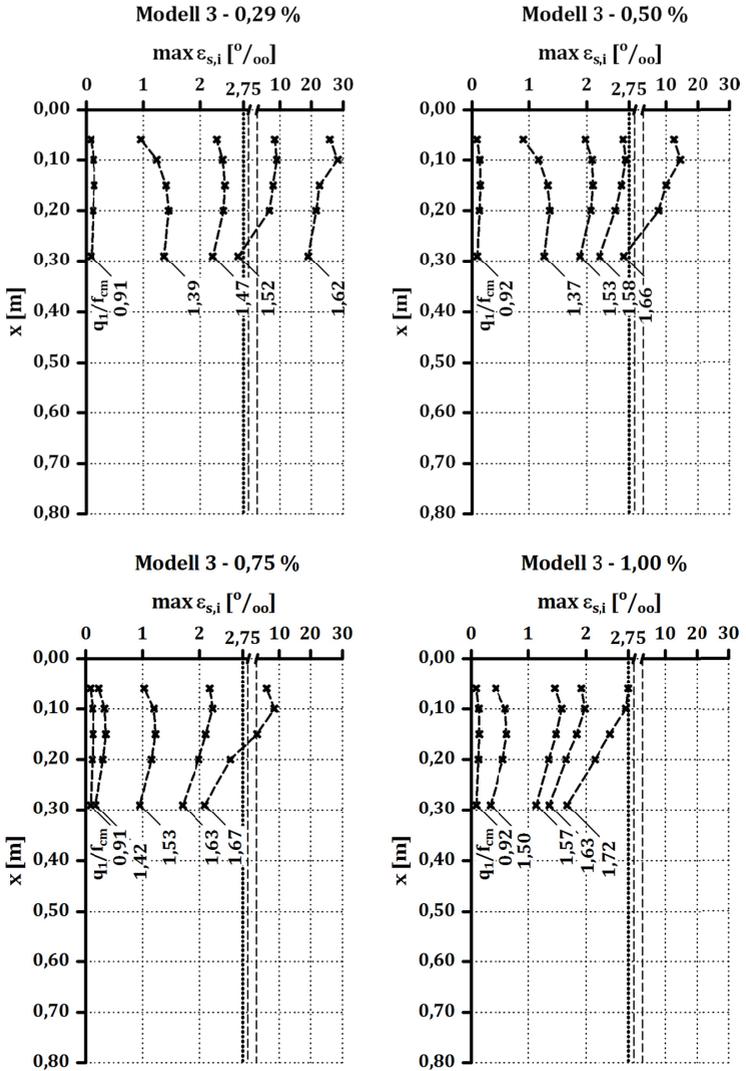


Bild 7-7: Modelle der Gruppe 3 – Dehnungen der Bewehrungselemente  $\max \epsilon_{s,i}$

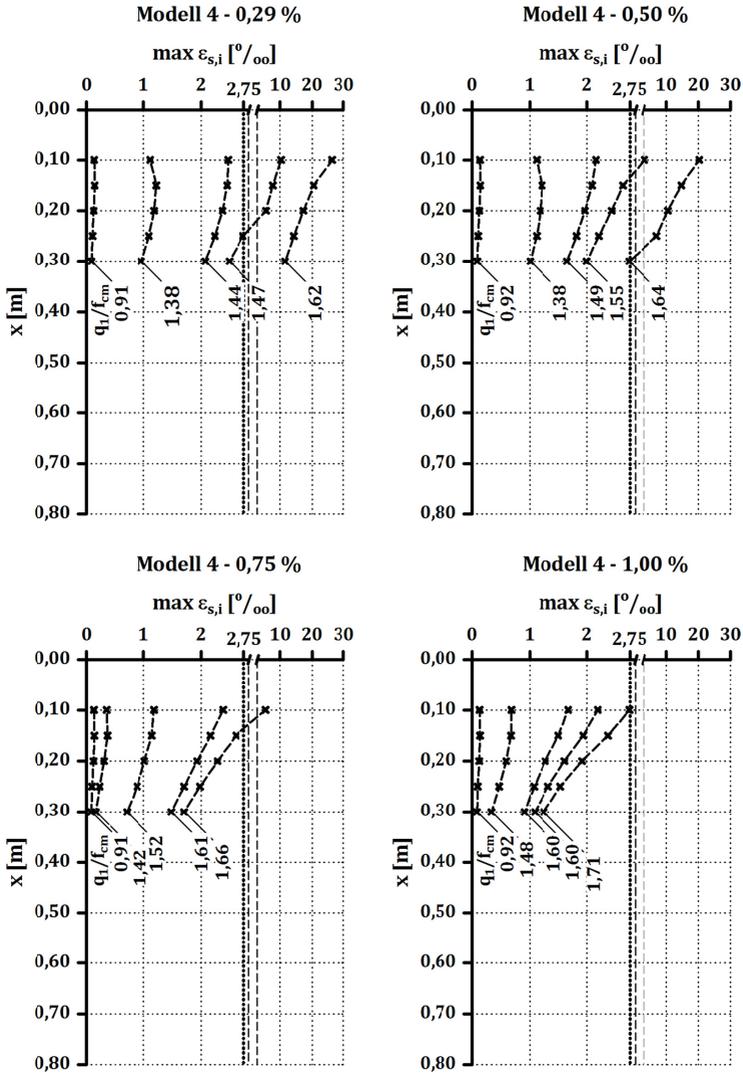


Bild 7-8: Modelle der Gruppe 4 – Dehnungen der Bewehrungselemente  $\max \varepsilon_{s,i}$

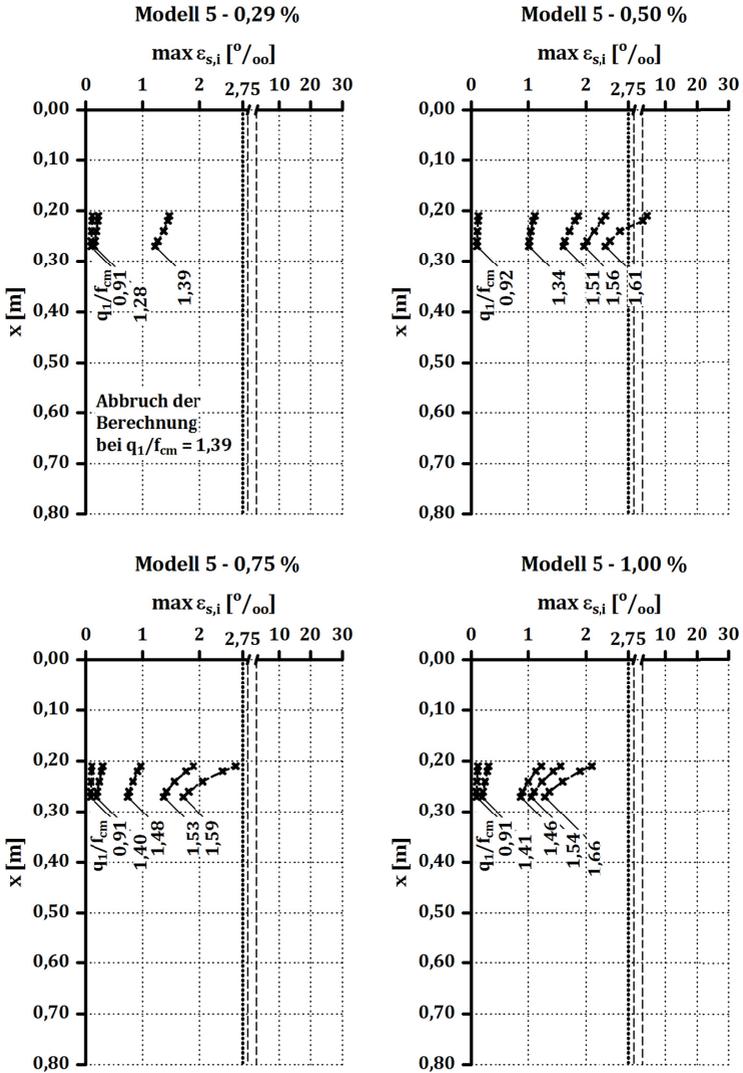


Bild 7-9: Modelle der Gruppe 5 – Dehnungen der Bewehrungselemente  $\max \varepsilon_{s,i}$

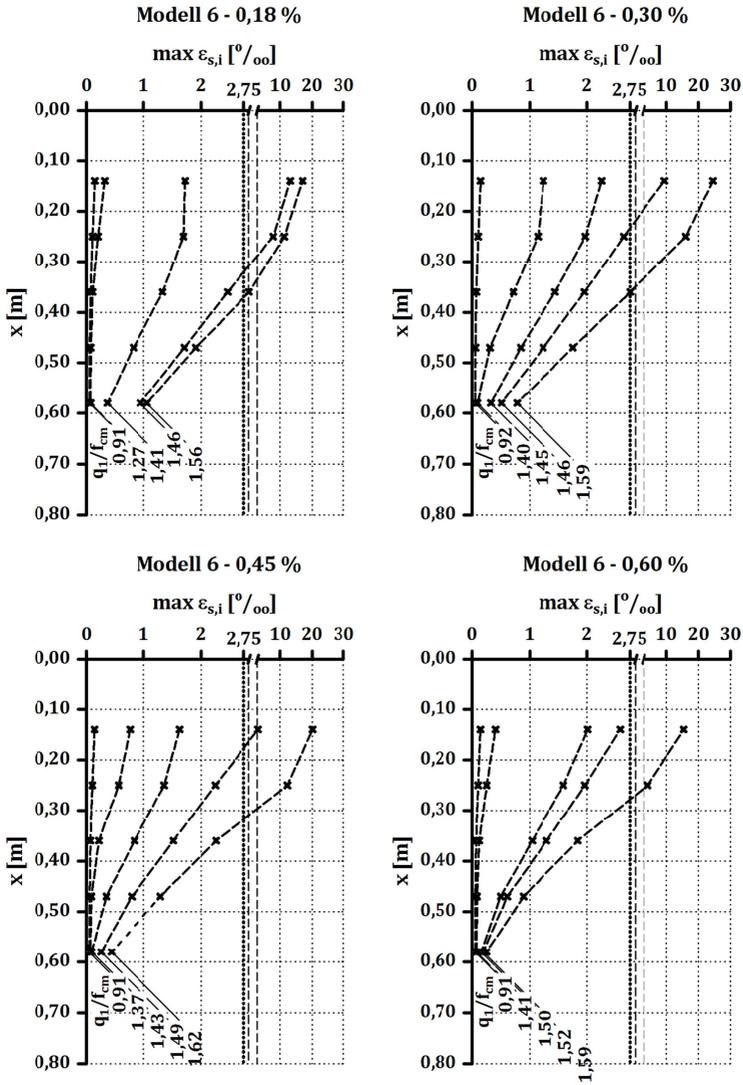


Bild 7-10: Modelle der Gruppe 6 – Dehnungen der Bewehrungselemente  $\max \varepsilon_{s,i}$

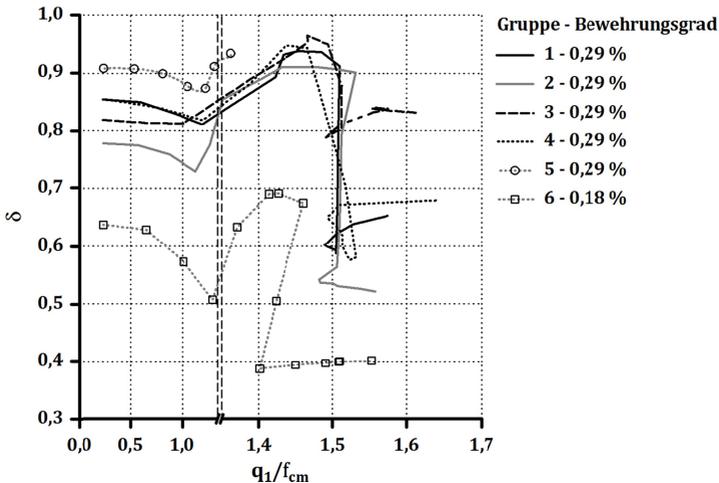
Für den Vergleich der Dehnungszustände in den unterschiedlichen Bewehrungslagen werden die bei Erreichen der Grenztragfähigkeit auftretenden Höchstwerte je Lage betrachtet, die im Bereich des zentrischen Spaltrisses auftreten. Tabelle 7-3 enthält die Zusammenstellung der aus diesen Höchstwerten im Vergleich der Lagen bestimmten minimal bzw. maximal vorliegenden Dehnungen  $\min \varepsilon_{s,u}$  bzw.  $\max \varepsilon_{s,u}$ .

**Tabelle 7-3: Modelle der Gruppen 1 bis 6 – minimale bzw. maximale Dehnungen der Bewehrungslagen (Höchstwerte) bei Grenztragfähigkeit  $\min \varepsilon_{s,u}$  bzw.  $\max \varepsilon_{s,u}$**

| Dehnungen $\min \varepsilon_{s,u} / \max \varepsilon_{s,u}$ [%] |                        | Bewehrungsgrad $\rho_{1d}$ |                    |                    |                    |
|---|------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gruppe  | Aufteilungsart         | 0,29 %<br>(0,18 %)         | 0,50 %<br>(0,30 %) | 0,75 %<br>(0,45 %) | 1,00 %<br>(0,60 %) |
| 1   | linear-elastisch       | 8,4 / 23,3                 | 2,3 / 16,9         | 1,7 / 11,3         | 1,2 / 7,3          |
| 2   | gleichmäßig            | 2,7 / 26,5                 | 2,0 / 20,3         | 1,7 / 18,9         | 1,0 / 3,9          |
| 3   | gestuft                | 19,1 / 28,4                | 2,7 / 14,5         | 2,0 / 8,5          | 1,7 / 2,7          |
| 4   | breites Zugband        | 11,5 / 26,3                | 2,7 / 20,3         | 1,7 / 5,4          | 1,2 / 2,7          |
| 5   | konzentriertes Zugband | 1,2 / 1,5*)                | 2,3 / 4,3          | 1,7 / 2,6          | 1,2 / 2,1          |
| 6   | weit verteilt          | 1,0 / 17,0                 | 0,8 / 24,5         | 0,4 / 20,1         | 0,2 / 15,4         |

\*) Abbruch der Berechnung

Die Verteilung der Dehnungen in den verschiedenen Bewehrungslagen kann mittels des Gleichmäßigkeitskriteriums (Parameter  $\delta$ ) charakterisiert werden. In Bild 7-11 sind die Entwicklungen des Parameters  $\delta$  exemplarisch für die Modelle 1 bis 6 mit minimal berechnetem Bewehrungsgrad aufgeführt.



**Bild 7-11: Modelle der Gruppen 1 bis 6 – Gleichmäßigkeitsparameter  $\delta$**

## 7 Untersuchungen zur konstruktiven Durchbildung

Die Verläufe weisen drei Bereiche auf. Ausgehend vom Dehnungszustand des unge-rissenen Körpers sinken die Werte des Gleichmäßigkeitsparameters  $\delta$  mit der bei  $q_1/f_{cm} = 1,1 \div 1,2$  eintretenden Rissbildung zunächst ab, da anfänglich nur in den Bewehrungen, die in gerissenen Bauteilbereichen liegen, wesentliche Dehnungszunahmen auftreten. Bei weiterer Lasterhöhung steigen die Werte infolge der Ausbreitung der gerissenen Bereiche wieder an. Die Maximalwerte der Parameter  $\delta$  werden in allen Fällen erreicht, bevor die maximal ertragbaren Lastflächenspannungen vorliegen. Bei Erreichen der Grenztragfähigkeit und weiterer Wegaufbringung treten aufgrund der keilförmigen Körperverformungen ungleichmäßigere Dehnungsverteilungen auf. Tabelle 7-4 enthält eine Zusammenstellung der maßgebenden Werte  $\max \delta$  sowie  $\delta_u = \delta(q_{1u})$  aller berechneten Modelle.

**Tabelle 7-4: Modelle der Gruppen 1 bis 6 – Gleichmäßigkeitsparameter  $\max \delta$**

| Parameter $\max \delta / \delta_u$ |                        | Bewehrungsgrad $\rho_{1d}$ |                    |                    |                    |
|------------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gruppe                             | Aufteilungsart         | 0,29 %<br>(0,18 %)         | 0,50 %<br>(0,30 %) | 0,75 %<br>(0,45 %) | 1,00 %<br>(0,60 %) |
| 1                                  | linear-elastisch       | 0,94 / 0,65                | 0,92 / 0,51        | 0,86 / 0,41        | 0,86 / 0,42        |
| 2                                  | gleichmäßig            | 0,91 / 0,52                | 0,86 / 0,42        | 0,82 / 0,37        | 0,77 / 0,56        |
| 3                                  | gestuft                | 0,97 / 0,83                | 0,96 / 0,65        | 0,93 / 0,52        | 0,89 / 0,85        |
| 4                                  | breites Zugband        | 0,95 / 0,68                | 0,93 / 0,54        | 0,86 / 0,51        | 0,86 / 0,72        |
| 5                                  | konzentriertes Zugband | 0,94 / 0,92 <sup>*)</sup>  | 0,95 / 0,68        | 0,90 / 0,81        | 0,90 / 0,79        |
| 6                                  | weit verteilt          | 0,69 / 0,40                | 0,64 / 0,37        | 0,64 / 0,36        | 0,64 / 0,29        |

<sup>\*)</sup> Abbruch der Berechnung

Die Gleichmäßigkeit der Dehnungsverteilung nimmt ausgehend von den gering bewehrten Modellen mit zunehmendem Bewehrungsgrad zunächst ab, da nicht mehr alle Bewehrungslagen die Streckgrenze erreichen. Bei den Modellen mit dem Bewehrungsgrad von  $\rho_{1d} = 1,00 \%$  ist eine erneute Zunahme möglich, da die Stahlspannungen in allen Bewehrungslagen unterhalb der Streckgrenze bleiben.

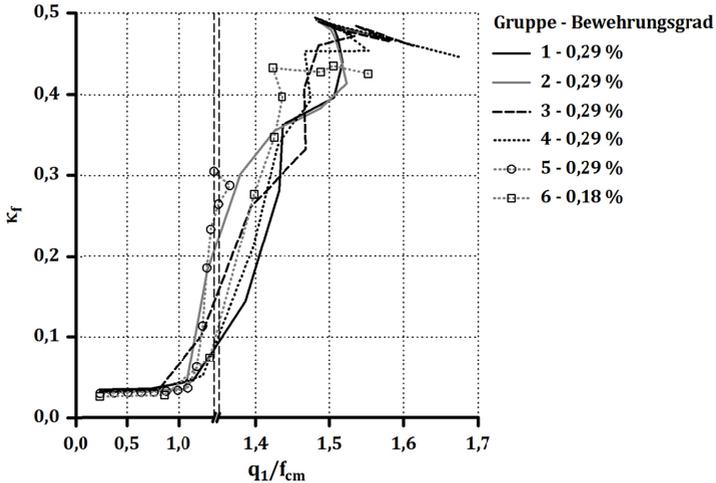
Der Vergleich zeigt hohe Werte des Gleichmäßigkeitsparameters bei den Gruppen 1 bis 5. Die Ergebnisse der Modelle der Gruppe 5 (konzentriertes Zugband) sind jedoch im Wesentlichen auf die räumliche Nähe der Bewehrungslagen und die damit zwangsweise weitgehend identischen Bewehrungsdehnungen zurückzuführen und daher nicht vergleichbar. Die Bewehrung der Gruppe 6 (weit verteilt) weist nur eine sehr ungleichmäßige Dehnungsverteilung auf, da die in großem Abstand zur Lasteinleitung angeordneten Bewehrungen nicht aktiviert werden.

Die Bewehrungsanordnungen der Gruppe 3 (gestuft) und 4 (breites Zugband) zeigen hinsichtlich der Dehnungszustände sowie -verteilungen in den verschiedenen Bewehrungslagen die besten Eigenschaften. Die Bewehrungsanordnung der Gruppe 6 (weit verteilt) weist hinsichtlich der Dehnungsverteilung deutliche Nachteile gegenüber den

anderen Gruppen auf. Aus den Dehnungsverteilungen in den Modellen der Gruppe 1 (linear-elastisch) und 2 (gleichmäßig) folgen Gleichmäßigkeitsparameter, die zwischen den Ergebnissen der Gruppen 3 / 4 und 6 liegen.

#### 7.2.2.4 Gesamtzugkräfte in den Spaltzugbewehrungen

Die Auswertung der Summe der Zugkräfte in den Spaltzugbewehrungen erfolgt anhand des Parameters  $\kappa_f$ . Bild 7-12 zeigt exemplarisch die Entwicklungen der Parameterwerte bei den Modellen mit minimalem untersuchten Bewehrungsgrad.



**Bild 7-12:** Modelle der Gruppen 1 bis 6 – Spaltzugbeanspruchungsparameter  $\kappa_f$

Die Auswertung in Tabelle 7-5 verdeutlicht, dass hinsichtlich der auftretenden bezogenen Bewehrungszugkräfte keine maßgebenden Unterschiede zwischen den Gruppen der Bewehrungsanordnungen bestehen. Wie schon in der Voruntersuchung in Kapitel 5.4 festgestellt, wird die Höhe der Querkraftbeanspruchungen wesentlich von der Querkraftsteifigkeit des Körpers bestimmt. Die mit zunehmenden Bewehrungsgraden ansteigenden Bewehrungszugkräfte bestätigen diese Ergebnisse.

Tabelle 7-5: Modelle der Gruppen 1 bis 6 – Spaltzugbeanspruchungsparameter  $\kappa_f$

| Parameter $\kappa_{f,u}$ |                   | Bewehrungsgrad $\rho_{1d}$ |                 |                 |                 |
|--------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Gruppe                   | Aufteilungsart    | 0,29 % (0,18 %)            | 0,50 % (0,30 %) | 0,75 % (0,45 %) | 1,00 % (0,60 %) |
| 1                        | linear-elastisch  | 0,46                       | 0,79            | 1,07            | 1,24            |
| 2                        | gleichmäßig       | 0,47                       | 0,76            | 1,07            | 1,15            |
| 3                        | gestuft           | 0,46                       | 0,75            | 1,10            | 1,31            |
| 4                        | breites Zugband   | 0,46                       | 0,77            | 0,98            | 1,13            |
| 5                        | konzentr. Zugband | 0,26 <sup>*)</sup>         | 0,74            | 0,94            | 0,94            |
| 6                        | weit verteilt     | 0,43                       | 0,72            | 0,95            | 1,18            |

<sup>\*)</sup> Abbruch der Berechnung

Aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen kann hinsichtlich der auftretenden bezogenen Bewehrungszugkräfte keine der Bewehrungsanordnungen favorisiert werden.

### 7.2.3 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Parameterstudie

Die Analyse der Ergebnisse bezüglich der ertragbaren Lastflächenspannungen, der auftretenden Dehnungszustände und -verteilungen, der Gesamtzugkräfte in den Bewehrungen sowie des Rissverhaltens ergibt, dass die Bewehrungsanordnungen der Gruppe 3 (gestuft) und 4 (breites Zugband) die besten Eigenschaften aufweisen.

Die Modelle mit Bewehrungsanordnungen entsprechend Gruppe 1 (linear-elastisch) und 2 (gleichmäßig) zeigen ebenfalls eine gute Eignung. Bei höheren Bewehrungsgraden stellt sich jedoch eine ungünstigere Dehnungsverteilung ein, die die Gleichmäßigkeit der Bewehrungsbeanspruchungen verringert.

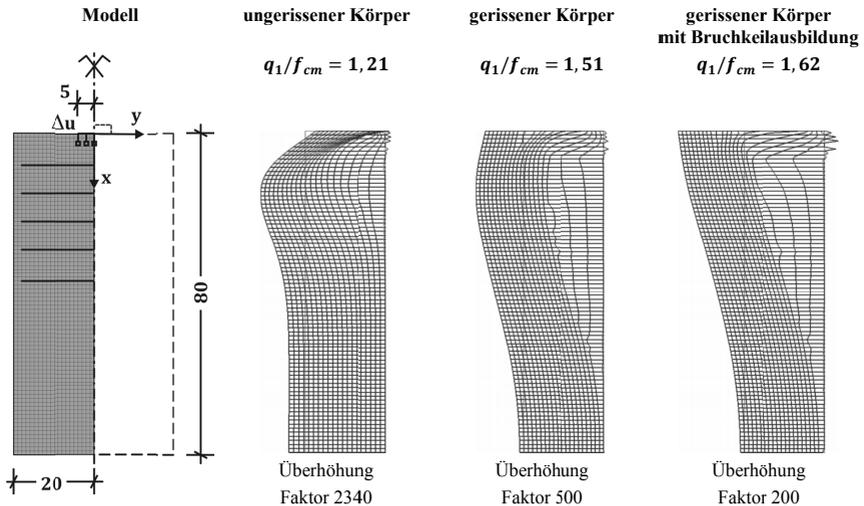
Bei den Modellen der Gruppe 5 (konzentriertes Zugband) kommt es außerhalb der Zone der konzentrierten Bewehrungsanordnung zu einer stark ausgeprägten und nachteiligen Rissbildung. Die ermittelten, geringen Bewehrungsdehnungen verdeutlichen zudem, dass aufgrund der Anordnung in vergleichsweise großem Abstand zur Lasteinleitung nur eine ungenügende Aktivierung der Bewehrung erfolgt.

Die Modelle der Gruppe 6 (weit verteilt) weisen eine auf große Körperbereiche gleichmäßig verteilte Anordnung der Spaltzugbewehrungen auf. Die Berechnungen ergeben, dass sich die maximalen Querzugbeanspruchungen bei den getroffenen Annahmen aufgrund der resultierenden Körperverformungen im Bereich von  $x/d = 0,25 \div 1,00$  einstellen. Hierdurch können die Bewehrungslagen in einem Abstand  $x/d > 1,00$  nicht vollständig aktiviert werden. Im Bereich nahe der Lasteinleitung stehen aufgrund der weit verteilten Anordnung vergleichsweise geringe Bewehrungsflächen zur Aufnahme von Zugkräften zur Verfügung. Bei den vorliegenden Randbedingungen ergeben sich

aus der weiten Verteilung der Bewehrung Nachteile gegenüber den Alternativen der Gruppe 1 bis 4, bei denen die Bewehrung auf kleineren Bereichen angeordnet ist.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass in den mit Mindestspaltzugbewehrung versehenen Modellen der Gruppen 1 bis 4 bei Erreichen der Grenztragfähigkeit in allen Bewehrungslagen die Fließgrenze erreicht wird. Bei diesen konstruktiven Durchbildungen wirkt das Fließen der Bewehrung ausgleichend auf die resultierenden Bewehrungszugkräfte. Die vier genannten Bewehrungsanordnungen führen daher zu einem sehr ähnlichen Trag- und Verformungsverhalten der Körper. Bei ungünstiger Anordnung der Mindestspaltzugbewehrung (Gruppe 5 bzw. 6) oder höheren Bewehrungsgraden wird die Streckgrenze nicht in allen Lagen erreicht. Die Bewehrung wird in diesen Fällen bei keiner der untersuchten Bewehrungsanordnungen optimal ausgenutzt.

Aus den bisherigen Untersuchungen ist deutlich geworden, dass die beanspruchungsabhängig wirkenden Tragmechanismen und auftretenden Körperverformungen einen maßgebenden Einfluss auf die Höhe der Bewehrungszugkräfte und deren Verteilung aufweisen. Die Ergebnisse der numerischen Berechnungen zeigen drei charakteristische Entwicklungsschritte der Querverformungen, die in Bild 7-13 exemplarisch für das Modell der Gruppe 4 (gestuft) mit minimal berechnetem Bewehrungsgrad dargestellt sind.



**Bild 7-13: Modell der Gruppe 4 – 0,29 % - Körper-Querverformungen**

Im ungerissenen Körper (Bild 7-13 links) treten Querverformungen entsprechend der Elastizitätstheorie auf. Der Bereich der unmittelbaren Lasteinleitung weist Querkontraktionen auf. Ab einem Abstand  $x \approx 0,1 \cdot d = 4 \text{ cm}$  von der belasteten Oberfläche

kommt es infolge der Spaltzugbeanspruchungen zu Querstreckungen. Im gerissenen Körper (Bild 7-13 Mitte) wachsen diese infolge der geringeren Querdehnsteifigkeit des Körpers überproportional an. Der Körper erfährt in diesem Zustand im oberflächennahen Bereich, der im ungerissenen Zustand quer kontrahiert wird, nun ebenfalls Querstreckungen. Diese resultieren im Wesentlichen aus der Anbindung an die stark verformten anschließenden Abschnitte. Die Körperaufweitungen werden zudem durch die direkt an der Lasteinleitungsstelle auftretenden hohen Querdehnungen gesteigert.

Bei Annäherung an die Grenztragfähigkeit bildet sich im Bauteil ein plastischer Bereich unterhalb der belasteten Fläche aus, der zu erhöhten Längs- und Querdehnungen im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich führt. Das Querverformungsverhalten des gesamten Körpers wird daher nach Eintreten der Rissbildung und Erreichen der plastischen Zustände direkt unterhalb der Lastfläche maßgeblich von der lokal erhöhten Querdehnung beeinflusst. Der verformte Körper nimmt bei allen untersuchten Bewehrungsvarianten bis zum Erreichen der Grenztragfähigkeit eine zunehmend keilförmige Gestalt an. Aus der Körperaufweitung resultiert eine deutliche Vergrößerung der zentralen Spaltrisse und eine Verringerung der Umschnürungsspannungen im Bereich der Lasteinleitung. Eine verbesserte Bewehrungsanordnung sollte daher der oberflächennahen Körperaufweitung entgegenwirken.

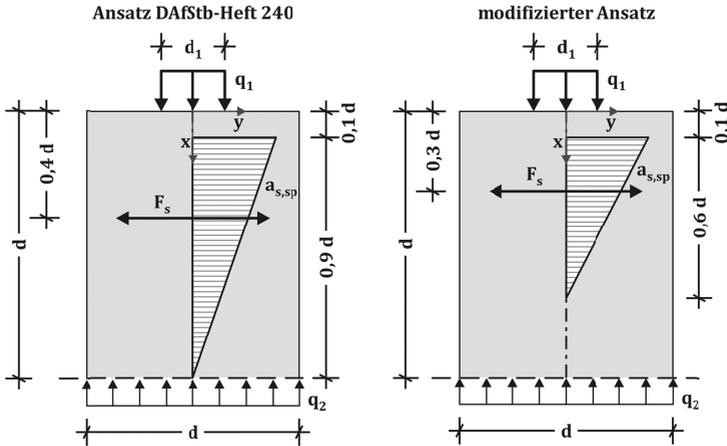
### 7.3 Untersuchungen zu einer verbesserten konstruktiven Durchbildung

#### 7.3.1 Ansatz

Nach den aufgezeigten Empfehlungen zur konstruktiven Durchbildung aus der Fachliteratur (Tabelle 2-2, S. 39) sollten die bewehrten Bereiche erst in einem Abstand zur belasteten Oberfläche von  $x/d = 0,1 \div 0,2$  beginnen und sich bis zu  $x/d = 1,6$  erstrecken. Die numerischen Untersuchungen zeigen, dass sich der Körper bei Erreichen der Grenztragfähigkeit vor allem im Bereich nahe der Lasteinleitung aufweitet. Daher werden besonders die oberflächennahen Bewehrungslagen aktiviert, während solche mit großem Abstand zur Lasteinleitung nicht vollständig ausgenutzt werden. Die oberflächennahen Bewehrungslagen sollten zudem die entstehenden plastischen Bereiche wirksamer umschnüren.

In der Parameterstudie zeigen die Modelle mit der gestuften Bewehrungsanordnung nach DAfStb-Heft 240 (Gruppe 3) im Vergleich sehr gute Eigenschaften, da sie der keilförmigen Körperaufweitung folgen. Die Auswertung der Dehnungszustände in den Bewehrungslagen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit zeigt auch für diese Anordnung, dass bei Bewehrungsgraden von  $\rho_{1d} > 0,29\%$  eine ungleichmäßige Beanspruchung auftritt (Bild 7-7, S. 151). Daher wird diese konstruktive Durchbildung als Grundlage verwendet und durch Verringerung des Abstands der Bewehrungslagen zur Lastfläche

so modifiziert, dass eine oberflächennähere Lage der Spaltzugbewehrung erreicht wird. Bild 7-14 zeigt die Bewehrungsaufteilung nach DAfStb-Heft 240 [Gra-1991] (links) sowie den modifizierten Ansatz mit oberflächennäherer Bewehrungslage (rechts). Die modifizierte Bewehrungsanordnung weist eine Bewehrungsverteilung im Bereich von  $x/d = 0,1 \div 0,7$  mit dem Bewehrungsschwerpunkt bei  $x/d = 0,3$  auf.



**Bild 7-14: Konstruktive Durchbildung – Ansatz nach DAfStb-Heft 240 (links), modifizierter Ansatz (rechts)**

Zur Verifizierung der Eignung der modifizierten Bewehrungsanordnung erfolgen numerische Berechnungen auf Grundlage der vorgestellten Ansätze. Neben den Berechnungen an den Scheibenmodellen zum ebenen Fall der Teilflächenbelastung werden ergänzend auch Untersuchungen zum räumlichen Fall vorgenommen. Hierzu wird das in Kapitel 6.6.3 vorgestellte Modell mit der Bewehrungsanordnung nach DAfStb-Heft 240 sowie dem modifizierten Ansatz berechnet. Die Benennung der modifizierten Scheibenmodelle erfolgt mit Gruppe „3M“ („M“ für modifizierte Bewehrungsanordnung). Tabelle 7-6 zeigt die Bewehrungsanordnungen der Scheiben- und Prismenmodelle im Vergleich.

Die Berechnungen der Scheibenmodelle werden wiederum mit Bewehrungsgraden von  $\rho_{1d} = 0,29\%$ ;  $0,50\%$ ;  $0,75\%$  und  $1,00\%$  durchgeführt. Bei den Prismenmodellen kommen Bewehrungsgrade von  $0,20\%$  (Mindestspaltzugbewehrungsgrad);  $0,50\%$ ;  $1,0\%$  und  $2,0\%$  zum Einsatz.

Tabelle 7-6: Modifizierte Bewehrungsanordnung

| Gruppe        | Scheiben Gruppe 3 | Scheiben Gruppe 3M     | Prismen Gruppe 3 | Prismen Gruppe 3M      |
|---------------|-------------------|------------------------|------------------|------------------------|
|               | gestuft           | gestuft<br>modifiziert | gestuft          | gestuft<br>modifiziert |
| $x_{B,a}/d$   | 0,10              | 0,10                   | 0,10             | 0,10                   |
| $x_{B,e}/d$   | 1,00              | 0,70                   | 1,00             | 0,70                   |
| $x_{B,s}/d$   | 0,40              | 0,30                   | 0,40             | 0,30                   |
| Bew.-<br>Lage |                   |                        |                  |                        |
| $x_{B1}$ [cm] | 6                 | 5                      | 5                | 4                      |
| $x_{B2}$ [cm] | 10                | 8                      | 8                | 6                      |
| $x_{B3}$ [cm] | 15                | 11                     | 11               | 8                      |
| $x_{B4}$ [cm] | 20                | 15                     | 15               | 11                     |
| $x_{B5}$ [cm] | 29                | 21                     | 22               | 16                     |

### 7.3.2 Ergebnisse der Modelle mit modifizierter Bewehrungsanordnung

Die berechneten Dehnungszustände in den Bewehrungen der Modelle der Gruppe 3 und 3M sind in Bild 7-15 im Vergleich dargestellt. Mit Hilfe der modifizierten Bewehrungsanordnung wird die randnahe Körperaufweitung auch bei hohen Bewehrungsgraden wirksam begrenzt. Die ertragbaren Lastflächenspannungen bleiben im Vergleich zu den Berechnungen mit der Bewehrungsanordnung nach DAfStb-Heft 240 auf gleichem Niveau bzw. steigen nur geringfügig an (+2 %). Jedoch liegen im Vergleich zu den geringsten Grenztragfähigkeiten der Parameterstudie Steigerungen von 8 % bis zu 17 % bei gleichzeitig deutlich gleichmäßigerer Körperaufweitung vor.

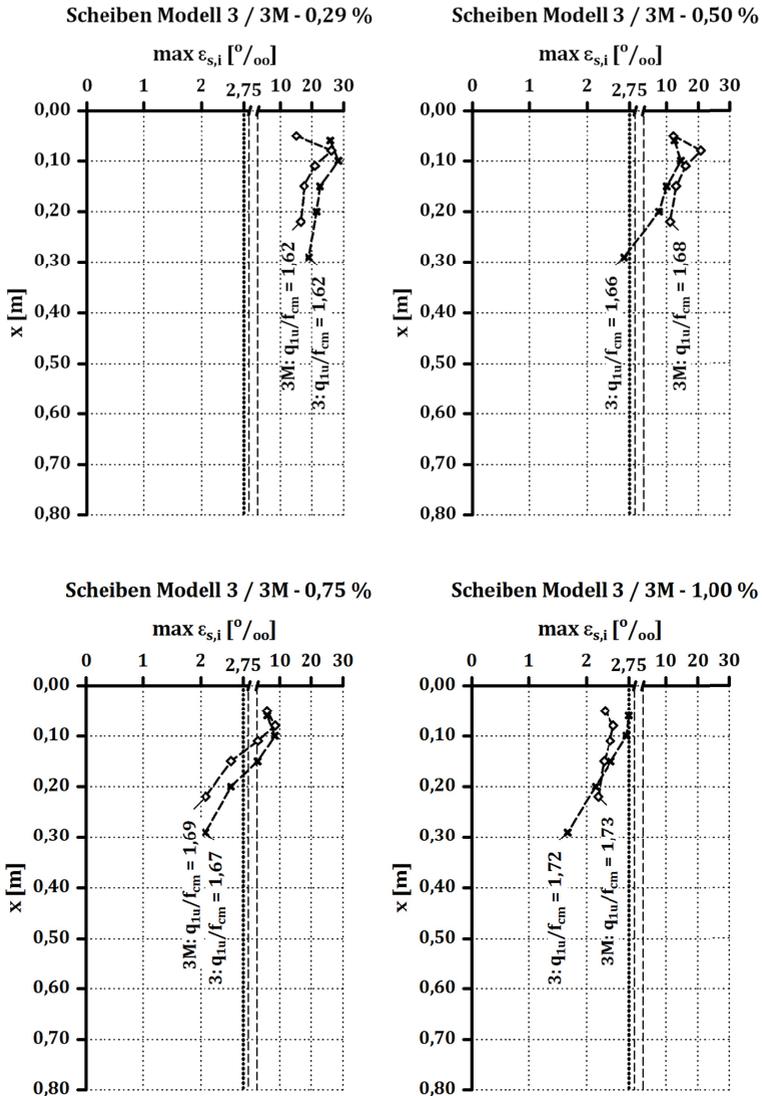


Bild 7-15: Scheibenmodelle der Gruppen 3 und 3M – Dehnungen der Bewehrungselemente  $\max \varepsilon_{s,i}$  bei Erreichen der Grenztragfähigkeit

Bild 7-16 zeigt die berechneten mittleren Querdehnungen der entsprechenden Volumenmodelle zum räumlichen Fall.

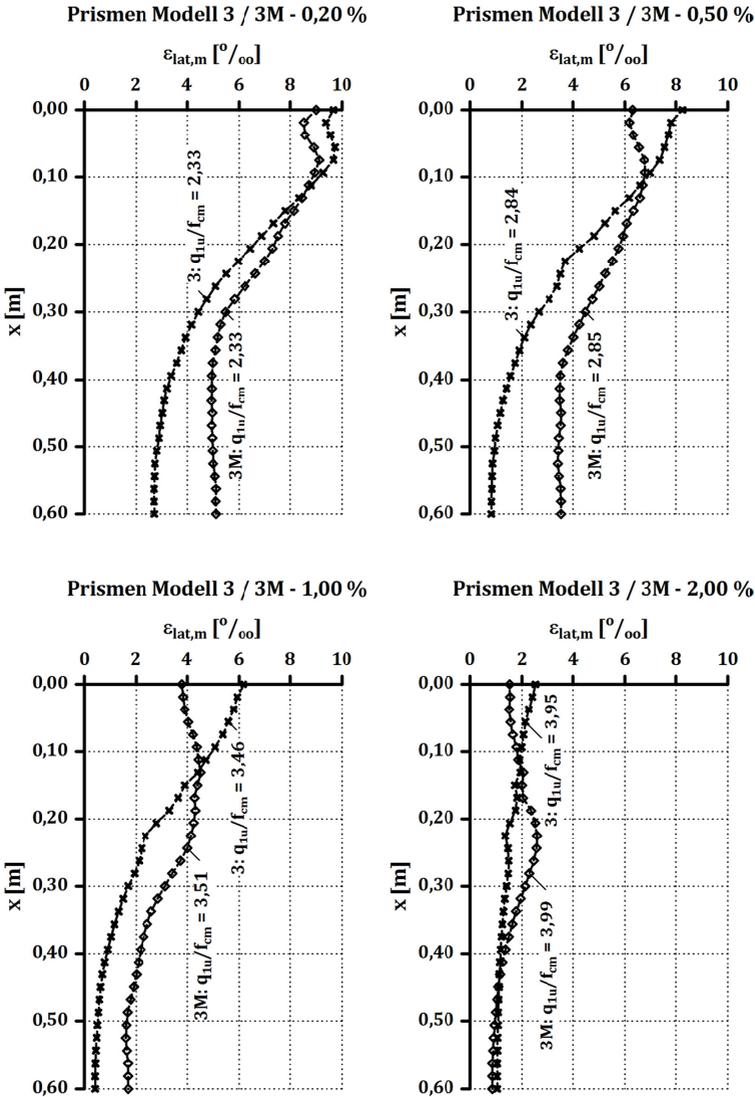
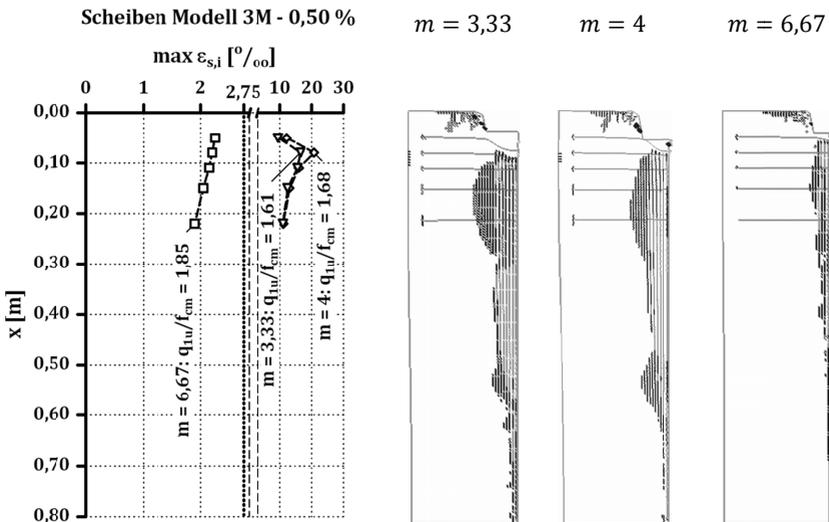


Bild 7-16: Prismenmodelle der Gruppen 3 und 3M – mittlere Querdehnungen  $\epsilon_{lat,m}$  bei Erreichen der Grenztragfähigkeit

Der Vergleich zeigt, dass auch die Prismenmodelle der Gruppe 3 mit der Bewehrungsanordnung nach DAfStb-Heft 240 (Gruppe 3) bei allen betrachteten Bewehrungsgraden mit Erreichen der Grenztragfähigkeit eine keilförmige Körperaufweitung aufweisen. Mit der modifizierten Bewehrungsanordnung (Gruppe 3M) wird die oberflächennahe Körperaufweitung so begrenzt, dass die maximale Querdehnung bei den Modellen mit

Bewehrungsgraden von 0,20 %, 0,50 % und 1,00 % in einer Tiefe von  $x \approx 10$  cm bzw.  $x/d \approx 0,33$  vorliegt. Diese Stelle stimmt sehr gut mit der Schwerpunktslage der Bewehrung von  $x/d = 0,3$  überein. Unter Nutzung der modifizierten Bewehrungsanordnung treten zudem im Vergleich zur Ausführung nach DAfStb-Heft 240 geringe Steigerungen der Grenztragfähigkeiten auf. Die Untersuchungen mit Bewehrungsgraden von  $\rho_{1,d} = 2$  % verdeutlichen, dass bei diesen Körpern die eingeleitete Druckkraft so hoch wird, dass die Tragfähigkeit des unbewehrten anschließenden Bereichs erreicht wird.

Zur weiteren Bewertung der Eignung der Bewehrungsanordnung bei Lastkonzentration, die vom Ausgangsmodell mit  $m = 4$  abweichen, werden zusätzliche Berechnungen an den Scheibenmodellen mit  $m = 3,33$  bzw. 6,67 vorgenommen. Bild 7-17 zeigt exemplarisch die Verformungen und die Verteilung der maximalen Bewehrungsdehnungen in den unterschiedlichen Lagen. Es wird deutlich, dass auch für die zusätzlich betrachteten Lastkonzentrationen eine weitgehend gleichmäßige Dehnungsverteilung in den Bewehrungslagen vorliegt und die zentrische Spaltrissbildung sowie die keilförmige Körperaufweitung begrenzt werden.



**Bild 7-17: Scheibenmodelle der Gruppe 3M – Dehnungen der Bewehrungselemente  $\max \epsilon_{s,i}$  bei Erreichen der Grenztragfähigkeit (links), Verformung (25-fache Überhöhung) und Rissbildung (rechts)**

Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Eignung der vorgestellten modifizierten Bewehrungsanordnung nach Bild 7-14 für die untersuchten zentrisch teilflächenbelasteten Bauteile des ebenen und räumlichen Falls. Durch die oberflächennähere Anordnung der

Bewehrung werden keilförmige Körperaufweitungen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit wirksam beschränkt, die Verteilung der Bewehrungsbeanspruchungen gleichmäßig und hiermit die Breite der zentrischen Spaltrisse begrenzt. Der Einfluss auf die Höhe der erreichbaren Grenztragfähigkeiten ist im Vergleich zu den Körpern mit der Ausführung nach DAfStb-Heft 240 gering ( $< 5\%$ ). Die Ergebnisse der Parameterstudie verdeutlichen jedoch, dass die ertragbaren Druckkräfte bei konzentrierter oder sehr weit verteilter Anordnung der Bewehrung im ebenen Fall bis zu 20 % niedriger sind.

Die vorgeschlagene Bewehrungsanordnung führt im Vergleich zu den konstruktiven Durchbildungen entsprechend bestehender Empfehlungen zu einem verbesserten Trag- und Gebrauchsverhalten von zentrisch teilflächenbelasteten Bauteilen des ebenen und räumlichen Falls, da die Einflüsse der Rissbildung und der plastischen Bruchprozesse im Einleitungsbereich berücksichtigt werden.

---

## 8 Ansätze zur Bemessung und konstruktiven Durchbildung

### 8.1 Grundlagen

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse können verschiedene Schlussfolgerungen für die Bemessung und Auslegung zentrisch teilflächenbelasteter Bauteile des ebenen und räumlichen Falls getroffen werden. Die nachfolgenden Angaben beziehen sich auf die untersuchten Bauteile aus Normalbeton mit Spaltzugbewehrungen aus Betonstahlstäben, die bis an die lastparallelen Bauteilseiten geführt und dort umgelenkt bzw. verankert werden.

### 8.2 Lastflächenspannungen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit

#### 8.2.1 Ansatz

Zur Festlegung der Lastflächenspannungen, die in Abhängigkeit von der konstruktiven Durchbildung und dem Bewehrungsgrad maximal ertragbar sind, werden die Ergebnisse aus der Versuchsdatenbank (Kap. 3) und der Parameterstudie (Kap. 7.2 und 7.3) betrachtet und ausgewertet. Zur rechnerischen Bestimmung der bezogenen Lastflächenspannungen wird ein semi-empirischer Ansatz aus den Tragkomponenten des unbewehrten Bauteils und der Zusatzanteile infolge der Wirkung der Spaltzugbewehrung gewählt. Die maximal ertragbare Lastflächenspannung bestimmt sich dabei mit Bezug auf die Mittelwerte der Betondruckfestigkeit zu

$$\left(\frac{q_{1u}}{f_{cm}}\right) = \left(\frac{q_{1u}}{f_{cm}}\right)_{unbew} + \Delta \left(\frac{q_{1u}}{f_{cm}}\right)_{bew} . \quad \text{Gl. 8-1}$$

In Anlehnung an die Ansätze von WURM / DASCHNER [Wur-1983] (Gl. 2-18) und NIYOGI [Niy-1975] (Gl. 2-20) wird für den Zusatztraganteil eine proportionale Abhängigkeit vom Bewehrungsgrad angenommen. Die Definition des Zusatztraganteils erfolgt mit dem geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$  zu

$$\Delta \left(\frac{q_{1u}}{f_{cm}}\right)_{bew} = R \cdot \rho_{1d} [\%] . \quad \text{Gl. 8-2}$$

Der Parameter  $R$  stellt die auf den Bewehrungsgrad bezogene Steigerung der maximalen Lastflächenspannung infolge der Wirkung der Spaltzugbewehrung dar.

Der Tragwiderstand teilflächenbelasteter bewehrter Bauteile wird primär durch das Versagen des Betons im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich bestimmt. Daher werden die Bemessungswerte der zulässigen bezogenen Lastflächenspannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $q_{1Rdu}/f_{cd}$  mit den Verhältnissen auf Basis der Mittelwerte der Materialeigenschaften  $q_{1u}/f_{cm}$  gleichgesetzt. Für normalfeste Betone erfolgt damit

eine Abminderung des Bemessungstragwiderstands auf ca. 45 % des Mittelwertniveaus. Diese Annahme entspricht den aktuellen normativen Vorgaben nach DIN 1045-1 [DIN-2008] und Eurocode 2 [EC-2008] [EC-2010] für teilflächenbelastete Bauteile des räumlichen Falls.

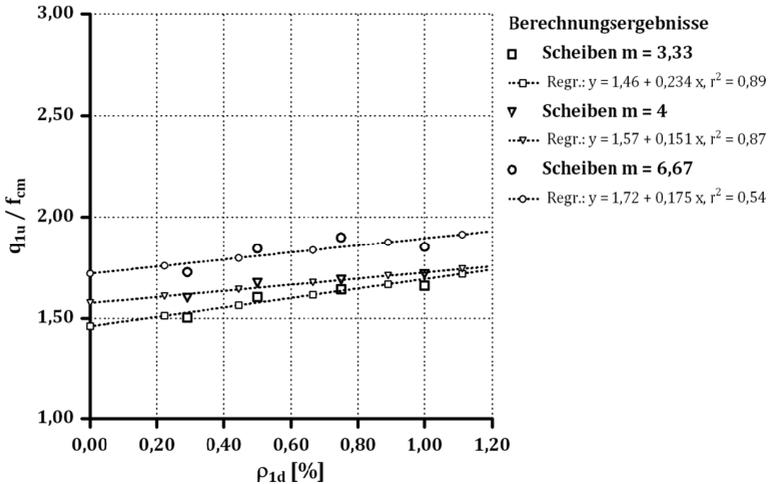
### 8.2.2 Ebene Fälle der Teilflächenbelastung

Für die rechnerische Bestimmung der Traganteile der unbewehrten Bauteile des ebenen Falls wird der Kubikwurzel-Ansatz aufgrund der guten Abbildegenauigkeit für die betrachteten Versuchsdaten gewählt. Die Lastflächenspannungen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit sind damit in Abhängigkeit von der Lastkonzentration  $m$

$$\left(\frac{q_{1d}}{f_{cm}}\right)_{unbew,e} = \sqrt[3]{m}. \quad \text{Gl. 8-3}$$

Die Auswertung der Datenbank zeigt, dass die Grenztragfähigkeit unbewehrter Bauteile des ebenen Falls durch den Einsatz von Spaltzugbewehrungen ansteigt (vgl. Kap. 3.2, S. 50 ff.). Die Bewertung der Wirkung von Spaltzugbewehrungen ist jedoch durch die beschränkte Anzahl der Versuchsdaten sowie die Heterogenität der in den Versuchen genutzten Randbedingungen erschwert.

Bild 8-1 zeigt die Ergebnisse der eigenen Berechnungen zu den maximalen Lastflächenspannungen in Abhängigkeit von dem geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$  beim ebenen Fall. Aus Korrelationsanalysen der Berechnungsergebnisse werden für die unterschiedlichen Lastkonzentrationen die bewehrungsbedingten Erhöhungen der Lastflächenspannungen bestimmt. Die Steigungen der Regressionsgeraden entsprechen den Bewehrungsgrad bezogenen Zunahmen und liegen mit  $R = 0,151 \div 0,234$  vor.

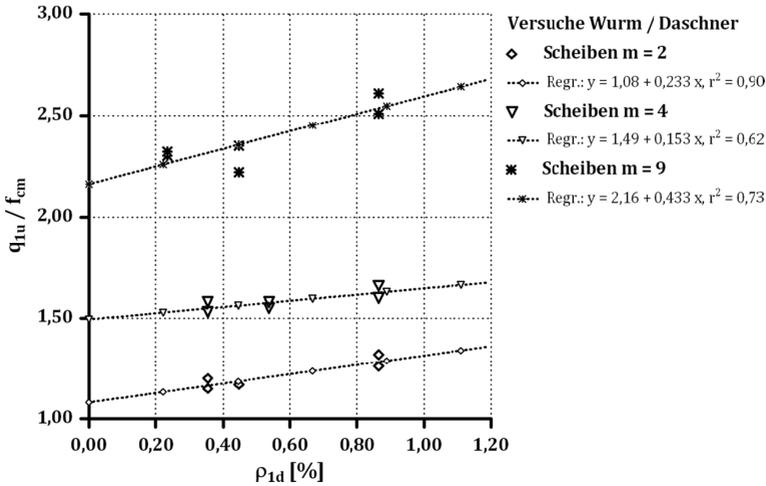


**Bild 8-1: Maximale Lastflächenspannungen in Abhängigkeit vom geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$  beim ebenen Fall der Teilflächenbelastung – eigene Berechnungsergebnisse**

Zur weiteren Absicherung werden die Versuchsreihen von WURM / DASCHNER, bei denen Versuchskörperscheiben unterschiedlicher Bewehrungsgrade unter sonst gleichen Randbedingungen untersucht wurden, einzeln betrachtet.

In die Auswertung werden dabei nur diejenigen Versuchskörper aufgenommen, die eine außenliegende, an den lastparallelen Bauteilseiten umgelenkte oder verankerte Bewehrung aufwiesen. Diese muss zudem gleichmäßig im ST. VENANT'schen Einleitungsbereich verteilt oder ausgehend von der belasteten Oberfläche abgestuft angeordnet sein. Bei den ebenen Fällen werden weiterhin Versuchskörper ausgeschlossen, die einen Bewehrungsgrad von  $\rho_{1d} > 1\%$  aufweisen, da bei diesen Bauteilen ein Versagen in Dickenrichtung maßgebend werden kann.

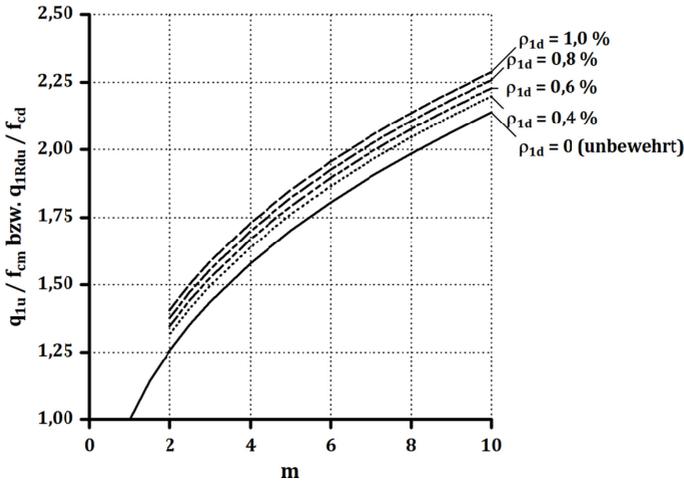
Die Ergebnisse der durchgeführten Parameterstudie (Kap. 7, S. 140 ff.) verdeutlichen, dass die maximalen Dehnungen in der Bewehrung bei Erreichen der Grenztragfähigkeit mit Überschreiten des Mindestspaltzugbewehrungsgrads nicht mehr die Fließgrenze erreichen. Auch die in früheren Versuchen häufig eingesetzten Betonstähle mit Fließspannungen unterhalb von  $f_{ym} = 550 \text{ N/mm}^2$  (Betonstahl B500) sind daher nicht in allen Fällen über ihre Streckgrenze belastet worden. Daher erfolgt die Auswertung der Versuchsdaten in Bezug auf den geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$ . Bild 8-2 zeigt die Ergebnisse für die ausgewählten Versuchsdaten von WURM / DASCHNER [Wur-1983].



**Bild 8-2: Maximale Lastflächenspannungen in Abhängigkeit vom geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$  beim ebenen Fall der Teilflächenbelastung – ausgewählte Versuchsergebnisse von WURM / DASCHNER [Wur-1983]**

Für die Versuchsdaten werden die auf den Bewehrungsgrad bezogenen Zunahmen der Lastflächenspannungen aus den Steigungen der Regressionsgeraden bestimmt und ergeben sich zu  $R = 0,153 \div 0,433$ . Diese Werte stimmen für mäßige Lastkonzentrationen von  $m = 2 \div 4$  sehr gut mit denen der eigenen Berechnungsergebnisse überein. Die Versuchsergebnisse von WURM / DASCHNER deuten an, dass die Wirkung der Spaltzugbewehrung bei hohen Lastkonzentrationen ebenfalls ansteigt, weitere experimentelle Belege liegen hierzu aber nicht vor.

Auf Grundlage der eigenen Berechnungsergebnisse sowie der betrachteten Versuchsdaten wird daher die auf den Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$  bezogene Erhöhung der ertragbaren Lastflächenspannungen für die ebenen Fälle der Teilflächenbelastung unter den genannten Randbedingungen konservativ mit  $R = 0,15$  gewählt. Der eigene Ansatz zur Bestimmung der bewehrungsbeeinflussten ertragbaren Lastflächenspannungen wird auf Lastkonzentrationen von  $m = 2 \div 10$  beschränkt, da zum Tragverhalten bei sehr geringen sowie sehr großen Lastkonzentrationen nicht ausreichende experimentelle Belege vorliegen. Bild 8-3 zeigt die aus den getroffenen Annahmen resultierenden rechnerischen Lastflächenspannungen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit.



**Bild 8-3:** Rechnerische Lastflächenspannung bei Erreichen der Grenztragfähigkeit von zentrisch teilflächenbelasteten Bauteilen des ebenen Falls in Abhängigkeit vom geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$

Die Auswertung des Bemessungsansatzes für die in der Versuchsdatenbank erfassten bewehrten Probekörper des ebenen Falls ergibt Verhältnisse zwischen den rechnerisch und experimentell ermittelten Lastflächenspannungen  $q_{1u,calc}/q_{1u,exp}$ , die einen Mittelwert von 1,007, eine Standardabweichung von 0,102 und einen Variationskoeffizienten von 0,101 aufweisen. Im Vergleich zu den vorgestellten empirischen Bemessungsansätzen (vgl. Kap. 3.2.6, S. 57 ff.) gelingt die rechnerische Abbildung der Versuchsergebnisse mit dem eigenen Bemessungsmodell hinsichtlich des Mittelwerts sowie der Streuungen der Ergebnisse deutlich genauer.

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse wird der eigene Bemessungsansatz an folgende Randbedingungen gekoppelt:

- Zur Vermeidung eines vorzeitigen Bauteilversagens in Dickenrichtung wird die Bauteilabmessung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Druckspannungen in Bezug auf die Bauteilbreite auf mindestens  $t = d/4$  (entsprechend Versuchskörpern von WURM / DASCHNER) und der maximal anrechenbare Bewehrungsgrad auf  $\rho_{1d} = 1\%$  festgelegt.
- Die Spaltzugbewehrung ist außenliegend, an den lastparallelen Bauteilseiten umgelenkt oder verankert und gleichmäßig im ST. VENANT'schen Einleitungs-bereich verteilt oder von der belasteten Oberfläche abgestuft angeordnet.

Weitere Hinweise zur konstruktiven Durchbildung von Bauteilen unter zentrischer Teilflächenbelastung des ebenen Falls werden in Kapitel 8.4 zusammengestellt.

### 8.2.3 Räumliche Fälle

Bei Bauteilen des räumlichen Falls der Teilflächenbelastung kann der Traganteile der unbewehrten Bauteile entsprechend der Auswertung der Versuchsdatenbank sehr gut mit dem Quadratwurzel-Ansatz beschrieben werden. Für diese Fälle entspricht der Ansatz den Angaben der DIN 1045-1 [DIN-2008] und des Eurocodes 2 [EC-2008] [EC-2010].

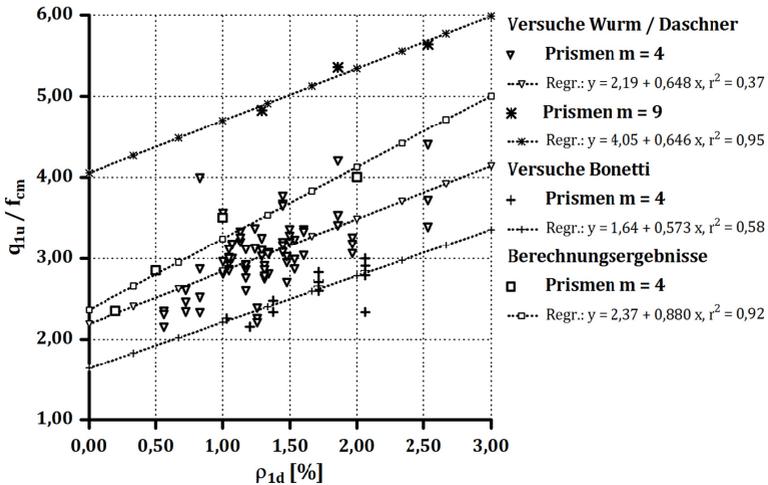
Die maximalen Lastflächenspannungen bestimmen sich in Abhängigkeit von der Lastkonzentration  $m$  zu

$$\left(\frac{q_{1w}}{f_{cm}}\right)_{unbew,r} = \sqrt[2]{m}. \quad \text{Gl. 8-4}$$

Die Auswertung der Datenbank zeigt, dass die Grenztragfähigkeit unbewehrter Bauteile des räumlichen Falls durch die Anordnung von Spaltzugbewehrung signifikant ansteigt. Für die Gesamtheit der Versuchsdaten kann die Zunahme in Abhängigkeit von der Lastkonzentration  $m$  mit einem Faktor von  $(m^{0,21} - 1)$  beschrieben werden (vgl. Kap. 3.2, S. 50 ff.).

Aus den Daten der Versuchsdatenbank sind mittels einer Korrelationsanalyse die auf den geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}^*$  bezogenen Steigerungen der Grenztragfähigkeit abgeleitet worden (Kap. 3.2.4, S. 53). Die Gesamtheit der Versuchsdaten zeigt jedoch auch bei den räumlichen Fällen aufgrund der Heterogenität der genutzten Versuchsrandbedingungen starke Streuungen der bewehrungsbedingten Einflüsse.

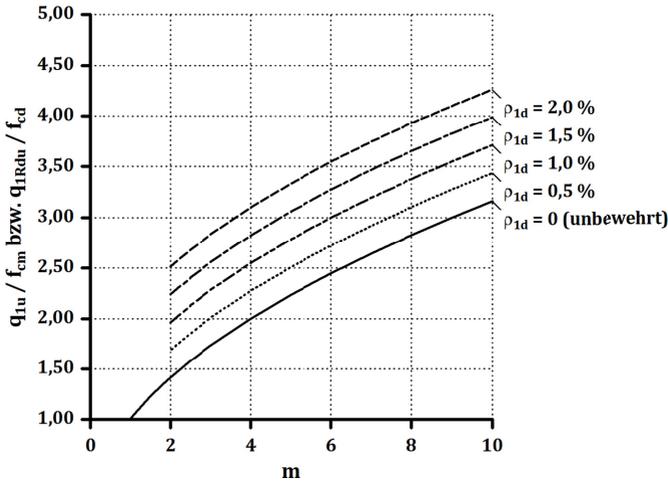
Ergänzend zu den eigenen Berechnungsergebnissen zum räumlichen Fall der Teilflächenbelastung werden die Ergebnisse der Versuchsreihen von WURM / DASCHNER [Wur-1977] und BONETTI [Bon-2005] betrachtet. Die Versuchskörper wurden jeweils mit unterschiedlichen Bewehrungsgraden unter sonst gleichen Randbedingungen untersucht. In die Auswertung werden dabei wiederum nur diejenigen Versuchskörper aufgenommen, die eine außenliegende, an den lastparallelen Bauteilseiten umgelenkte oder verankerte Bewehrung aufwiesen, die gleichmäßig verteilt oder gestuft angeordnet wurde. Die Abhängigkeit der maximalen Bewehrungsdehnungen von den Bewehrungsgraden der Versuchskörper erfordert wiederum die Auswertung der Versuchsdaten in Bezug auf den geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$ . Bild 8-4 zeigt die Ergebnisse der eigenen Berechnungen und der ausgewählten Versuchsdaten im Vergleich.



**Bild 8-4:** Maximale Lastflächenspannungen in Abhängigkeit vom geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$  beim räumlichen Fall der Teilflächenbelastung – eigene Berechnungs- und ausgewählte Versuchsergebnisse

Die Versuchsdaten und eigenen Berechnungsergebnisse zeigen für die Lastkonzentration von  $m = 4$  zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den ermittelten maximalen Lastflächenspannungen. Diese Abweichungen resultieren aus den unterschiedlichen Randbedingungen, die in den Versuchen und Berechnungen zugrunde gelegt wurden. Hinsichtlich der Einflüsse der Spaltzugbewehrung auf die Steigerung der Lastflächenspannungen ergeben sich hingegen sehr gute Übereinstimmungen. Die Bewehrungsgrad bezogenen Erhöhungen der Lastflächenspannungen nehmen für  $m = 4$  die Werte  $R = 0,573 \div 0,880$  an. Für die Lastkonzentration  $m = 9$  ergibt sich  $R = 0,648$ . Auf Grundlage der Auswertung wird die bezogene Steigerung der maximal ertragbaren Lastflächenspannungen für die räumlichen Fälle der Teilflächenbelastung konservativ mit  $R = 0,55$  angesetzt.

Der eigene Ansatz wird auf Lastkonzentrationen von  $m = 2 \div 10$  beschränkt, da durch experimentelle Untersuchungen [Wur-1977] [Niy-1975] [Ahm-1998] belegt ist, dass sich das Tragverhalten bewehrter Bauteile in diesen Bereich gleicht. Bild 8-5 zeigt die aus den getroffenen Annahmen resultierenden rechnerischen Lastflächenspannungen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit.



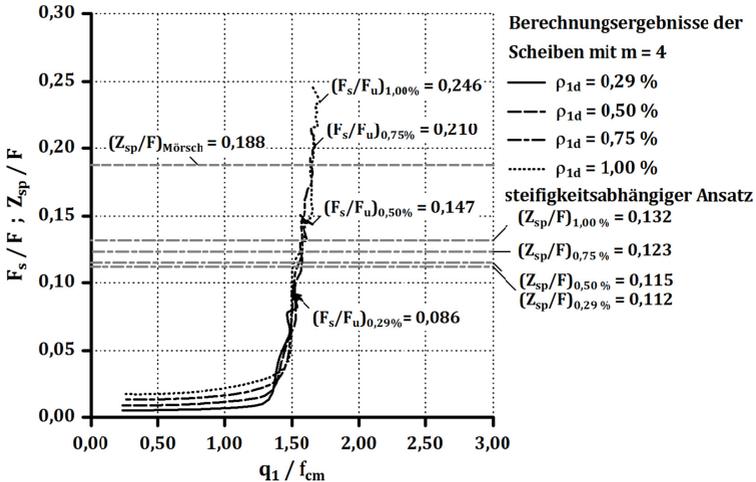
**Bild 8-5:** Rechnerische Lastflächenspannung bei Erreichen der Grenztragfähigkeit von zentrisch teilflächenbelasteten Bauteilen des räumlichen Falls in Abhängigkeit vom geometrischen Bewehrungsgrad  $\rho_{1d}$

Die Überprüfung des Bemessungsansatzes anhand der bewehrten Probekörper der Versuchsdatenbank führt zu Verhältnissen zwischen den rechnerisch und experimentell ermittelten Lastflächenspannungen  $q_{1u,calc}/q_{1u,exp}$ , die einen Mittelwert von 0,939, eine Standardabweichung von 0,292 und einen Variationskoeffizienten von 0,314 aufweisen. Im Vergleich zu den vorgestellten empirischen Ansätzen (vgl. Kap. 3.2.6, S. 57 ff.) wird die Abbildung der Versuchsergebnisse mit dem eigenen Bemessungsmodell hinsichtlich des Mittelwerts verbessert. Die Streuung der Ergebnisse bleibt aufgrund der heterogenen Versuchsdaten relativ groß.

Der maximale Bewehrungsgrad wird mit  $\rho_{1d} = 2,0 \%$  angenommen, da nur wenige Ergebnisse von Versuchskörpern mit höheren Bewehrungsgraden vorliegen. Die eigenen Berechnungen zeigen zudem, dass das Versagen bei hoch bewehrten Bauteilen auch außerhalb des Krafteinleitungsbereichs auftreten kann. Aufgrund der großen einleitbaren Kräfte ist in jedem Fall sicherzustellen, dass die Druckspannung am Ende des Krafteinleitungsbereichs bei  $x/d = 1,0$  die einaxiale Betondruckfestigkeit nicht überschreitet. Weitere Angaben zur konstruktiven Durchbildung von Bauteilen unter zentrischer Teilflächenbelastung des räumlichen Falls werden in Kapitel 8.4 aufgeführt.

### 8.3 Resultierende Zugkräfte in der Spaltzugbewehrung

Die im Rahmen der Parameterstudie (Kap. 7.2, S. 142 ff.) erzielten Berechnungsergebnisse verdeutlichen, dass die auftretenden Dehnungen und resultierenden Zugkräfte in der Bewehrung von der konstruktiven Durchbildung und dem Bewehrungsgrad des Bauteils abhängen. Bild 8-6 zeigt die Entwicklung der bezogenen Bewehrungszugkräfte der Scheiben mit der vorgeschlagenen gestuften Bewehrungsanordnung nach Bild 7-14 (Gruppe 3M).



**Bild 8-6:** Bezogene Bewehrungszugkräfte  $F_s/F$  der Scheiben (Gruppe 3M,  $f_{cm} = 38 \text{ N/mm}^2$ ) und steifigkeitsabhängige bezogene Spaltzugkräfte  $Z_{sp}/F$

Die in den Modellen berechneten Bewehrungszugkräfte erhöhen sich auch nach der Spaltrissbildung, die bei einer Lastflächenspannung von  $q_1/f_{cm} = 1,10 \div 1,20$  eintritt, nur geringfügig, da sich im annähernd über die gesamte Höhe gerissenen Bauteil Umlagerungen einstellen. Mit Annäherung an die Grenztragfähigkeit wachsen die Bewehrungszugkräfte ab Lastflächenspannungen von  $q_1/f_{cm} = 1,35 \div 1,40$  stark an. Die zusätzlichen Beanspruchungen resultieren aus den plastischen Bruchprozessen im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich.

Ergänzend sind in Bild 8-6 die steifigkeitsabhängigen Spaltzugkräfte für die betrachteten Scheiben eingetragen, die mit den Angaben in Tabelle 8-1 bestimmt sind.

**Tabelle 8-1: Bestimmung der bezogenen steifigkeitsabhängigen Spaltzugkraft für die Scheiben mit der Bewehrungsanordnung der Gruppe 3M**

| $\rho_{1d}$    | [-]  | 0,29 % | 0,50 % | 0,75 % | 1,00 % | Bemerkung   |
|----------------|------|--------|--------|--------|--------|---|
| $\alpha_E$     | [-]  | 7,07   | 7,07   | 7,07   | 7,07   | Verhältnis der E-Moduln   |
| $d_s$          | [mm] | 10     | 10     | 10     | 10     | Stabdurchmesser   |
| $\rho_{1d}$    | [-]  | 0,29 % | 0,50 % | 0,75 % | 1,00 % | geometrischer Bewehrungsgrad  |
| $\rho_{gr}$    | [-]  | 0,53 % | 0,53 % | 0,53 % | 0,53 % | Grenzbewehrungsgrad für Bestimmung des Dehnsteifigkeitszustands (Gl. 5-5) |
| $2l_{es}$      | [m]  | 0,958  | 0,556  | 0,370  | 0,278  | doppelte Einleitungslänge (Gl. 5-8)                                       |
| $l$            | [m]  | 0,34   | 0,34   | 0,34   | 0,34   | Länge der Spaltzugbewehrung zwischen den Verankerungsstellen              |
| $l/2l_{es}$    | [-]  | 0,35   | 0,61   | 0,92   | 1,22   | Verhältnis Bewehrungsstablänge - doppelte Einleitungslänge                |
| Zugstrebenart  |      | kurz   | kurz   | kurz   | lang   | $l/2l_{es} \geq 1$ : lang; $l/2l_{es} < 1$ : kurz                         |
| $c_{cr,k}/c_c$ | [-]  | 0,047  | 0,058  | 0,111  | -      | bezogene Steifigkeit des gerissenen Bauteils nach Gl. 5-14                |
| $c_{cr,l}/c_c$ | [-]  | -      | -      | -      | 0,189  | bezogene Steifigkeit des gerissenen Bauteils nach Gl. 5-11                |
| $Z_{sp}/F$     | [-]  | 0,112  | 0,115  | 0,123  | 0,132  | bezogene steifigkeitsabhängige Spaltzugkraft nach Gl. 5-17                |

Bei dem Modell, das den Mindestspaltzugbewehrungsgrad von  $\rho_{1d} = 0,29\%$  aufweist, liegt bei Erreichen der Grenztragfähigkeit eine bezogene Bewehrungszugkraft von  $F_s/F = 0,086$  vor. Eine Steigerung der Bewehrungszugkraft durch Zusatzdehnungen ist nur begrenzt möglich, da die Bewehrung bereits bei Annäherung an die Grenztragfähigkeit in allen Lagen die Fließgrenze erreicht hat. Bei den Modellen mit höheren Bewehrungsgraden ist die Bewehrung aus den Spaltzugeffekten geringer beansprucht, so dass die aus den plastischen Bruchprozessen folgenden Dehnungszuwächse zu maßgebenden Erhöhungen der resultierenden Zugkräfte führen.

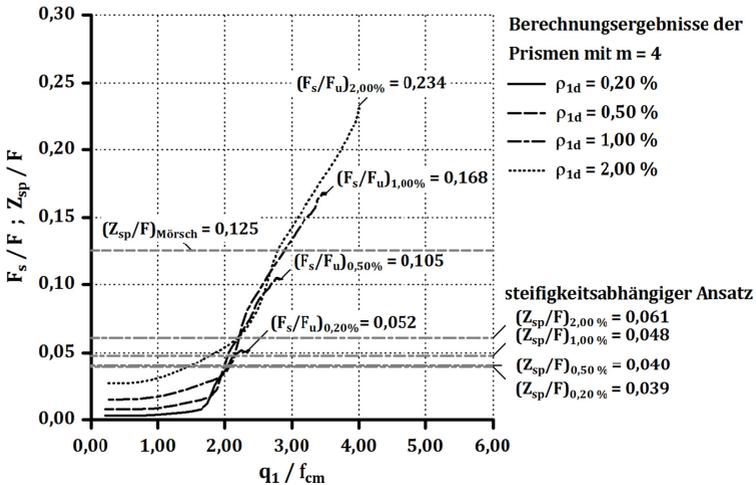
Der Vergleich der bezogenen Spaltzugkraft nach MÖRSCH von  $Z_{sp}/F = 0,188$  mit den Bewehrungszugkräften zeigt, dass die auf diesem Ansatz basierenden Kräfte erst in den hoch bewehrten Bauteilen und infolge der Zusatzbeanspruchungen aus den plastischen Bruchprozessen erreicht werden.

Die Auswertung der eigenen Ansätze zu den steifigkeitsabhängigen Spaltzugkräften des gerissenen Bauteils (Kap. 5.4.5, S. 94 ff.) führt in Kombination mit den Annahmen für die Steifigkeitsverhältnisse (Kap. 5.3.2, S. 76 ff.) bei den betrachteten Scheiben zu bezogenen Kräften von  $Z_{sp}/F = 0,112 \div 0,132$ . Diese sind im Vergleich zum Ansatz nach MÖRSCH um 30 %  $\div$  40 % geringer. Die mit den eigenen Ansätzen bestimmten Spaltzugkräfte weisen eine gute Übereinstimmung mit der Bewehrungszugkraft des Modells mit  $\rho_{1d} = 0,29\%$  auf. In den höher bewehrten Modellen treten infolge der

Zusatzbeanspruchungen größere Bewehrungszugkräfte auf, die durch den vorliegenden Ansatz nicht beschrieben werden können.

Ergänzend erfolgt die entsprechende Auswertung für die berechneten Prismen mit der gestuften Bewehrungsanordnung nach Bild 7-14 (Gruppe 3M). Bild 8-7 zeigt die Entwicklung der bezogenen Bewehrungszugkräfte im Vergleich zu den Spaltzugkräften nach den steifigkeitsabhängigen Ansätzen.

Die bezogenen Bewehrungszugkräfte steigen wie bei den Scheiben zunächst nur langsam an. Ab einer Lastflächenspannung von  $q_1/f_{cm} = 1,30 \div 1,60$  entstehen erste Spaltrisse, der Einfluss auf die Bewehrungszugkräfte bleibt aber gering. Mit Erreichen einer Lastflächenspannung von  $q_1/f_{cm} = 1,80 \div 2,10$  wachsen die Bewehrungszugkräfte in allen Modellen stark an. Die zusätzlichen Bewehrungsbeanspruchungen resultieren aus den einsetzenden plastischen Bruchprozessen im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich. Die maximalen Bewehrungszugkräfte treten bei Erreichen der Grenztragfähigkeit auf. Die Größe der auftretenden Zugkräfte steigt mit dem Bewehrungsgrad und der damit verbundenen Zunahme der Steifigkeit und der Höhe der ertragbaren Zusatzspannungen bei Eintreten der plastischen Bruchprozesse.



**Bild 8-7: Bezogene Bewehrungszugkräfte  $F_s/F$  der Prismen (Gruppe 3M) und steifigkeitsabhängige bezogene Spaltzugkräfte  $Z_{sp}/F$**

Entsprechend den Ergebnissen bei den untersuchten Scheiben wird die bezogene Spaltzugkraft nach MÖRSCH von  $Z_{sp}/F = 0,125$  erst in den höher bewehrten Bauteilen und infolge der Zusatzbeanspruchungen aus den plastischen Bruchprozessen erreicht. Die Auswertung der eigenen Ansätze führt bei den betrachteten Prismen zu bezogenen Kräften von  $Z_{sp}/F = 0,039 \div 0,061$ . Im Vergleich zum Ansatz nach MÖRSCH sind

diese 51 % ÷ 69 % geringer. Die mit den eigenen Ansätzen bestimmten Spaltzugkräfte liegen auf dem Niveau der Bewehrungszugkräfte des Modells mit  $\rho_{1d} = 0,20$  %.

Die Auswertung zeigt exemplarisch für die untersuchten Scheiben und Prismen, dass die Bewehrungszugkräfte in Bauteilen mit geringen Bewehrungsgraden bei Erreichen der Grenztragfähigkeit weitgehend aus den Spaltzugbeanspruchungen infolge der Umlenkung der Druckspannungstrajektorien resultieren. Beim Eintreten der plastischen Bruchzustände im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich sind keine wesentlichen Steigerungen möglich, da bereits in allen Lagen der Bewehrung die Fließgrenze überschritten ist.

Der Vergleich der bezogenen Zugkräfte in der Bewehrung mit den steifigkeitsabhängigen Spaltzugkräften zeigt bei den gering bewehrten Bauteilen eine gute Übereinstimmung. Die Bewehrungszugkräfte können daher bei Bauteilen, bei denen die Bewehrung nicht maßgeblich zur Erhöhung der Grenztragfähigkeit beiträgt, mit den eigenen Ansätzen bestimmt werden. Als Grenzbewehrungsgrad, ab dem wesentliche bewehrungsbedingte Tragfähigkeitserhöhungen auftreten, kann der definierte Mindestspaltzugbewehrungsgrad (Kap. 4.3, S. 67 ff.) angenommen werden. Die Bemessung der Spaltzugbewehrung erfolgt bei diesen Bauteilen unter dem Ansatz der Fließspannung im Betonstahl.

Bei Bauteilen mit höheren Bewehrungsgraden sind die bei Erreichen der Grenztragfähigkeit auftretenden Dehnungszustände und resultierenden Zugkräfte in der Bewehrung durch nichtlineare Berechnungen unter Berücksichtigung der plastischen Bruchprozesse bestimmbar.

### 8.4 Konstruktive Durchbildung

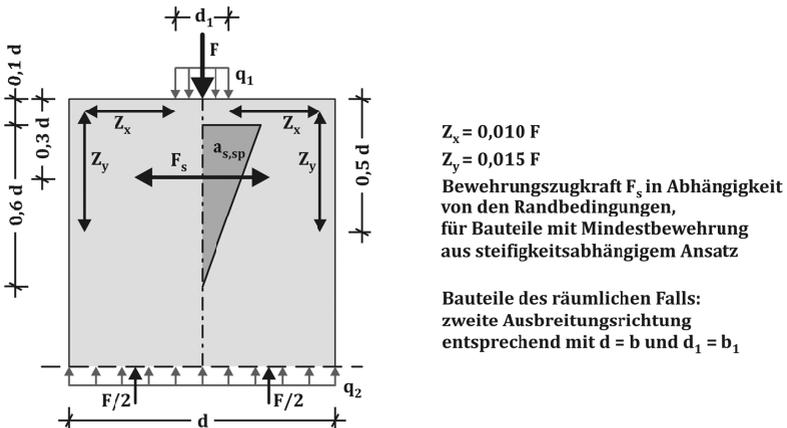
Die Parameterstudie an Modellen mit außenliegenden, bis an die lastparallelen Bauteilseiten verlaufenden Spaltzugbewehrungen unterschiedlicher Anordnung zeigt, dass im ST. VENANT'schen Einleitungsbereich gleichmäßig verteilte oder von der belasteten Oberfläche abgestuft angeordnete Bewehrungen vergleichbar gute Eigenschaften hinsichtlich der ertragbaren Lastflächenspannungen und den auftretenden Riss- und Verformungszuständen aufweisen.

Die näheren Betrachtungen verdeutlichen, dass die Verteilung der Beanspruchungen in den Bewehrungen besonders bei Bauteilen mit Bewehrungsgraden über dem Mindestspaltzugbewehrungsgrad durch die Zusatzbeanspruchungen aus den plastischen Bruchprozessen im unmittelbaren Krafteinleitungsbereich bestimmt wird. Eine gestufte Bewehrungsanordnung im Bereich von  $x/d = 0,1 \div 0,7$  mit dem Schwerpunkt der Bewehrungsfläche bei  $x/d = 0,3$  zeigt in Modellen zum ebenen und räumlichen Fall eine sehr gute Eignung. Infolge der gleichmäßigeren Dehnungsverteilung auf die

Bewehrungslagen werden mit dieser Bewehrungsanordnung die Körperrückbildung behindert, die Spalttrissbreiten begrenzt und hohe Lastflächenspannungen erreicht.

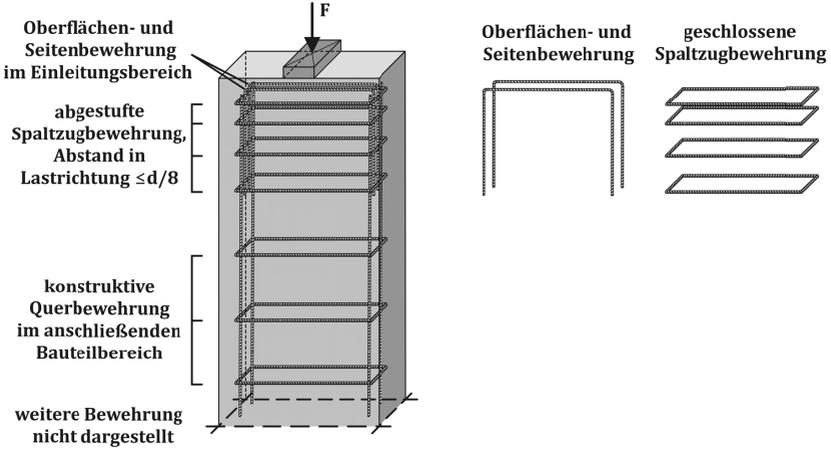
Zur Vermeidung eines spröden Bauteilversagens bei eintretender Spalttrissbildung ist die Anordnung einer Mindestspaltzugbewehrung erforderlich. Der Mindestspaltzugbewehrungsgrad ergibt sich aus den Berechnungen in Kapitel 4.3 (S. 67 ff.) in Abhängigkeit von der Betonzugfestigkeit.

In den eigenen Berechnungen werden ausschließlich senkrecht zur eingeleiteten Druckkraft verlaufende Spaltzugbewehrungslagen berücksichtigt. Im Bereich der belasteten Oberfläche und an den Seitenrändern der Bauteile nahe der Lasteinleitung treten infolge von Kraftumlagerungen und lokaler Spannungsspitzen Zugbeanspruchungen auf, die gemäß LEONHARDT [Leo-1986] und SPITZ [Spi-1959] konstruktiv abgedeckt werden können. Zur konstruktiven Durchbildung sollten aufgrund der weiten Verteilung Bewehrungsstäbe mit geringen Durchmessern in mehreren Lagen verwendet werden (vgl. [Leo-1977]). Als Anhaltswert für den maximalen Abstand der Bewehrungslagen in Richtung der eingeleiteten Kraft kann dabei  $d/8$  gewählt werden. Für die sichere Verankerung der Spaltzugbewehrung sind geschlossene Bewehrungsformen wie z. B. Bügel oder Wendeln geeignet, die wie bei der Querbewehrung von Stützen mit 135°-Haken ausgeführt werden. Alternativ ist das Verschweißen der Stabenden möglich. Bild 8-8 zeigt die auf den Ergebnissen der Untersuchungen basierenden Ansätze für die Bemessung zentrisch teilflächenbelasteter Bauteile des ebenen und räumlichen Falls. In Bild 8-9 sind Beispiele für die konstruktive Durchbildung dargestellt.

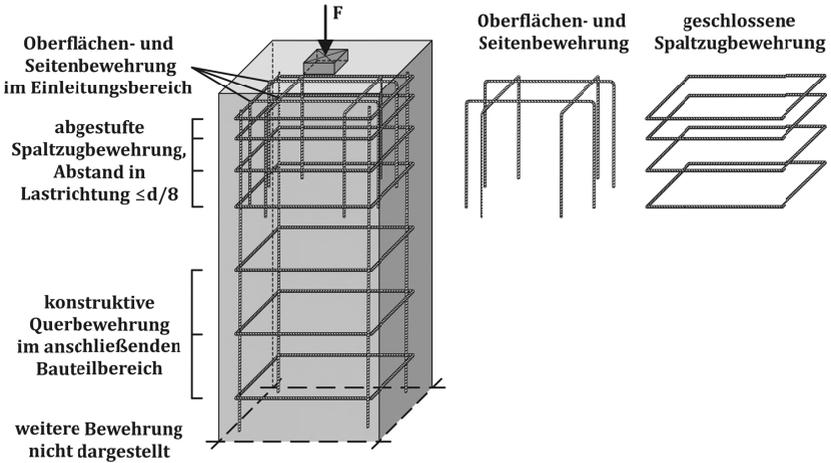


**Bild 8-8:** Ansätze für die konstruktive Durchbildung von zentrisch teilflächenbelasteten Bauteilen des ebenen und räumlichen Falls

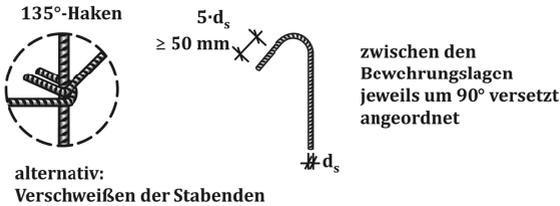
**Konstruktive Durchbildung bei Bauteilen des ebenen Falls**



**Konstruktive Durchbildung bei Bauteilen des räumlichen Falls**



**Schlossausbildung der Spaltzugbewehrung**



**Bild 8-9: Beispiele für die konstruktive Durchbildung von zentrisch teillächenbelasteten Bauteilen des ebenen und räumlichen Falls**

---

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Die Teilflächenbelastung von Betonbauteilen tritt in der Baupraxis in vielen unterschiedlichen Anwendungsfällen auf. Zur Lösung der damit verbundenen Bemessungsaufgaben werden überwiegend empirische Ansätze und Ingenieurmodelle genutzt, die auf Grundlage ungerissener Bauteile abgeleitet und auf bewehrte Bauteile übertragen wurden.

Der Vergleich von Versuchsergebnissen – besonders jener von bewehrten Bauteilen – mit den Resultaten bestehender Bemessungsansätze zeigt, dass der rechnerische Tragwiderstand von den experimentell erzielten Ergebnissen häufig deutlich übertroffen wird. Eine realitätsnahe Bestimmung der Tragfähigkeit der bewehrten Bauteile ist auf Basis dieser vereinfachten Ansätze daher nur Sonderfällen möglich.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgt in einem ersten Schritt die vergleichende Zusammenstellung des aktuellen Stands der Kenntnisse zur Teilflächenbelastung von Betonbauteilen. Hierbei werden neben den unterschiedlichen Ansätzen zur Ermittlung der auftretenden Spaltzugkräfte auch die Modelle zur rechnerischen Bestimmung der Grenztragfähigkeit zentrisch teilflächenbelasteter Bauteile betrachtet.

Die Analyse der unterschiedlichen Ansätze und Modelle zeigt sehr große Unterschiede hinsichtlich der Größe und Verteilung der Spaltzugbeanspruchungen sowie der erreichbaren Grenztragfähigkeiten. Zur Beurteilung dieser Abweichungen werden daher Ergebnisse experimenteller Untersuchungen an teilflächenbelasteten Probekörpern in einer Versuchsdatenbank zusammengestellt. Auf Basis dieser Versuchsdaten erfolgt anschließend eine Analyse und Auswertung, anhand derer die Einflüsse der Spaltzugbewehrung auf das Tragverhalten festgestellt wird.

Verschiedene experimentelle Untersuchungen an teilflächenbelasteten Bauteilen belegen, dass die Spaltrissbildung einen maßgebenden Einfluss auf das Trag- und Verformungsverhalten teilflächenbelasteter Bauteile hat. Da erst nach der Bildung von Spaltrissen entscheidende Beanspruchungen in der Spaltzugbewehrung auftreten, erfolgt die nähere Betrachtung des Zustands bei Eintreten der Erstrissbildung. Hierzu werden die Spannungszustände in Krafteinleitungsbereichen untersucht und unter Nutzung eines Versagenskriteriums für die mehraxialen Beanspruchungszustände im Beton ausgewertet. Auf Basis der Ergebnisse werden die bei der Spaltrissbildung frei werdenden Zugkräfte ermittelt und hieraus diejenige Mindestspaltzugbewehrung abgeleitet, die ein schlagartiges Versagen des Bauteils vermeiden kann.

Zur Untersuchung der Auswirkungen der Spaltrissbildung auf die Größe und Verteilung der Spaltzugbeanspruchungen werden numerische Untersuchungen an vereinfachten Modellen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Körpersteifigkeit senkrecht zur

eingeleiteten Druckkraft durch die auftretenden Spaltzugrisse deutlich reduziert wird. Die in der Folge auftretenden Körperverformungen ermöglichen Kraftumlagerungen, die zu einer direkteren Abtragung der eingeleiteten Druckkräfte bei gleichzeitig reduzierten Spaltzugbeanspruchungen führen. Auf Basis der Ergebnisse einer numerischen Studie wird ein Ansatz zur steifigkeitsabhängigen Bestimmung der Spaltzugkraft angegeben.

Zur computergestützten Untersuchung unterschiedlicher konstruktiver Durchbildungen eignet sich die Finite-Elemente-Methode sehr gut. Bei der numerischen Behandlung teilflächenbelasteter Körper sind jedoch nähere Untersuchungen zur Modellierung erforderlich, da die auftretenden mehraxialen Beanspruchungszustände sowie die Abhängigkeit des Tragverhaltens von der Körperverformung komplexe Randbedingungen darstellen. Im Rahmen dieser Arbeit werden daher grundlegende Analysen zur Abbildung des Beton-Materialverhaltens sowie des Verbunds zwischen Betonstahlbewehrung und Betonmatrix vorgenommen. Die auf Basis der Zusatzbetrachtungen erstellten Modelle zur Berechnung bewehrter teilflächenbelasteter Bauteile des ebenen und räumlichen Falls zeigen in der Nachrechnung verschiedener Versuchskörper eine sehr gute Abbildegenauigkeit.

Hierauf aufbauend werden in einer Parameterstudie verschiedene konstruktive Durchbildungen teilflächenbelasteter Scheiben vergleichend untersucht. Neben den in sechs charakteristische Gruppen unterteilten Bewehrungsanordnungen erfolgt die Betrachtung unterschiedlicher Bewehrungsgrade. Die Ergebnisse zeigen, dass die Modelle mit gleichmäßiger bzw. gestufter Bewehrungsanordnung im ST. VENANT'schen Einleitungsbereich annähernd gleiche Trag- und Verformungsverhalten aufweisen. Die Betrachtungen verdeutlichen zudem, dass konzentrierte oder über  $x/d = 1,0$  hinaus verteilte Anordnungen der Spaltzugbewehrung unzweckmäßig sind, da sie zu einer ungleichmäßigen Bewehrungsausnutzung, geringeren Grenztragfähigkeiten sowie einer verstärkten Rissbildung führen können.

Die bei Annäherung an die Grenztragfähigkeit im Bereich der unmittelbaren Lasteinleitung auftretenden plastischen Zustände führen zu einer keilförmigen Körperaufweitung, die durch keine der betrachteten Bewehrungsanordnungen wirksam behindert wird. Bei Bauteilen, die den Mindestspaltzugbewehrungsgrad übertreffen, dominieren diese Effekte die Beanspruchungen der Bewehrungen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit. In der Folge stellen sich sehr ungleichmäßige Verteilungen der Dehnungen in den unterschiedlichen Bewehrungslagen ein. Eine angepasste Anordnung, bei der die Bewehrung von  $x/d = 0,1 \div 0,7$  abgestuft vorgesehen wird, kann die oberflächennahe Körperaufweitung vermeiden oder zumindest behindern. Die gleichmäßigere Dehnungsverteilung zwischen den Bewehrungslagen begrenzt zudem die

Breite der zentrischen Spaltresse und führt zusätzlich zu geringen Steigerungen der ertragbaren Lastflächenspannungen.

Im Gegensatz zu vielen bestehenden Annahmen belegen die eigenen numerischen Untersuchungen, dass die Beanspruchung der Spaltzugbewehrung nicht nur aus den Spaltzugkräften infolge der Umlenkung der Druckspannungstrajektorien, sondern in Abhängigkeit vom Bewehrungsgrad zusätzlich auch aus der Aufweitung des Körpers infolge der Bruchprozesse des Betons im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich resultiert. Die Auswertungen verdeutlichen, dass die Anteile der Bewehrungszugkräfte, die bei Erreichen der Grenztragfähigkeit aus den plastischen Bruchprozessen herrühren, mit steigendem Bewehrungsgrad zunehmen. Infolge der höheren Querdehnsteifigkeit des Bauteils sinken gleichzeitig die auftretenden Dehnungen in der Bewehrung. Die geweckten Zugkräfte in der Spaltzugbewehrung bewirken eine zusätzliche Umschnürung der plastischen Bruchzone, die bei Bauteilen des ebenen Falls zu mäßigen, bei denen des räumlichen Falls zu erheblichen Erhöhungen der ertragbaren Lastflächenspannungen führen.

Bei bewehrten Bauteilen, die den Mindestspaltzugbewehrungsgrad aufweisen, stellen sich hingegen keine wesentlichen Zusatzkräfte in den Bewehrungen ein, da in diesen bei Eintreten der plastischen Bruchprozesse im Beton bereits Spannungen über der Fließgrenze erreicht sind.

Für zentrisch teilflächenbelastete Bauteile des ebenen und räumlichen Falls werden auf Basis der Untersuchungsergebnisse sowie der zusammengestellten Versuchsdaten semiempirische Bemessungsansätze abgeleitet, bei denen der Einfluss der Spaltzugbewehrung auf die Grenztragfähigkeit berücksichtigt wird. Die rechnerische Bestimmung der Zugkräfte in der Spaltzugbewehrung kann in gering bewehrten Bauteilen mit den vorgestellten Ansätzen zur steifigkeitsabhängigen Spaltzugkraft erfolgen. Mit Hilfe der erarbeiteten Modellansätze für nichtlineare Berechnungen unter Berücksichtigung der plastischen Bruchprozesse können die Dehnungszustände in den Bewehrungen bei Erreichen der Grenztragfähigkeit auch bei Bauteilen mit höheren Bewehrungsgraden bestimmt werden. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse wird abschließend eine verbesserte konstruktive Durchbildung für zentrisch teilflächenbelastete Bauteile vorgeschlagen.

Die vorliegende Arbeit liefert neue Ansätze zur rechnerischen Beschreibung des Trag- und Verformungsverhaltens teilflächenbelasteter Körper unter Berücksichtigung der Rissbildung und konstruktiven Durchbildung. In den eigenen Untersuchungen werden insbesondere die Bauteilzustände bei der Erstrissbildung sowie bei Erreichen der Grenztragfähigkeit betrachtet. Die erzielten Ergebnisse ermöglichen eine realitätsnahe Berechnung bewehrter Bauteile unter zentrischer Teilflächenbelastung. Mit den

Ansätzen für die konstruktive Durchbildung dieser Bauteile ist zudem ein verbessertes Trag- und Gebrauchsverhalten erreichbar.

Die vorgestellten Untersuchungen basieren auf konstruktiven Durchbildungen mit außenliegenden, bis an die lastparallelen Bauteilseiten verlaufenden Spaltzugbewehrungen. Mit diesen konstruktiven Durchbildungen kann die Grenztragfähigkeit bei Bauteilen des ebenen Falls um bis zu 15 % gegenüber der des unbewehrten Körpers gesteigert werden. Für Bauteile des räumlichen Falls ergeben sich aufgrund des günstigeren Spannungszustands im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich bewehrungsbedingte Zunahmen von bis zu 110 %.

Mit den neuen Erkenntnissen zur Interaktion zwischen den plastischen Bruchprozessen und den auftretenden Bewehrungsbeanspruchungen wird deutlich, dass zur weiteren Steigerung der Grenztragfähigkeit eine eng um die plastische Bruchzone angeordnete Bewehrung sinnvoll ist. Diese Bewehrung kann die im unmittelbaren Lasteinleitungsbereich auftretenden Querdehnungen wirksamer begrenzen und größere Umschnürringsspannungen erzeugen. Mit den vorgestellten Ansätzen zur numerischen Berechnung können auch diese konstruktiven Durchbildungen detailliert untersucht werden.

---

## Literaturverzeichnis

### Legende

- [...] Zeitschriftenartikel, Tagungsbeitrag
- [...] Normen
- [...] Monographien, Dissertationen
- [...] Richtlinien, Forschungsberichte
- [...] Sonstiges

- [AAS-2007] American Association of State Highway and Transportation Officials (Hrsg.): AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 4th Edition, 2007.
- [ACI-1997] American Concrete Institute: ACI Design Handbook, design of structural reinforced concrete elements in accordance with the strength design method of ACI 318-95. Farmington Hills, 1997.
- [ACI-2005] American Concrete Institute: Building Code Requirements for Structural Concrete. ACI 318-05 and Commentary ACI 318R-05, 2005.
- [Ade-1990] Adebar, P.; Kuchma, D.; Collins, M. P.: Strut-and-Tie Models for the Design of Pile Caps : An Experimental Study. In: Journal of American Concrete Institut 87 (Jan. 1990), Heft Nr. 1, S. 81-92.
- [Ahm-1998] Ahmed, T.; Burley, E.; Rigden, S.: Bearing Capacity of Plain and Reinforced Concrete Loaded over a Limited Area. In: ACI Structural Journal (Mai-Jun. 1998), S. 330-342.
- [Au-1960] Au, T.; Baird, D. L.: Bearing Capacity of Concrete Blocks. In: Journal of the American Concrete Institute, Proceedings Vol. 56, No. 9. March 1960. S. 869-879, Proceedings Vol. 56, Part 2. September 1960. S.1467-1479.
- [Bal-1990] Balázs, G.: Konstruktive Aspekte der Querdehnungsbehinderung von Bau- und Werkstoffen. In: Betonbau in Forschung und Praxis. Festschrift zum 60. Geburtstag von Gyoergy Ivanyi (1999), S. 83-86. Düsseldorf : Verlag Bau und Technik.
- [Basch-2003] Basche, H. D.; Kliver J.; Schneider, H.: Das Querdehnungsverhalten hochfester und ultrahochfester Betone. In: Beton- und Stahlbeton 98 (2003), Heft Nr. 9, S. 539-544.
- [Base-1964] Base, G. D.: Reinforced Concrete Hinges. In: Symposium on Methods of Accommodating Movement in Prestressed Concrete Structures. London, Prestressed Concrete Development Group, November 1964.
- [Bau-1876] Bauschinger, J.: Versuche mit Quadern aus Naturstein. In: Mitteilungen des Mechanisch und Technischen Laboratoriums der Kgl. Technischen Hochschule München, Nr. 6, 1876.
- [Baum-1998] Baumann, P.: Die Druckfelder bei der Stahlbetonbemessung mit Stabwerkmodellen. Stuttgart, Universität, Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 1988.
- [Ber-2005] Bergmeister, K.; Wörner, J.- D.: Fertigteile und Tunnelbauwerke. In: Beton-Kalender 2005/Teil 2, S. 205- 207, Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [Bin-2008] Bindseil, P.: Massivbau. Bemessung und Konstruktion im Stahlbetonbau mit Beispielen. 4. Auflage. Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag, 2008.
- [Blei-1923] Bleich, F.: Der gerade Stab mit Rechteckquerschnitt als ebenes Problem. In: Der Bauingenieur (1923), Heft 9 und 10, S. 255-259 und 304-307.

## Literatur

---

- [Bon-2005] Bonetti, R. A.: Ultimate Strength of the Local Zone in Load Transfer Tests. Blacksburg, Virginia Polytechnic Institute and State University, Master of Science Thesis, 2005.
- [Bou-2004] Boulay, C. et al.: Safety of VHSC Structures Under Concentrated Loading: Experimental Approach. In: Magazine of Concrete Research 56 (Nov. 2004), Heft Nr. 9, S. 523-535.
- [Bor-1935] Bortsch, R.: Die Spannung in Wälzelenkquadrern. In: Beton und Eisen 34 (1935), Heft 4, S. 61-66.
- [Bor-1938] Bortsch, R.: Wälzelenke und Stelzenlager aus Eisenbeton. In: Beton und Eisen 37 (1938), Heft 19 und 20, S. 315-318 und 328-332.
- [Bre-1976] Bremer, F.; Steinsdörfer, F.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 263: Bruchfestigkeiten und Bruchverformung von Beton unter mehraxialer Belastung bei Raumtemperatur. Berlin : Verlag Ernst & Sohn, 1976.
- [Bru-1990] Bruggeling, A.: Staafwerkmodell voor het Inleiden van geconcentreerde Lasten. In: Cement (1990), Heft 11, S. 72-76.
- [BSI-1985] British Standards Institution: Structural Use of Concrete. Part 1: Code of Practice for Design and Construction. BS 8100, London, 1985.
- [Buch-1978] Buchhardt, F.: Anmerkungen zum räumlichen Problem der Lasteinleitung. In: Beton- und Stahlbetonbau 73 (1978), Heft Nr. 6, S. 140-145.
- [Bud-2008] Budek-Schmeisser, A.; Benzoni, G.: Rational Seismic Design of Precast, Prestressed Concrete Piles. In: PCI Journal (Sep.-Okt. 2008), S. 40-51.
- [Buss-2006] Bussler, L.: Hypothese von Coulomb und mehrachsige Betonfestigkeit. In: Bautechnik 83 (2006), Heft Nr. 1, S. 50-55.
- [Buss-2007] Bussler, L.: Zur Bemessung von Betonbauteilen auf Basis der Coulombschen Hypothese : Interpretation und Verifizierung experimenteller Daten. In: Bautechnik 84 (Jan. 2007), Heft Nr. 1, S. 35-40.
- [CEB-1993] Comité Euro- International du Beton: CEB - FIP Model Code 1990. Thomas Telford, 1993.
- [CEB-2010] Comité Euro- International du Beton: CEB - FIP Model Code 2010, Volume 2, 04-2010.
- [Cerv-2008] Cervenka, J.; Papanikolaou, V.: Three Dimensional Combined Fracture-Plastic Material Model for Concrete. In: International Journal of Plasticity 24 (Dez. 2008), Heft Nr. 12, S. 2192-2220.
- [Cerv-1999] Cervenka, V.; Bergmeister, K.: Nichtlineare Berechnung von Stahlbetonkonstruktionen. In: Beton- und Stahlbetonbau 94 (1999), Heft Nr. 10, S.413-419.
- [Cerv-2001] Cervenka, V.: Computersimulation in der Baupraxis. Braunschweiger Bauseminar, 2001.
- [Che-1975] Chen, W.- F.: Limit Analysis and Soil Plasticity. Elsevier, Amsterdam, 1975.
- [Che-1994] Chen, W.- F.: Constitutive Equations for Engineering Materials, Vol. 2 Plasticity and Modeling. Amsterdam : Elsevier Sciences, 1994.
- [Che-1988] Chen, W.- F.; Han, D. J.: Plasticity for Structural Engineers. New York : Springer-Verlag, 1988.
- [Che-2006] Chen, W.- F.; Lan, Y.- M.: Finite Element Study of Confined Concrete. Beitrag zum "International Symposium on Confined Concrete", Changsha, China, S. 223-233, 2006.
- [Cla-1999] Claeson, C.: Finite Element Analysis of Confined Concrete Columns. In: Proceedings of Fifth International Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete, Sandefjord, Norway, June 1999.
- [BAEL-1984] Collection Uti: Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états-limites. Règles B.A.E.L. 83. Paris : Éditions Eyrolles, 1984.
- [Col-2008] Colombo, M.; di Prisco, M.; Marco, L.: SFRC D-Regions : Size Effect in Bottle-Shaped Struts. Beitrag zum "Syposium on Fibre Reinforced Concrete : Design and Applications", Chennai, India, Sep. 2008, S. 387-397.

- [Cra-2008]** Cramer, F.: Mechanische Eigenschaften von Beton - Prüfverfahren und Modelle zur Beschreibung. Braunschweig, TU, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Seminarvortrag, 2008.
- [DAfStb-1992]** Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau (Hrsg.); Heft 425: Bemessungshilfsmittel zu Eurocode 2 Teil 1: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Berlin : Beuth Verlag, 1992.
- [DAfStb-1995]** Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau (Hrsg.): DAfStb-Richtlinie für hochfesten Beton. Berlin : Beuth Verlag, 1995.
- [DAfStb-2008]** Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau (Hrsg.); Heft 561: Sachstandsbericht „Ultrahochfester Beton“, 1. Auflage. Berlin : Beuth Verlag, 2008.
- [DAfStb-2010]** Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau (Hrsg.); Heft 525: Erläuterungen zu DIN 1045-1, 2. Auflage. Berlin : Beuth Verlag, 2010.
- [DBV-2002]** Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (Hrsg.): DBV-Merkblatt Hochfester Beton. Fassung Mär. 2002.
- [Dil-1974]** Dilger, W. H.; Jordaan, I. J.: Concrete Structures under Combined Stresses : A Review of Canadian Research. Beitrag zum Seminar „Concrete Structures Subjected to Triaxial Stresses“, IABSE Reports of the Working Commissions 19, Mai 1974.
- [DIN-1988]** DIN 1045 (1988-07): Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung.
- [DIN-2008]** DIN 1045-1 (2008-08): Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion.
- [DIN-2009-1]** DIN-Fachbericht 102 (2009-03): Betonbrücken, 3. Auflage.
- [DIN-2009-2]** DIN 488 (2009-08): Betonstahl, Teile 1 bis 3.
- [Dör-1980]** Dörr, K.: Ein Beitrag zur Berechnung von Stahlbetonscheiben unter besonderer Berücksichtigung des Verbundverhaltens. Darmstadt, TH, Konstruktiver Ingenieurbau, Dissertation, 1980.
- [Dri-1987]** Drigert, K.- A.; Zuhrt, A.: Zur Bestimmung der Einleitungskräfte bei örtlicher Krafteintragung. In: Bauplanung und Bautechnik 41 (Jun. 1987), Heft Nr. 6, S.270-273.
- [Dud-1991]** Duda, H.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 419: Bruchmechanisches Verhalten von Beton unter monotoner und zyklischer Zugbeanspruchung. Berlin : Beuth Verlag, 1991.
- [Dup-2000]** Dupont, D. et.al.: Splitting of SFRC Induced by Local Forces. Brite-EuRam BRPR-CT98-0813: Test and Design Methods for Steel Fibre Reinforced Concrete. Subtask 4.4 “ Splitting of SFRC Induced by Local Forces. Katholieke Universit at Leuven, Belgien.
- [EC-2005]** DIN EN 1992-1-1 (2005-10): Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004.
- [EC-2008]** DIN EN 1992-1-1/NA (2008-09): Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [EC-2010]** DIN EN 1992-2 (2010-12): Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln; Deutsche Fassung EN 1992-2:2005 + AC:2008.
- [Eib-1976]** Eibl, J.; Iványi, G.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 260: Studie zum Trag- und Verformungsverhalten von Beton. Berlin : Verlag Ernst & Sohn, 1976.
- [Eib-1984]** Eibl, J.; Schieferstein, M.: Beton unter mehraxialem Spannungszustand. Kurzberichte aus der Bauforschung (1984), Heft Nr. 9.
- [Eib-1968]** El-Beahry, S.: Zugkräfte in der Nähe der Ankerplatte eines im Inneren einer Rechteckscheibe verankerten Spangliedes. In: Beton- und Stahlbetonbau (1968), Heft Nr. 6, S. 135-137.

## Literatur

---

- [Eld-2006] El-Dash, K. M.; El-Mahdy, O. O.: Modeling the Stress-Strain Behavior of Confined Concrete Columns. Beitrag zum "International Symposium on Confined Concrete" Detroit, USA, S. 177-191, 2006.
- [Eli-1983] Elgehausen, R.; Popov, E.P.; Bertero, V.V.: Local Bond Stress-Slip Relationships of deformed Bars under generalized Excitations. In: Report No. UCB/EERC-83/23,. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1983, S. 162 ff.
- [Elw-2009] Elwood, K. J. et al.: Improving Column Confinement. Part 1: Assessment of Design Provisions. In: Concrete International (Nov. 2009), S.32-39.
- [Eng-1992] Engström, B.: Ductility of Tie Connections in Precast Structures. Göteborg, Chalmers University of Technology, Division of Concrete Structures, Dissertation, 1992.
- [Emp-2008-1] Empelmann, M.; Wichers, M.: Untersuchung zur Teilflächenbelastung von Betonbauteilen : Tastversuche. Investigation Report Nr. IR 2-2008 B, iBMB – Fachgebiet Massivbau, 2008
- [Emp-2008-2] Empelmann, M.; Wichers, M.: Untersuchungen zur Teilflächenbelastung von Betonbauteilen : Erhöhung der Tragfähigkeit durch neuartige Bauausführungen. Investigation Report Nr. IR 1-2009, iBMB – Fachgebiet Massivbau, 2008
- [Emp-2008-3] Empelmann, M.; Teutsch, M.; Wichers, M.; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig Materialprüfungsanstalt (MPA) für das Bauwesen (Hrsg.): Untersuchungen zur Optimierung von Tunnelübblings. 2008.
- [Emp-2008-4] Empelmann, M.; Teutsch, M.; Wichers, M.; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig Materialprüfungsanstalt (MPA) für das Bauwesen (Hrsg.): Untersuchungen von Betonbauteilen unter Teilflächenbelastung. 2008.
- [Emp-2008-5] Empelmann, M.; Teutsch, M.; Krakowski, W.; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig (Hrsg.): Microtunneling – Pressrohrvortrieb von Betonrohren. 2008.
- [Emp-2009-1] Empelmann, M.; Wichers, M.; Böhme, T.: Emsquerung für die Erdgasleitung A660 : Einsatz von Stahlfaserbewehrten Tübbing. In: Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Nr. 12, S. 882–889.
- [Emp-2009-2] Empelmann, M.; Wichers, M.: Stabwerke und Teilflächenbelastung nach DIN 1045-1 und Eurocode 2 : Modelle und Anwendungen. In: Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Heft Nr. 4, S. 226-235.
- [Esm-2006] Esmaily, A.; Lucio, K.: Analytical Performance of Reinforced Concrete Columns Using Various Confinement Models. Beitrag zum "International Symposium on Confined Concrete", Detroit USA, S.95-110, 2006.
- [Feh-2009] Fehling, E.; Leutbecher, T.; Röder, F.- K.: Zur Druck- Zug- Festigkeit von Stahlbeton und stahlfaserverstärktem Stahlbeton. In: Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Heft Nr. 8, S. 471-484.
- [Fen-1986] Fenwick, R. C.; Lee, S. C.: Anchorage Zones in Prestressed Concrete Members. In: Magazin of Concrete Research Vol. 38 No. 135 (June 1986), S. 77-89.
- [FIB-2008] International Federation for Structural Concrete: Practitioner's Guide to Finite Element Modelling in Reinforced Concrete Structures. Bulletin 45, Sprint-Digital-Druck, 2008.
- [Fin-2007] Fingerloos, F. und Stenzel, G.: Konstruktion und Bemessung von Details nach DIN 1045. In: Beton-Kalender 2007/Teil 2, S. 323-374, Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [FliB-2003] Fliß, T.: Entwicklung eines Algorithmus zum Entwurf und zur Abschätzung der mehraxialen Beanspruchungen von Mauerwerksverbänden unter Berücksichtigung der Langzeitstabilität sowie Bestimmung der Verbandsparameter, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, Technische Universität Freiberg, Dissertation, 2003.

- [Fost-1997] Foster, S. J.; Rogowsky, D. M.: Bursting Forces in Concrete Panels Resulting from In-Plane Concentrated Loads. In: Magazine of Concrete Research 49 (Sep. 1997), Heft Nr. 180, S. 231-240.
- [Fri-1996] Fritze, R.: Stahlbeton Bemessungstabellen auf Basis der ÖNORM B 4700. Wien : Mainz Verlag, 1996.
- [Ger-1980] Gerstle, K. H. et.al.: Behavior of Concrete under Multiaxial Stress States. In: Journal of the Engineering Mechanics Division 106 (Dez. 1980), Heft Nr. 6, S. 1383-1403.
- [Glä-2004] Gläser, C.; Zilch, K., TU München (Hrsg.): Verankerungsbereiche von Spannverfahren in selbstverdichtendem Beton. Massivbau 2004. Forschung, Entwicklung und Anwendungen, Springer VDI Verlag, 2004.
- [Glä-2007] Gläser, C. H.: Lastübertragung der Vorspannkraft auf Beton unter Berücksichtigung der Ausbildung der Verankerungskomponenten. In: Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau (Feb. 2007), Technische Universität München.
- [Glo-2004] Glock, C.: Traglast unbewehrter Beton- und Mauerwerkswände : Nichtlineares Berechnungsmodell und konsistentes Bemessungskonzept für schlanke Wände unter Druckbeanspruchung. Darmstadt, TU, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2004.
- [Gra-1991] Grasser, E.; Thielen, G.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 240: Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken. Berlin : Beuth Verlag, 3. Auflage, 1991.
- [Gug-1998] Gugeler, J.: Verträglichkeitsuntersuchungen und Verformungsberechnungen mit Stabwerkmodellen. Stuttgart, Universität, Institut für Konstruktion und Entwurf II, Dissertation, 1998.
- [Guo-1995] Guo, Z.; Zhou, Y.; Nechvatal, D.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 447: Auswertung von Versuchen zur mehrachsigen Betonfestigkeit, die an der Technischen Universität München durchgeführt wurden. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1995.
- [Guy-1963] Guyon, Y.: Prestressed Concrete: Simply-Supported Beams. Volume 1. London : C.R. Books Limited, 1963.
- [Haa-1969] Haagsma, T.: De bezwijkbelasting van ongewapende betonprisma's ondeiworpen aan geconcentreerde drukkraften. Stevin Laboratory, Technische Hogeschool Delft, Februar 1969.
- [Häu-2005] Häußler-Combe, U.; Pröchtel, P.: Ein dreiaxiales Stoffgesetz für Betone mit normaler und hoher Festigkeit. In: Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), Heft Nr. 1, S. 52-62.
- [Häu-2006] Häußler-Combe, U.: Dreiaxiale Stoffgesetze für Beton : Grundlagen, Formulierungen, Anwendungen. In: Beton- und Stahlbetonbau 101 (2006), Heft Nr. 3, S. 175-186.
- [Häu-2008] Häußler-Combe, U.: Zur Theorie der Stabwerkmodelle im Stahlbetonbau. In: Bauingenieur (2008), Heft Nr. 4, S. 186-197.
- [Ham-2006] Hampel, T.: Experimentelle Analyse des Tragverhaltens von Hochleistungsbeton unter mehraxialer Beanspruchung. Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Dissertation, 2006.
- [Haw-1968] Hawkins, N. M.: The Bearing Strength of Concrete Loaded through Rigid Plates. In: Magazine of Concrete Research Vol. 20 (Mär. 1968), Heft Nr. 62, S. 31-40.
- [Haw-1970] Hawkins, N. M.: The Bearing Strength of Concrete loaded through flexible Plates. Magazine of Concrete Research. Vol. 20, No. 63. June 1968. S. 95-102.
- [Hei-1983] Heilmann, H.-G.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 344: Versuche zur Teilflächenbelastung von Leichtbeton für tragende Konstruktionen. Berlin : Verlag Ernst & Sohn, 1983.
- [Her-2005] Herzog, M.: Wirtschaftliche Stahlbeton- und Spannbetonbemessung. Band Nr. 5 : Spezialprobleme. Berlin : Bauwerk Verlag, 2005.

## Literatur

---

- [Hem-2003] Hemmy, O.: Innovative Entwicklungen bei Tunnelinnenschalen. In: Tagungsband zum Braunschweiger Bauseminar 2003, iBMB der TU-Braunschweig, 2003.
- [Hil-1962] Hiltcher, R.; Florin, G.: Die Spaltzugkraft in einseitig eingespannten, am gegenüberliegenden Rand belasteten rechteckigen Scheiben. In: Die Bautechnik (Okt. 1962), Heft Nr. 10, S. 325-328.
- [Hil-1963] Hiltcher, R.; Florin, G.: Spalt- und Abreißzugspannungen in rechteckigen Scheiben, die durch eine Last in verschiedenem Abstand von einer Scheibenecke belastet sind. In: Die Bautechnik (Dez. 1963), Heft Nr. 12, S. 401-408.
- [Hil-1965] Hiltcher, R.; Florin, G.: Zugspannungen in der Umgebung einer belasteten Aussparung bzw. eines belasteten treppenförmigen Absatzes an einer Scheibe. In: Die Bautechnik (Jun. 1965), S. 202-209.
- [Hil-1968] Hiltcher, R.; Florin, G.: Darstellung der Spaltzugspannungen unter einer konzentrierten Last (Druckplatte) nach Guyon-Iyengar und nach Hiltcher und Florin. In: Die Bautechnik (Jun. 1968), S. 196-200.
- [Hil-1972] Hiltcher, R.; Florin, G.: Spaltzugspannungen in kreiszylindrischen Säulen, die durch kreisförmige Flächenlast zentrisch-axial belastet sind. In: Die Bautechnik (Mär. 1972), S. 90-94.
- [Hin-1986] Hintze, D.: Zur Beschreibung des physikalisch nichtlinearen Betonverhaltens bei mehrachsiger Spannungszustand mit Hilfe differentieller Stoffgesetze. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar 32 (Jun. 1986), Heft Nr. 6, S. 237-240.
- [Hob-1972] Hobbs, D. W.; Cement and Concrete Association (Hrsg.): Strength and Deformation Properties of Plain Concrete Subject to Combined Stress. Part 2: Strength in Multiaxial Compression. London, 1972.
- [Hof-1995] Hofstetter, G., Mang, H. A.: Computational Mechanics of Reinforced Concrete Structures, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1995.
- [Hol-2003] Holschemacher, K.; Klotz, S.: Ultra High Strength Concrete under Concentrated Load. In: Leipzig Annual Civil Engineering Report (2003) Heft Nr. 8, S. 232-242.
- [Hol-2005] Holschemacher, K.; Klotz, S.: Ultrahochfester Beton unter Teilflächenbelastung. Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (FH) (Hrsg.), Forschungsbericht 2005, Leipzig, 2005.
- [Hub-2006] Huber, F.: Nichtlineare dreidimensionale Modellierung von Beton- und Stahlbetontragwerken. Stuttgart, Universität Stuttgart, Institut für Baustatik, Dissertation, 2006.
- [Hy1-1970] Hyland, M. W.; Chen, W. F.: Bearing Capacity of Concrete Blocks. Journal of the American Concrete Institute. Proceedings Vol. 67, No. 3., March 1970. S. 228-236.
- [Ibe-1991] Ibell, T.J.; Burgoyne, C.J.: An Experimental Investigation into the Behavior of Prestressed Concrete End-Block. Cambridge, University, Engineering Dept., Technical Report No.: CUED/D – Struct/TR. 135, 1991.
- [Ibe-1993] Ibell, T. J.; Burgoyne, C. J.: Experimental Investigation of Behaviour of Anchorage Zones. In: Magazine of Concrete Research 45 (Dez. 1993), Heft Nr. 165, S. 281-291.
- [Ibe-1994-1] Ibell, T. J.; Burgoyne, C. J.: A Plasticity Analysis of Anchorage Zones. In: Magazine of Concrete Research 46 (Mai 1994), Heft Nr. 166, S. 39-48.
- [Ibe-1994-2] Ibell, T. J.; Burgoyne, C. J.: A Generalized Lower-Bound Analysis of Anchorage Zones. In: Magazine of Concrete Research 46 (Jun. 1994), Heft Nr. 167, S. 133-143.
- [Ick-1976] Ick, U.: Theorie der dreiachsigen Festigkeit des Betons. Institut für Konstruktiven Ingenieurbau Ruhr-Universität Bochum, Technisch-wissenschaftliche Mitteilungen, Mitteilung Nr. 76-9, Bochum 1976.
- [Ivk-1979] Ivkovic, M.; Acic, M.: Limit Values of Local Stresses. IABSE reports of the working commissions 29 (1979).
- [Iye-1960] Iyengar, K. T. S. R.: Der Spannungszustand in einem elastischen Halbstreifen und seine technische Anwendung. Hannover, TH, Lehrstuhl für Massivbau, Dissertation, 1960.

- [Iye-1966] Iyengar, K. T. S. R.; Yogananda, C. V.: A Three-Dimensional Stress Distribution Problem in the Anchorage Zone of a Post-Tensioned Concrete Beam. In: Magazine of Concrete Research Vol. 18 (Jun. 1966), Heft Nr. 55, S. 75-84.
- [Jat-1999] Jaturapitakkul, C.; Kiattikomol, K.; Chucheepsakul, S.: Effect of Confinement on Reinforced Concrete Columns Subjected to Eccentric Loading. Beitrag zum IABSE Colloquium "Concrete Model Code for Asia", Phuket, 1999, S. 78-85.
- [Jen-1989] Jennwein, M.: Zum Bemessen des Stahlbetons mit Stabwerkmodellen. Stuttgart, Universität, Institut für Tragwerksentwurf und -konstruktion, Dissertation, 1989.
- [Joh-2001] M. Johansson, M.; Åkesson, M.: Finite Element Study of Concrete-Filled Steel Tubes using a new Confinement-Sensitive Concrete Compression Model, In: Nordic Concrete Research 27(2), S. 43-62, 2001.
- [Kem-2001] Kempf, S.: Technische und wirtschaftliche Bewertung der Mindestbewehrungsregeln für Stahlbetonbauteile. Darmstadt, TU, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Dissertation, 2001.
- [Kin-2004] Kinugasa, H.; Xiao, Y.; Martirosyan, A.: Modeling of Stress-Strain Relationship and Deformability for Confined High-Strength Concrete. Beitrag zum "International Symposium on Confined Concrete", Changsha, China, S. 111-126, 2004.
- [Klo-2008] Klotz, S.: Ultrahochfester Beton unter Teilflächenbelastung. Leipzig, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Dissertation, 2008.
- [Kob-2008] Kobler, M.; Sobek, W.: The Introduction of High Forces into Thin-Walled UHPC Elements by the Use of Implants. Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete Kassel, Germany, Mär. 2008.
- [Kob-2010] Kobler, M.: Implantate zur Einleitung hoher konzentrierter Lasten in dünnwandige Bauteile aus ultra-hochfestem Beton. IN: Breit, W.; Kurz, W.; Schnell, J. (HRSG.): Doktorandensymposium 2010, 51. Forschungskolloquium, Band 1, Kaiserslautern, 2010.
- [Kot-1987] Kotsvos, M. D.: Consideration of Triaxial Stress Conditions in Design : A Necessity. In: ACI Structural Journal (Mär.-Jun. 1987), S. 266-273.
- [Kre-1990] Kreller, H.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 409: Zum nichtlinearen Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetontragwerken unter Last- und Zwangseinwirkung. Beuth Verlag, 1990.
- [Kriz-1963] Kriz, L. B.; Raths, C. H.: Connections in Precast Concrete Structures - Bearing Strength of Column Heads. Journal of the Prestressed Concrete Institute. Vol. 8, No. 6. December 1963, S. 45-75.
- [Kup-1973] Kupfer, H.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 229: Das Verhalten des Betons unter mehrachsiger Kurzzeitbelastung unter besonderer Berücksichtigung der zweiachsigen Beanspruchung. Berlin : Verlag Ernst & Sohn, 1973.
- [Kup-2005] Kupfer, H.: Theorie der Druckfestigkeit des Betons bei Teilflächenbelastung. In: Massivbau in ganzer Breite. Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Konrad Zilch (2005), S. 401-411.
- [Läch-1977] Lächler, W.: Beitrag zum Problem der Teilflächenpressung bei Beton am Beispiel der Pfahlkopfanschlüsse. Stuttgart, Universität, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, 1977.
- [Lan-1988] Lanig, N.: Langzeitverhalten von Beton bei mehrachsiger Beanspruchung. München, TU, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 1988.
- [Lan-1991] Lanig, N.; Stöckl, S.; Kupfer, H.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 420: Versuche zum Kriechen und zur Restfestigkeit von Beton bei mehrachsiger Beanspruchung. Berlin : Beuth Verlag, 1991.

## Literatur

---

- [Lec-2010] Lecointre, D.; Calgaro, J. A.: Spreading of Concentrated Loads. Prestressing Forces in Bearing Zones. Beitrag in Tagungsband Joint IABSE – fib Conference „Codes in Structural Engineering“, Dubrovnik, Kroatien, Mai 2010, S. 943-950.
- [Leh-1988] Lehwalter, M.: Die Tragfähigkeit von Betondruckstreben in Fachwerkmodellen am Beispiel von gedungenen Balken. Darmstadt, TH, Fachbereich Konstruktiver Ingenieurbau, Dissertation, 1988.
- [Leo-1973] Leonhardt, F.: Spannbeton für die Praxis. 3. Auflage. Stuttgart : Verlag Ernst & Sohn, 1973.
- [Leo-1977] Leonhardt, F.; Mönning, E.: Vorlesungen über Massivbau : Teil 3: Grundlagen zum Bewehren im Stahlbetonbau.: 3. Auflage. Heidelberg : Springer-Verlag, 1977.
- [Leo-1986] Leonhardt, F.; Mönning, E.: Vorlesungen über Massivbau : Teil 2: Sonderfälle der Bemessung im Stahlbetonbau. 3. Auflage. Heidelberg : Springer-Verlag, 1986.
- [Lie-1987] Lieberum, K.-H.: Das Tragverhalten von Beton bei extremer Teilflächenbelastung. Darmstadt, TH, Fachbereich Konstruktiver Ingenieurbau, Dissertation, 1987.
- [Lie-1989] Lieberum, K.-H.; Reinhardt H.-W.; Weigler, H.: Das Tragverhalten von Beton bei extremer Teilflächenbelastung. In: Beton- und Stahlbetonbau 84 (1989), Heft Nr. 1, S. 1-5.
- [Mach-1982] Machatti, H.: Vorspannung quer zu den Drucktrajektorien. In: Zement und Beton 27 (1982), Heft Nr. 2, S. 54-59.
- [Mal-2007] Malik, A. R.: An Investigation into the Behavior of Reactive Powder Concrete Columns. Sydney, The University of New South Wales, School of Civil and Environmental Engineering, Dissertation, 2007.
- [Mark-1993] Markeset, G.: Failure of Concrete under Compressive Strain Gradients. Norwegian Inst. of Technol., Trondheim, Norway, Dissertation, 1993.
- [Mart-1989] Martin, L. H.; Croxton, P. C. L.; Purkiss, J. A.: Structural Design in Concrete to BS8110. Arnold, London, 1989.
- [Marti-1999] Marti, P. et al: Tragverhalten von Stahlbeton. Fortbildungskurs für Bauingenieure, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 1999.
- [Marx-2010] Marx, S.; Schacht, G.: Gelenke im Massivbau. In: Beton- und Stahlbetonbau 105 (2010), Heft Nr. 1, S. 27-35.
- [Meh-2007] Mehlhoern, G. (Hrsg.): Handbuch Brücken. Berlin : Springer Verlag, 2007.
- [Men-1977] Menne, B.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 285: Zur Traglast der ausmittig gedrückten Stahlbetonstütze mit Umschnürungsbewehrung. Berlin : Verlag Ernst & Sohn, 1977.
- [Men-1975] Menne, B.; Stöckl, S.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 251: Versuche an wandelbewehrten Stahlbetonsäulen unter exzentrischer Belastung. Beuth Verlag, 1975.
- [Mes-1996] Meschke, G. et al.: Numerical Analyses of Tunnel Linings by Means of a Viscoplastic Material Model for Shotcrete. In: International Journal for Numerical Methods in Engineering 39 (1996), S. 3145-3162.
- [Mey-1990] Meyer, R.: Mehraxiales Werkstoffmodell für Beton mit einheitlichem Konzept im Vor- und Nachbruchbereich. Braunschweig, TU, Institut für Statik, Dissertation, 1990.
- [Meyh-1953] Meyerhof, G. G.: The Bearing Capacity of Concrete and Rock. In: Magazine of Concrete Research. Vol. 4, No. 12. April 1953. S. 107-116.
- [Mid-1963] Middendorf, K. H.: Practical Aspects of End Zone Bearing of post-tensioning Tendons. In: Journal of the Prestressed Concrete Institute. Vol. 8. August 1963. S. 57-62.
- [Mie-1987] van Mier, J. G. M., Reinhardt, H. W., van der Vlugt, B. W.: Ergebnisse dreiachsiger verformungs-gesteuerter Belastungsversuche an Beton, Bauingenieur, Vol. 62 (1987), S. 353-361.
- [Mil-1984] Mildner, K.: Neue Berechnung von Auflagerbänken auf der Grundlage von Versuchen. Die Strasse 24 (1984), S. 77-82.

- [Mir-1997] Mirmiran, A.; Shahawy, M.: Dilation Characteristics of Confined Concrete. In: *Mechanics of Cohesive-Frictional Materials 2* (1997), S. 237-249.
- [Möb-2005] Möbius, F.: Druckversuche an umschürnten Betonkörpern. In: *Beton- und Stahlbetonbau 100* (Okt. 2005), Heft Nr. 2, S.141-144.
- [Mör-1924] Mörsch, E.: Über die Berechnung der Gelenkquader. In: *Beton und Eisen 23* (1924), Heft Nr. 12, S. 156-161.
- [Mül-1964] Müller, R. K.; Schmidt, D. W.: Zugkräfte in einer Scheibe, die durch eine zentrische Einzellast in einer rechteckigen Öffnung belastet wird. In: *Die Bautechnik* (Mai 1964), S.174-176.
- [Mug-1965] Muguruma, H.; Okamoto, S.: Study on Bearing Capacity of Concrete. In: *Proceedings of the Eighth Japan Congress on Testing Materials - Nonmetallic Materials*. March 1965.
- [Mut-1997] Muttoni, A.; Schwartz, J.; Thürlimann, B.: *Bemessung von Betontragwerken mit Spannungsfeldern*. Basel : Birkhäuser Verlag, 1997.
- [Nai-2006] Naito, C. J.; Cetisli, F.: Accuracy and Improvements for Variable and Constant Confinement Concrete Models. Beitrag zum "International Symposium on Confined Concrete", Changsha, China, S.157-175, 2006.
- [Nel-1972] Nelissen, L.J.M.: Biaxial Testing of Normal Concrete. In : *Heron*, Vol 18 (1972), H. 1. S. 24-58.
- [Ngu-2002] Nguyen, D. T.: *Räumliche Stabwerkmodelle zur Bemessung von Betontragwerken*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 2002.
- [Niy-1973] Niyogi, S. K.: Bearing Strength of Concrete : Geometric Variations. In: *Journal of the Structural Division* (Jul. 1973), S. 1471-1491.
- [Niy-1974] Niyogi, S. K.: Concrete Bearing Strength : Support, Mix, Size Effect. In: *Journal of the Structural Division* (Aug 1974), S. 1685-1702.
- [Niy-1975] Niyogi, S. K.: Bearing Strength of Reinforced Concrete Blocks. In: *Journal of the Structural Division* (Mai 1975), S. 1125-1137.
- [Niy-1978] Niyogi, S. K.; Das P. K.: Concrete Bearing Strength under Combined Lateral and Vertical Concentrated Loads. In: *Building and Environment* Vol. 13 (1978), S. 185-192.
- [Noa-1978] Noakowski, P. ; Schäfer, H. G.; *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton* (Hrsg.); Heft 296: Die Bewehrung von Stahlbetonbauteilen bei Zwangsbeanspruchung infolge Temperatur. Berlin: Ernst & Sohn, 1978.
- [Noa-1988] Noakowski, P.; *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton* (Hrsg.); Heft 394: Nachweisverfahren für Verankerung, Verformung, Zwangsbeanspruchung und Rissbreite, Kontinuierliche Theorie der Mitwirkung des Betons auf Zug - Rechenhilfe für die Praxis. Berlin: Beuth, 1988.
- [ÖNORM-2001] ÖNORM B4700 (2001-06): *Stahlbetontragwerke, EUROCODE-nahe Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung*. Österreichisches Normungsinstitut Wien.
- [Pas-1981] Paschen, H.; Stockleben, U.; Zillich, V. C.: Querkzugbeanspruchung durch Mörtelfugen infolge der Mörtelquerdehnung und von Teilflächenbelastung. In: *Betonwerk + Fertigteil- Technik* (1981), Heft Nr. 7, S. 385-392.
- [Per-2006] Pereyra, M. N.: *Querdehnung von Selbstverdichtendem Beton*. München, TU, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 2006.
- [Piep-2005] Pieplow, K.: *Untersuchungen zum Tragverhalten CFK-verstärkter Stahlbetonbauteile*. Berlin, TU, Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt, Dissertation, 2005.
- [Poh-1957] Pohle, W.; *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton* (Hrsg.); Heft 122: Übertragung hoher örtlicher Pressungen auf Stahlbeton. Berlin : Verlag Ernst & Sohn, 1957.
- [Pos-1968] Posner, C. P.: *The Behaviour of Steel Plate Connections in Precast Concrete Construction*. PhD Thesis, University of Aston-in-Birmingham, 1968.

## Literatur

---

- [Rei-1994] Reinhardt, H.-W.; Schön, A.: Teilflächenbelastung von hochfestem Beton. Universität Stuttgart, Institut für Werkstoffe im Bauwesen: Abschlussbericht: Stuttgart : IRB Verlag, 1994.
- [Rei-1997] Reinhardt, H.-W.; Koch, R.: Untersuchungen zum Einfluss von Bauteilgröße und Beton-  
zusammensetzung auf die Tragfähigkeit von hochfestem Beton unter Teilflächenbelastung.  
Universität Stuttgart, Institut für Werkstoffe im Bauwesen: Abschlussbericht: Stuttgart, 1997.
- [Rei-1998] Reinhardt, H.-W.; Koch, R.: Hochfester Beton unter Teilflächenbelastung. In: Beton- und  
Stahlbetonbau 93 (1998), Heft Nr. 7, S. 182-188.
- [Rei-2010] Reinhardt, H.-W.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage, Berlin : Ernst & Sohn, 2010.
- [Rich-1928] Richart, F. E. et.al.: A Study of the Failure of Concrete under Combined Compressive Stresses.  
In: University of Illinois Bulletin No. 12. Illinois 1928.
- [Rog-2002] Rogge, A.: Materialverhalten von Beton unter mehrachsiger Beanspruchung. München, TU, ,  
Dissertation, 2002.
- [Rog-1999] Rogge, A.: Material Properties of HSC under Triaxial Compression. Lehrstuhl für Massivbau,  
Technische Universität München, Deutschland, 1999.
- [Rog-2003] Rogge, A.: Materialverhalten von Beton unter mehrachsiger Beanspruchung. Berichte aus dem  
Konstruktiven Ingenieurbau, Technische Universität München, 2003.
- [Rost-1991] Rostásy, F. S.; Holzenkämpfer, P.: Rechenmodelle zur Ermittlung der Tragfähigkeit für die  
Verbindung Ankerkörper-Beton von Spannverfahren. TU Braunschweig, Institut für Baustoffe,  
Massivbau und Brandschutz iBMB, Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1991.
- [Rüsch-1972] Rüsch, H.: Stahlbeton - Spannbeton, die Grundlagen des bewehrten Betons unter besonderer  
Berücksichtigung der neuen DIN 1045. Band 1 Werkstoffeigenschaften und Bemessungs-  
verfahren. 1. Auflage, Werner Verlag, 1972.
- [Sam-1987] Samkari, M.: Vorspannkrafteintragung im Spannbeton. Kassel, Universität, Bauingenieur-  
wesen, Dissertation, 1987.
- [San-1997] Sanders, D. H.; Breen, J.E.: Post-Tensioned Anchorage Zones with Single Straight Concentric  
Anchorage. ACI Structural Journal 94 (1997), S. 146-158.
- [Sar-1960] Sargious, M.: Beitrag zur Ermittlung der Hauptzugspannungen am Endauflager vorgespannter  
Betonbalken. Stuttgart, TH, Dissertation, 1960.
- [Schä-1986] Schäfer, K.; Baumann, P.: Ausbreitung von Druckkräften in Betonscheiben — Vergleichende  
Versuche mit Lasteinleitungen über Lastplatten, Bewehrungsstabumlenkungen und  
Bewehrungsknoten. Versuchsbericht, Institut für Massivbau, Universität Stuttgart, 1986.
- [Schä-1990] Schäfer, K.; Schelling, G.; Kuchler, T.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.): Heft 408:  
Druck und Querkzug in bewehrten Betonelementen. Beuth Verlag, 1990.
- [Schi-1977] Schickert, G.; Winkler, H.: Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei  
mehraxialer Druckbeanspruchung. Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für  
Materialprüfung, BAM Berichte Nr. 46, 1977.
- [Schl-2001] Schlaich, J.; Schäfer, K.: Konstruieren im Stahlbetonbau. In: Beton-Kalender 2001/Teil 2, S. 311-  
492, Berlin : Verlag Ernst & Sohn.
- [Schl-1983] Schlaich, J.; Schäfer, K.: Zur Druck-Querkzug-Festigkeit des Stahlbetons. Herrn Professor Dr.  
Bruno Thürlimann zum 60. Geburtstag gewidmet. In: Beton- und Stahlbetonbau (Mär. 1983)  
S.73-78.
- [Schle-2005] Schlegel, R.: Nichtlineare Berechnung von Beton und Stahlbetonstrukturen nach DIN 1045-1 mit  
ANSYS. Beitrag zum „International Congress on FEM Technology“, Bonn, 2005.
- [Schle-2006] Schlegel, R.: Materialmodelle für das Bauwesen und die Geotechnik in ANSYS. Beitrag zum  
„International Congress on FEM Technology“, Stuttgart, 2006.

- [Schm-1985] Schmidt, H. et al.: Bruchfestigkeit und Spannungs-Verformungs-Verhalten des Betons bei mehrachsigen Spannungszuständen. In: Bauplanung – Bautechnik 39 (Sep. 1985), Heft Nr. 9, S. 400-403.
- [Schm-2002] Schmid, L.; Colombi, L.: Bemessung von Tübbingfugen in extremen Verhältnissen. In: Tunnel (2002), Heft 3, S. 28-34.
- [Schn-2000] Schnütgen, B.; Erdem, E.: Splitting Design of SFRC. Brite-EuRam BRPR-CT98-0813: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete. Subtask 7.2 "Recommendations for the design of SFRC.
- [Scho-1988] Scholz, U.: Verhalten von Beton unter mehrachsiger Beanspruchung bei Kurzzeitbelastung. München, Technische Universität, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Dissertation, 1988.
- [Scho-1995] Scholz, U.; et. al.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 447: Versuche zum Verhalten von Beton unter dreiachsiger Kurzzeitbeanspruchung. Beuth Verlag, 1995.
- [Schr-1987] Schröder, U.: Untersuchungen zum Festigkeits- und Verformungsverhalten von Beton bei Druck-Druck-Zug Beanspruchungen. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, 36 (1987), Nr.5, Seite 63-67.
- [Sha-2005] Sharma, U. K.; Bhargava, P.; Kaushik, S. K.: Behavior of Confined High Strength Concrete Columns under Axial Compression. In: Journal of Advanced Concrete Technology 3 (Jun. 2005), Heft Nr. 2, S. 267-281.
- [She-1957] Shelson, W.: Bearing Capacity of Concrete. In: Journal of the American Concrete Institute. Proceedings Vol. 54, No. 5. November 1957. S. 405-414., Proceedings Vol. 54, No. 12. June 1958. S. 1183-1189.
- [Siev-1952] Sievers, H.: Die Berechnung von Auflagerbänken und Auflagerquadern von Brückenpfeilern. In: Der Bauingenieur 27 (1952), Heft 6, S. 209-213.
- [Sig-1995] Sigrist V.: Zum Verformungsvermögen von Stahlbetonträgern. Zürich, Eidgenössische TH, Institut für Baustatik und Konstruktion, Dissertation, 1995.
- [Sig-2009] Sigrist, V.: Das Druckgurtmodell für Stahlbetonbauteile. In: Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Heft Nr. 8, S. 496-504.
- [Ska-1983] Skade, A.: Ergebnisse experimenteller und theoretischer Untersuchungen über das Verhalten von Beton bei mehraxialer Beanspruchung. Dresden, TU, Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen, Dissertation, 1983.
- [Spe-2008] Speck, K.: Beton unter mehraxialer Beanspruchung : ein Materialgesetz für Hochleistungsbetone. Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Dissertation, 2008.
- [Spe-2010] Speck, K.; Curbach, M.: Ein einheitliches dreiaxiales Bruchkriterium für alle Betone. In: Beton- und Stahlbetonbau 105 (2010), Heft Nr. 4, S. 233-243.
- [Spi-1959] Spieth, H.-P.: Das Verhalten von Beton unter hoher örtlicher Pressung und Teilbelastung unter besonderer Berücksichtigung von Spannbetonverankerungen. Stuttgart, Techn. Hochsch., Dissertation, 1959
- [Spi-1961] Spieth, H.-P.: Das Verhalten von Beton unter hoher örtlicher Pressung. In: Beton- und Stahlbetonbau (Nov. 1961), S. 257-263.
- [Spit-1977] Spitz, H. M.: Beitrag zur Untersuchung von Kraffteinleitungsproblemen des Stahlbetonbaus im Zustand II mit Hilfe finiter Elemente. Aachen, Techn. Hochsch., Dissertation, 1977
- [Sta-1985] Stankowski, T.; Gerstle, K. H.: Simple Formulation of Concrete Behavior under Multiaxial Load Histories. In: Journal of American Concrete Institut 82 (Mär. 1985), Heft Nr. 2, S. 213-221.
- [Stan-2006] Stanton, J. F.; Owen, L. M.: The Influence of Concrete Strength and Confinement Type on the Response of FRP-Confined Concrete Cylinders. Beitrag zum "International Symposium on Confined Concrete", Changsha, China, S. 347-362, 2006.

## Literatur

---

- [Stö-1965] Stöckl S.; Materialprüfungsamt für das Bauwesen der technischen Hochschule München (Hrsg.): Einige Versuche über den Umschnürungseinfluss der Bügel auf das Tragverhalten zentrisch gedrückter Stahlbetonsäulen. Bericht Nr. 51. München, 1965.
- [Sun-1994] Sundermann, W.: Tragfähigkeit und Tragverhalten von Stahlbeton-Scheibentragwerken: Untersuchungen mit Stabwerkmodellen. Stuttgart, Universität, Institut für Tragwerksentwurf und -konstruktion, Dissertation, 1994.
- [Sun-1997] Sundermann, W.; Schäfer, K.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 478: Tragfähigkeit von Druckstreben und Knoten in D-Bereichen. Berlin : Verlag Ernst & Sohn, 1997.
- [Sut-2004] Suter, R.; Bergmeister, K.: Tübbinge aus Stahlfaserbeton, Optimierung der Bewehrung durch experimentelle Untersuchungen. In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004), Heft Nr. 11, S. 858-864.
- [Suz-1982] Suzuki, K.; Nakatsuka, T.: Estimation of Bearing Strength of Reinforced Anchorage Zone in Post-Tensioned Prestressed Concrete Members, Architectural Institute of Japan, Trans. of A.I.J No. 315, 5/1982.
- [Thi-2007] Thienel, K.-Ch.: Werkstoffe des Bauwesens: Festbeton. München, Universität der Bundeswehr, Institut für Werkstoffe des Bauwesens, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, 2007.
- [TNO-2010] TNO DIANA BV (Hrsg.), DIANA User's Manual - Release 9.4.2, 2010.
- [Ukh-1990] Ukhagbe, J.: Ausgewählte Probleme zur Vorspannkrafteinleitung im Spannbeton. Kassel, Gesamthochschule, Fachbereich Bauingenieurwesen, Dissertation, 1990.
- [Vec-1986] Vecchio, F. J.; Collins, M. P.: The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear. In: ACI Structural Journal Vol. 83, No. 2, March-April 1986, S. 219-231.
- [Ven-2005] Venckevičius, V.: About the Calculation of Concrete Elements Subjected to Local Compression. In: Journal of Civil Engineering and Management (Mär. 2005), Heft Nr. 3, S. 243-248.
- [Vli-1996] van Vliet, M. R. A.; van Mier, J. G. M.: Experimental Investigation of Concrete Fracture under Uniaxial Compression. In: Mechanics of Cohesive-Frictional Materials 1 (1996), Heft Nr. 1, S. 115-127.
- [Wal-1999] Walker, P. R.; Batayneh, M. K.; Regan, P. E.: Measured and Design Bond Strengths of Deformed Bars, Including the Effect of Lateral Compression. In: Magazine of Concrete Research 51 (Feb. 1999), Heft Nr. 1, S. 13-26.
- [Was-1969] Wasti, S. T.: On the Bearing Capacity of a Concrete Block. In: Build Vol. 4 (1969), S. 103-105.
- [Wast-1979] Wastiels, J.: Failure Criteria for Concrete under Multiaxial Stress States. IABSE Reports of the Working Commissions (1979).
- [Wei-2004] Weiske, R.: Durchleitung hoher Stützenlasten bei Stahlbetonflachdecken. Braunschweig, TU, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Dissertation, 2004.
- [Wil-1979] William, A.; Cement and Concrete Association (Hrsg.): The Bearing Capacity of Concrete loaded over a limited Area. Technical Report 526, August 1979.
- [Wur-1977] Wurm, P.; Daschner, F.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 286: Versuche über Teilflächenbelastung von Normalbeton. Berlin : Verlag Ernst & Sohn, 1977.
- [Wur-1983] Wurm, P.; Daschner, F.; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.); Heft 344: Teilflächenbelastung von Normalbeton, Versuche an bewehrten Scheiben. Berlin : Verlag Ernst & Sohn, 1983.
- [Yet-1969] Yettram, A. L.; Robbins, K.: Anchorage Zone Stresses in Axially Post-Tensioned Members of Uniform Rectangular Section. In: Magazine of Concrete Research 21 (Jun. 1969), Heft Nr. 67, S. 103-112.

- [Zie-1960] Zielinski, J.; Rowe, R. E.: An Investigation of the Stress Distribution in the Anchorage Zones of post-tensioned Concrete Members. Research Report 9, Cement and Concrete Association, 1960.
- [Zie-1962] Zielinski, J.; Rowe, R. E.: The Stress Distribution associated with Groups of Anchorages in post-tensioned Concrete Members. London, Cement and Concrete Association, 1962. Research Report 13 (Publication 41.013).
- [Zim-2001] Zimmermann, S.: Finite Elemente und ihre Anwendung auf physikalisch und geometrisch nichtlineare Probleme. Bericht, Technische Universiteit Eindhoven, Niederlande, Mär. 2001.



## Anhang A:

### Bestimmung der Spannungszustände in teilflächenbelasteten Scheiben auf Basis der Elastizitätstheorie nach IYENGAR

Die Ermittlung der Spannungszustände in zentrisch teilflächenbelasteten Scheiben auf Basis der Elastizitätstheorie nach IYENGAR erfolgt für verschiedene Rasterstellen. Diese sind in Bezug zur Körperbreite in Ausbreitungsrichtung  $2d$  festgelegt. Die Einleitungsstelle wird bei  $x/2d = 0$  angenommen.

Die Abstände der Rasterpunkte von der Lasteinleitungsstelle in Richtung der eingeleiteten Kraft sind:

$$x/2d = 0; 0,167; 0,250; 0,333; 0,500; 0,667; 0,750; 1,000; 1,500; 2,000$$

Senkrecht zur Richtung der eingeleiteten Kraft liegt bei einer zentrischen Belastung ein symmetrischer Spannungszustand vor. Die Rasterpunkte sind daher nur für den Halbkörper angegeben. Am Seitenrand bei  $y/2d = 1,0$  werden die Querspannungen zu Null. Die Auswertung erfolgt an diesen Stellen daher nur für die Spannungen in Belastungsrichtung.

Die Abstände der Rasterpunkte von der Mittelachse senkrecht zur Richtung der eingeleiteten Kraft sind:

$$y/2d = 0,000; 0,250; 0,500; 0,750; 1,000$$

Zur Ermittlung der Spannungszustände in den Rasterpunkten erfolgt zunächst die Festlegung der Funktion der Spannung auf der belasteten Oberfläche. Für eine konstante Blockspannung auf der Lastfläche der Breite  $d_1$  ergibt sich:

$$f(y, d_1, q_1) = \begin{cases} 0 & \text{für } y < -d_1/2 \\ q_1 & \text{für } -d_1/2 \leq y \leq d_1/2 \\ 0 & \text{für } y > d_1/2 \end{cases}$$

Durch Integration der Spannungsfunktion werden zwölf Koeffizienten  $I_1$  bis  $I_{12}$  für die weitere Berechnung bestimmt:

$$I_{m=1 \div 12}(y, d_1, q_1) = \frac{1}{d} \cdot \int_{-d_1/2}^{d_1/2} f(y, d_1) \cdot \cos\left(m \cdot \pi \cdot \frac{y}{d}\right) dy$$

Für die unterschiedlichen Rasterpunkte sind jeweils 12 FOURIER-Koeffizienten für die Bestimmung der Spannung senkrecht zur Belastungsrichtung  $Y_m$  und in Belastungsrichtung  $X_m$  erforderlich ( $m = 1 \div 12$ ), die IYENGAR in Tabellenform zur Verfügung gestellt hat und nachfolgend abgedruckt sind.

## Anhang A

---

Mit Hilfe der ermittelten Koeffizienten  $I_1$  bis  $I_{12}$  sowie der FOURIER-Koeffizienten  $Y_1$  bis  $Y_{12}$  bzw.  $X_1$  bis  $X_{12}$  können dann die Spannungen in den Rasterpunkten bestimmt werden.

Spannung  $\sigma_y$  senkrecht zur Belastungsrichtung:

$$\sigma_y(x, y, d_1, q_1) = \sum_{m=1}^{12} I_m \cdot Y_m$$

Spannung  $\sigma_x$  in Belastungsrichtung:

$$\sigma_x(x, y, d_1, q_1) = \left( \sum_{m=1}^{12} I_m \cdot X_m \right) - q_1 \cdot \frac{d_1}{d}$$

Im Rahmen der analytischen Untersuchungen erfolgt die Auswertung der Spannungen mit Hilfe des Mathematikprogramms MathCad. Durch Nutzung von Ausgleichsfunktionen können die Spannungszustände dabei für alle Stellen im Querschnitt bestimmt werden.

FOURIER-Koeffizienten  $Y_m$  für die Bestimmung der Spannungen senkrecht zur Belastungsrichtung  $\sigma_y$

| $\frac{y}{2d} = 0,000$ | $x/2d$    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                        | 0,000     | 0,167     | 0,250     | 0,333     | 0,500     | 0,667     | 0,750     | 1,000     | 1,500     | 2,000     |
| 1                      | -1,254480 | -0,495742 | -0,270790 | -0,113104 | 0,071738  | 0,152483  | 0,169611  | 0,170040  | 0,095718  | 0,036029  |
| 2                      | -0,927118 | 0,086685  | 0,172313  | 0,170665  | 0,096122  | 0,030551  | 0,009490  | -0,018207 | -0,013523 | -0,003831 |
| 3                      | -1,025068 | 0,086311  | 0,104161  | 0,076806  | 0,033025  | 0,019048  | 0,016758  | 0,013117  | 0,005935  | 0,001671  |
| 4                      | -0,991891 | 0,152892  | 0,106181  | 0,057112  | 0,009946  | -0,003461 | -0,005766 | -0,006768 | -0,003289 | -0,000972 |
| 5                      | -1,000955 | 0,106579  | 0,049040  | 0,016978  | 0,002565  | 0,003469  | 0,004095  | 0,004261  | 0,002097  | 0,000637  |
| 6                      | -1,002349 | 0,100387  | 0,039270  | 0,013706  | 0,000792  | -0,002107 | -0,002699 | -0,002902 | -0,001451 | -0,000366 |
| 7                      | -0,996083 | 0,062547  | 0,014127  | 0,001346  | 0,000054  | 0,001533  | 0,001940  | 0,002098  | 0,001061  | 0,000295  |
| 8                      | -1,004627 | 0,052647  | 0,013112  | 0,003825  | 0,000147  | -0,001135 | -0,001450 | -0,001582 | -0,000806 | -0,000252 |
| 9                      | -0,995109 | 0,030004  | 0,002635  | -0,000988 | -0,000088 | 0,000874  | 0,001122  | 0,001232  | 0,000632  | 0,000198  |
| 10                     | -1,004909 | 0,025218  | 0,004685  | 0,001606  | 0,000089  | -0,000691 | -0,000891 | -0,000984 | -0,000507 | -0,000159 |
| 11                     | -0,995202 | 0,012820  | -0,000299 | -0,000990 | -0,000077 | 0,000558  | 0,000723  | 0,000803  | 0,000415  | 0,000130  |
| 12                     | -1,004615 | 0,011679  | 0,002050  | 0,000950  | 0,000068  | -0,000460 | -0,000597 | -0,000665 | -0,000345 | -0,000108 |

| $\frac{y}{2d} = 0,250$ | $x/2d$    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                        | 0,000     | 0,167     | 0,250     | 0,333     | 0,500     | 0,667     | 0,750     | 1,000     | 1,500     | 2,000     |
| 1                      | -1,026500 | -0,426367 | -0,246360 | -0,114520 | 0,049056  | 0,125817  | 0,143284  | 0,147435  | 0,083850  | 0,031307  |
| 2                      | 0,124091  | 0,077069  | 0,054410  | 0,031560  | -0,005079 | -0,024763 | -0,029031 | -0,028324 | -0,013057 | -0,003560 |
| 3                      | 0,641209  | -0,119904 | -0,115258 | -0,078186 | -0,018872 | 0,005702  | 0,010293  | 0,011714  | 0,005500  | 0,001613  |
| 4                      | 1,042323  | -0,114526 | -0,079029 | -0,041556 | -0,012844 | -0,008834 | -0,008402 | -0,006655 | -0,003105 | -0,000952 |
| 5                      | 0,676592  | -0,096246 | -0,049310 | -0,020195 | 0,000012  | 0,004262  | 0,004749  | 0,004132  | 0,001998  | 0,000624  |
| 6                      | 0,023640  | 0,008731  | 0,005851  | 0,002929  | -0,001263 | -0,003004 | -0,003252 | -0,002821 | -0,001389 | -0,000437 |
| 7                      | -0,726289 | -0,041941 | 0,008777  | 0,000790  | 0,001002  | 0,002153  | 0,002335  | 0,002043  | 0,001016  | 0,000321  |
| 8                      | -0,983943 | 0,053097  | 0,013083  | 0,003333  | -0,000604 | -0,001605 | -0,001750 | -0,001544 | -0,000773 | -0,000245 |
| 9                      | -0,720842 | 0,019902  | 0,001141  | -0,000808 | 0,000493  | 0,001241  | 0,001357  | 0,001204  | 0,000605  | 0,000192  |
| 10                     | 0,011939  | 0,002929  | 0,002012  | 0,001039  | -0,000378 | -0,000985 | -0,001081 | -0,000963 | -0,000485 | -0,000154 |
| 11                     | 0,696602  | -0,012989 | -0,002599 | -0,000928 | 0,000300  | 0,000799  | 0,000878  | 0,000786  | 0,000400  | 0,000126  |
| 12                     | 1,009330  | -0,007900 | 0,000685  | 0,000672  | -0,000244 | -0,000660 | -0,000727 | -0,000652 | -0,000329 | -0,000105 |

| $\frac{y}{2d} = 0,500$ | $x/2d$    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                        | 0,000     | 0,167     | 0,250     | 0,333     | 0,500     | 0,667     | 0,750     | 1,000     | 1,500     | 2,000     |
| 1                      | -0,396812 | -0,264541 | -0,182369 | -0,107476 | 0,005194  | 0,067299  | 0,083179  | 0,091746  | 0,056359  | 0,020528  |
| 2                      | 1,164267  | 0,079775  | -0,070712 | -0,126155 | -0,126966 | -0,091271 | -0,074137 | -0,036661 | -0,013240 | -0,003713 |
| 3                      | -0,079283 | -0,045732 | -0,017203 | 0,003943  | 0,021565  | 0,020665  | 0,018154  | 0,010517  | 0,006505  | 0,002001  |
| 4                      | -0,958053 | 0,160532  | 0,100420  | 0,043802  | -0,003156 | -0,009513 | -0,008922 | -0,005599 | -0,004143 | -0,001238 |
| 5                      | -0,023348 | -0,016284 | -0,004361 | 0,003579  | 0,008333  | 0,006874  | 0,005860  | 0,003571  | 0,002816  | 0,000820  |
| 6                      | 1,013241  | -0,081397 | -0,030570 | -0,012516 | -0,006354 | -0,004657 | -0,003953 | -0,002473 | -0,002000 | -0,000576 |
| 7                      | -0,007399 | -0,008083 | -0,001954 | 0,001961  | 0,004070  | 0,003308  | 0,002835  | 0,001810  | 0,001471  | 0,000424  |
| 8                      | -0,996129 | 0,054471  | 0,011334  | 0,000220  | -0,003004 | -0,002482 | -0,002135 | -0,001377 | -0,001116 | -0,000323 |
| 9                      | -0,001672 | -0,004777 | -0,001153 | 0,001134  | 0,002353  | 0,001929  | 0,001664  | 0,001080  | 0,000869  | 0,000253  |
| 10                     | 1,000275  | -0,018714 | -0,001726 | -0,001157 | -0,001869 | -0,001539 | -0,001331 | -0,000866 | -0,000692 | -0,000203 |
| 11                     | 0,000620  | -0,003130 | -0,000775 | 0,000709  | 0,001514  | 0,001254  | 0,001087  | 0,000708  | 0,000561  | 0,000165  |
| 12                     | -1,001194 | 0,012469  | 0,001334  | -0,000535 | -0,001249 | -0,00104  | -0,000903 | -0,000588 | -0,000463 | -0,000137 |

## Anhang A

| $\frac{y}{2d} = 0,750$ | $x/2d$    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                        | 0,000     | 0,167     | 0,250     | 0,333     | 0,500     | 0,667     | 0,750     | 1,000     | 1,500     | 2,000     |
| 1                      | 0,045319  | -0,103593 | -0,089868 | -0,061860 | -0,011058 | 0,018228  | 0,029800  | 0,037242  | 0,047278  | 0,017372  |
| 2                      | 0,407451  | 0,095863  | -0,008568 | -0,063187 | -0,079498 | -0,055372 | -0,047458 | -0,026072 | -0,033585 | -0,012034 |
| 3                      | -0,973627 | 0,055375  | 0,127442  | 0,122901  | 0,065806  | 0,027021  | 0,021358  | 0,012723  | 0,024999  | 0,009477  |
| 4                      | 1,184124  | -0,129637 | -0,127257 | 0,088966  | -0,032268 | -0,010039 | -0,009973 | -0,008267 | -0,017920 | -0,007558 |
| 5                      | -0,840160 | 0,086400  | 0,068590  | 0,043721  | 0,014946  | 0,004374  | 0,006395  | 0,005905  | 0,012757  | 0,006093  |
| 6                      | 0,099768  | -0,005360 | -0,021420 | -0,019347 | -0,008435 | -0,002414 | 0,004860  | -0,004323 | -0,009240 | -0,004916 |
| 7                      | 0,629972  | -0,042571 | 0,003432  | 0,010971  | 0,005795  | 0,001521  | 0,003897  | 0,003232  | 0,006866  | 0,003968  |
| 8                      | -0,938821 | 0,043117  | -0,002917 | -0,008634 | -0,004361 | -0,001024 | -0,003186 | -0,002471 | -0,005238 | -0,003211 |
| 9                      | 0,657528  | -0,018987 | 0,006426  | 0,007433  | 0,003411  | 0,000721  | 0,002631  | 0,001932  | 0,004095  | 0,002614  |
| 10                     | 0,040919  | -0,003942 | -0,008076 | -0,006227 | -0,002735 | -0,000527 | -0,002192 | -0,001541 | -0,00327  | -0,002143 |
| 11                     | -0,741409 | 0,013965  | 0,007528  | 0,005087  | 0,002239  | 0,000400  | 0,001841  | 0,001251  | 0,002659  | 0,001773  |
| 12                     | 1,029145  | -0,012718 | 0,006104  | -0,004154 | -0,001865 | -0,000313 | -0,001558 | -0,001032 | -0,002197 | -0,001479 |

FOURIER-Koeffizienten  $X_{m,i}$  für die Bestimmung der Spannungen senkrecht zur Belastungsrichtung  $\sigma_x$

| $\frac{y}{2d} = 0,000$ | $x/2d$    |           |           |           |           |           |           |           |           |  |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
|                        | 0,167     | 0,250     | 0,333     | 0,500     | 0,667     | 0,750     | 1,000     | 1,500     | 2,000     |  |
| 1                      | -0,914038 | -0,836898 | -0,753583 | -0,591249 | -0,449761 | -0,388472 | -0,240910 | -0,076410 | -0,016136 |  |
| 2                      | -0,712074 | -0,521697 | -0,361793 | -0,149659 | -0,046223 | -0,019739 | 0,009674  | 0,005501  | 0,000034  |  |
| 3                      | -0,537811 | -0,325056 | -0,189449 | -0,066855 | -0,030212 | -0,022725 | -0,011919 | -0,002982 | -0,000197 |  |
| 4                      | -0,379089 | -0,174827 | -0,072444 | -0,004424 | 0,007535  | 0,008356  | 0,006309  | 0,001763  | 0,000173  |  |
| 5                      | -0,265159 | -0,099754 | -0,037221 | -0,009360 | -0,006562 | -0,006012 | -0,004095 | -0,001167 | -0,000133 |  |
| 6                      | -0,178160 | -0,049475 | -0,010819 | 0,003247  | 0,004260  | 0,004077  | 0,002840  | 0,000825  | 0,000101  |  |
| 7                      | -0,119989 | -0,027944 | -0,007473 | -0,003168 | -0,003140 | -0,002977 | -0,002077 | -0,000611 | -0,000078 |  |
| 8                      | -0,078281 | -0,012603 | -0,000641 | 0,002191  | 0,002368  | 0,002253  | 0,001579  | 0,000468  | 0,000061  |  |
| 9                      | -0,051615 | -0,007643 | -0,002017 | -0,001753 | -0,001847 | -0,001759 | -0,001237 | -0,000369 | -0,000049 |  |
| 10                     | -0,032959 | -0,002824 | 0,000611  | 0,001386  | 0,001476  | 0,001407  | 0,000992  | 0,000297  | 0,000040  |  |
| 11                     | -0,021484 | -0,002203 | -0,000884 | -0,001130 | -0,001203 | -0,001147 | -0,000811 | -0,000244 | -0,000033 |  |
| 12                     | -0,013464 | -0,000432 | 0,000580  | 0,000934  | 0,000996  | 0,000951  | 0,000674  | 0,000203  | 0,000027  |  |

| $\frac{y}{2d} = 0,250$ | $x/2d$    |           |           |           |           |           |           |           |           |  |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
|                        | 0,167     | 0,250     | 0,333     | 0,500     | 0,667     | 0,750     | 1,000     | 1,500     | 2,000     |  |
| 1                      | -0,651858 | -0,601329 | -0,546289 | -0,435853 | -0,335316 | -0,290476 | -0,179764 | -0,055371 | -0,010673 |  |
| 2                      | 0,008987  | 0,016520  | 0,023738  | 0,032342  | 0,032167  | 0,029768  | 0,019127  | 0,004535  | -0,000036 |  |
| 3                      | 0,372440  | 0,215120  | 0,112740  | 0,018503  | -0,006980 | -0,010054 | -0,008321 | -0,002227 | -0,000173 |  |
| 4                      | 0,384529  | 0,185117  | 0,872430  | 0,024307  | 0,011880  | 0,009490  | 0,005153  | 0,001378  | 0,000157  |  |
| 5                      | 0,184280  | 0,064558  | 0,017803  | -0,004561 | -0,006052 | -0,005503 | -0,003298 | 0,000928  | 0,000118  |  |
| 6                      | 0,001669  | 0,002862  | 0,003959  | 0,004862  | 0,004354  | 0,003862  | 0,002300  | 0,000661  | 0,000088  |  |
| 7                      | -0,085686 | -0,020911 | -0,006753 | -0,003690 | -0,003182 | -0,002821 | -0,001688 | -0,000491 | -0,000066 |  |
| 8                      | -0,077734 | -0,012017 | 0,000033  | 0,002640  | 0,002409  | 0,002141  | 0,001288  | 0,000377  | 0,000051  |  |
| 9                      | -0,037039 | -0,006091 | -0,002301 | 0,002104  | -0,001883 | -0,001675 | -0,001011 | -0,000297 | -0,000041 |  |
| 10                     | 0,000609  | 0,000983  | 0,001360  | 0,001675  | 0,001508  | 0,001342  | 0,000812  | 0,000239  | 0,000033  |  |
| 11                     | 0,014566  | 0,000408  | -0,001018 | -0,001365 | -0,001231 | -0,001097 | -0,000665 | -0,000195 | -0,000027 |  |
| 12                     | 0,014022  | 0,001501  | 0,000962  | 0,001131  | 0,001021  | 0,000911  | 0,000553  | 0,000163  | 0,000022  |  |

| $X_m$<br>$\frac{y}{2d} = 0,500$ | $x/2d$    |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                 | 0,167     | 0,250     | 0,333     | 0,500     | 0,667     | 0,750     | 1,000     | 1,500     | 2,000     |
| 1                               | -0,018549 | -0,031765 | -0,042314 | -0,050513 | -0,045109 | -0,039787 | -0,021594 | -0,004177 | 0,001265  |
| 2                               | 0,736328  | 0,563822  | 0,417140  | 0,213259  | 0,101591  | 0,068494  | 0,018565  | 0,002698  | 0,000452  |
| 3                               | -0,013343 | -0,021118 | -0,024519 | -0,020103 | -0,011320 | -0,007819 | -0,001919 | -0,001830 | -0,000473 |
| 4                               | -0,371518 | -0,164212 | -0,062149 | -0,001184 | 0,004282  | 0,003484  | 0,001134  | 0,001418  | 0,000329  |
| 5                               | -0,006883 | -0,010510 | -0,011510 | -0,008227 | -0,004129 | -0,002763 | -0,000844 | -0,001035 | -0,000227 |
| 6                               | 0,184049  | 0,059010  | 0,021912  | 0,006628  | 0,002924  | 0,001943  | 0,000632  | 0,000755  | 0,000164  |
| 7                               | -0,003831 | -0,005792 | -0,006205 | -0,004264 | -0,002120 | -0,001432 | -0,000486 | -0,000560 | -0,000122 |
| 8                               | -0,075728 | -0,009128 | 0,002613  | 0,003211  | 0,001625  | 0,001103  | 0,000381  | 0,000425  | 0,000094  |
| 9                               | -0,002330 | -0,003531 | -0,003757 | -0,002562 | -0,001284 | -0,000875 | -0,000305 | -0,000330 | -0,000074 |
| 10                              | 0,035054  | 0,006279  | 0,003346  | 0,002064  | 0,001038  | 0,000709  | 0,000248  | 0,000261  | 0,000059  |
| 11                              | -0,001523 | -0,002325 | -0,002472 | -0,001690 | -0,000854 | -0,000586 | -0,000205 | -0,000211 | -0,000048 |
| 12                              | -0,012342 | 0,001089  | 0,002006  | 0,001407  | 0,000714  | 0,000490  | 0,000171  | 0,000173  | 0,000040  |

| $X_m$<br>$\frac{y}{2d} = 0,750$ | $x/2d$    |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                 | 0,167     | 0,250     | 0,333     | 0,500     | 0,667     | 0,750     | 1,000     | 1,500     | 2,000     |
| 1                               | 0,625597  | 0,563324  | 0,503358  | 0,398062  | 0,309460  | 0,267537  | 0,167593  | 0,042857  | 0,006757  |
| 2                               | 0,031945  | 0,033302  | 0,021817  | -0,008397 | -0,024208 | -0,023104 | -0,015076 | 0,008173  | 0,005124  |
| 3                               | -0,412846 | -0,258245 | -0,146118 | -0,029866 | 0,005792  | 0,007516  | 0,004782  | -0,008202 | -0,004420 |
| 4                               | 0,412572  | 0,206421  | 0,092890  | 0,008524  | -0,007834 | -0,005772 | -0,002089 | 0,006271  | 0,003816  |
| 5                               | -0,213219 | -0,090088 | -0,033421 | 0,001338  | 0,006542  | 0,003543  | 0,001020  | -0,004574 | -0,003236 |
| 6                               | 0,021932  | 0,016620  | 0,007095  | -0,002719 | -0,004839 | -0,002041 | -0,000596 | 0,003356  | 0,002689  |
| 7                               | 0,066451  | 0,005830  | -0,001363 | 0,002104  | 0,003626  | 0,001200  | 0,000406  | -0,002516 | -0,002207 |
| 8                               | -0,063879 | -0,003304 | 0,001823  | -0,001484 | -0,002810 | -0,000736 | 0,000305  | 0,001934  | 0,001805  |
| 9                               | 0,024024  | -0,003435 | -0,002533 | 0,001081  | 0,002239  | 0,000472  | 0,000243  | -0,001522 | -0,001478 |
| 10                              | 0,010237  | 0,006782  | 0,002525  | -0,000821 | -0,001821 | -0,000317 | -0,000199 | 0,001224  | 0,001216  |
| 11                              | -0,023686 | -0,006831 | -0,002170 | 0,000640  | 0,001506  | 0,000224  | 0,000167  | -0,001001 | -0,001007 |
| 12                              | 0,020918  | 0,005566  | 0,001794  | -0,000510 | -0,001262 | -0,000165 | -0,000142 | 0,000832  | 0,000841  |

| $X_m$<br>$\frac{y}{2d} = 1,000$ | $x/2d$    |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                 | 0,167     | 0,250     | 0,333     | 0,500     | 0,667     | 0,750     | 1,000     | 1,500     | 2,000     |
| 1                               | 1,092981  | 1,085507  | 1,030280  | 0,847818  | 0,643285  | 0,547958  | 0,314969  | 0,074784  | 0,005393  |
| 2                               | -1,027603 | -0,859116 | -0,668262 | -0,362171 | -0,183161 | -0,128718 | -0,043266 | -0,001902 | 0,002600  |
| 3                               | 0,854710  | 0,579361  | 0,365064  | 0,137001  | 0,054922  | 0,036590  | 0,012795  | 0,001050  | -0,000839 |
| 4                               | -0,663638 | -0,364172 | -0,190137 | -0,057299 | -0,023763 | -0,016987 | -0,007222 | -0,000838 | 0,000382  |
| 5                               | 0,494931  | 0,222945  | 0,100978  | 0,029609  | 0,014213  | 0,010717  | 0,004864  | 0,000629  | -0,000215 |
| 6                               | 0,360541  | -0,136813 | -0,057368 | -0,018712 | -0,009925 | -0,007606 | -0,003492 | -0,000474 | 0,000137  |
| 7                               | 0,259471  | 0,086080  | 0,035853  | 0,013422  | 0,007411  | 0,005692  | 0,002613  | 0,000364  | -0,000094 |
| 8                               | -0,186085 | -0,056516 | -0,024699 | -0,010294 | -0,005742 | -0,004405 | -0,002018 | -0,000286 | 0,000069  |
| 9                               | 0,133963  | 0,039146  | 0,018424  | 0,008190  | 0,004566  | 0,003497  | 0,001599  | 0,000229  | -0,000053 |
| 10                              | -0,097426 | -0,028680 | -0,014536 | -0,006670 | -0,003705 | -0,002834 | -0,001293 | -0,000186 | 0,000042  |
| 11                              | 0,071978  | 0,022116  | 0,011895  | 0,005526  | 0,003058  | 0,002336  | 0,001064  | 0,000154  | -0,000034 |
| 12                              | -0,054266 | -0,017785 | -0,009970 | -0,004643 | -0,002560 | -0,001953 | -0,000889 | -0,000129 | 0,000028  |



**Anhang B:****Datenbank zu Versuchen an teilflächenbelasteten Betonbauteilen**Betondruckfestigkeit

Bezugsgröße Betondruckfestigkeit  $f_{c,cyl300/150}$

Umrechnung der Betondruckfestigkeit

Würfel – Würfel (Kantenlängen in Indizes in mm)

$$f_{c,cube100} = \frac{f_{c,cube200}}{0,90} = \frac{f_{c,cube150}}{0,947}$$

$$f_{c,cube150} = \frac{f_{c,cube200}}{0,95} = f_{c,cube100} \cdot 0,947$$

$$f_{c,cube200} = \frac{f_{c,cube300}}{0,909} = 0,95 \cdot f_{c,cube150} = 0,90 \cdot f_{c,cube100}$$

$$f_{c,cube300} = 0,909 \cdot f_{c,cube200}$$

Würfel – Zylinder (Abmessungen in Indizes in mm)

$$f_{c,cyl300/150} = f_{c,cube150} \cdot 0,80$$

Prisma – Würfel – Zylinder (Abmessungen in Indizes in mm)

$$f_{c,pr150/150/600} = \sim 0,825 \cdot f_{c,cube200} = 0,78 \cdot f_{c,cube150} \approx f_{c,cyl300/150}$$

Betonzugfestigkeit

Bezugsgröße Betonzugfestigkeit:  $f_{ctm}$

Bestimmung der mittleren Betonzugfestigkeit

DIN 1045-1:2008-08, DIN EN 1992-1-1:2005-10, CEB / fib Model Code 2010

$$f_{ctm} = \begin{cases} 0,30 \cdot (f_{ck,cyl} [N/mm^2])^{\frac{2}{3}} = 0,30 \cdot (f_{cm,cyl} [N/mm^2] - 8)^{\frac{2}{3}} & \text{bis C50/60} \\ f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln \left( 1 + \frac{f_{cm,cyl} [N/mm^2]}{10} \right) & \text{ab C55/67} \end{cases}$$

## Anhang B

---

Alternative Bestimmungsansätze (zur Kontrolle)

CEB / fib Model Code 1990

$$f_{ctm} = 1,40 \cdot \left( \frac{f_{cm,cyl} [N/mm^2]}{10} \right)^{\frac{2}{3}} [N/mm^2]$$

DIN 1045:1988-07

$$\begin{aligned} f_{ctm} &= 0,25 \cdot f_{c,cube200}^{\frac{2}{3}} \\ &= 0,25 \cdot (0,95 \cdot f_{c,cube150})^{\frac{2}{3}} = 0,25 \cdot \left( 0,95 \cdot \frac{f_{c,cyl300/150}}{0,80} \right)^{\frac{2}{3}} \end{aligned}$$

Abschätzung

$$f_{ctm} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,50 \cdot \sqrt{f_{cm,cube150}} \\ \frac{f_{cm,cube150}}{15} \end{array} \right.$$

Umrechnung gemessener Betonzugfestigkeiten

CEB/fib-ModelCode 2010 / DIN 1045-1:2008-08

$$f_{ctm} = 0,9 \cdot f_{ct,sp}$$

CEB/fib-ModelCode 1990

$$f_{ctm} = f_{ct,fl} \cdot \frac{1,5 \left( \frac{h_b [mm]}{100 mm} \right)^{0,7}}{1 + 1,5 \left( \frac{h_b [mm]}{100 mm} \right)^{0,7}}$$

CEB/fib-ModelCode 2010

$$f_{ct,fl} = \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{h [mm]}} \right) \cdot f_{ctm} \leq 2 \cdot f_{ctm}$$

Elastizitätsmoduln

Beton

Mittlerer Tangentenmodul nach DIN 1045-1:2008-08

$$E_{com} = 9500 \cdot (f_{cm,cyl} [N/mm^2])^{\frac{1}{3}} [N/mm^2]$$

Mittlerer Sekantenmodul nach DIN 1045-1:2008-08

$$E_{cm} = \left(0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{cm,cyl} [N/mm^2]}{88}\right) \cdot E_{com} [N/mm^2]$$

Betonstahl

Mittlerer Elastizitätsmodul

$$E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$$

Umrechnung auf SI-Einheiten

$$1 \text{ kp/cm}^2 = 0,1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ inc} = 25,4 \text{ mm}$$

$$1 \text{ square inc} = 645,16 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ lbf} = 1 \text{ pound} = 4,448222 \text{ N}$$

$$1 \text{ kip} = 1000 \text{ pound} = 4,448222 \text{ kN}$$

$$1 \text{ psi} = 1 \text{ lbf/in}^2 = 6,8948 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

# Anhang B

| 1   | 2                  | 3                | 4                  | 5                          | 6                          | 7          | 8        | 9         | 10                              | 11                | 12              | 13                           | 14             | 15 |
|-----|--------------------|------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|------------|----------|-----------|---------------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|----------------|----|
| Nr. | Autor              | Veröffentlichung | Datenquelle        | Probekörper<br>Bezeichnung | Prüfkörperab-<br>messungen |            |          | $\lambda$ | La-<br>splattenab-<br>messungen | Lastkonzentration | Fäll der<br>TFB | Exzentrität<br>der Lasplatte |                |    |
|     |                    |                  |                    |                            | $b_x$ bzw.<br>$d$ [mm]     | $b_y$ [mm] | $h$ [mm] |           |                                 |                   |                 | $e_{p,x}$ [mm]               | $e_{p,y}$ [mm] |    |
| 1   | MEYERHOF           | [Meyh-1953]      | [Wil-1979] Tab. A1 | 1                          | 152,4                      | 152,4      | 38,1     | 0,25      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 2   |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 2                          | 152,4                      | 152,4      | 38,1     | 0,25      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 3   |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 3                          | 152,4                      | 152,4      | 38,1     | 0,25      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 4   |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 4                          | 152,4                      | 152,4      | 76,2     | 0,50      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 5   |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 5                          | 152,4                      | 152,4      | 76,2     | 0,50      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 6   |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 6                          | 152,4                      | 152,4      | 76,2     | 0,50      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 7   |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 7                          | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 8   |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 8                          | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 9   |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 9                          | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 10  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 10                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 11  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 11                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 12  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 12                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 13  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 13                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 14  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 14                         | 457,2                      | 457,2      | 152,4    | 0,33      | 22,0                            | 22,0              | 431,88          | räumlich                     | 0              | 0  |
| 15  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 15                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 16  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 16                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 17  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 17                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 22,0                            | 22,0              | 47,99           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 18  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 18                         | 304,8                      | 304,8      | 152,4    | 0,50      | 22,0                            | 22,0              | 191,95          | räumlich                     | 0              | 0  |
| 19  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 19                         | 457,2                      | 457,2      | 152,4    | 0,33      | 22,0                            | 22,0              | 431,88          | räumlich                     | 0              | 0  |
| 20  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A1 | 20                         | 304,8                      | 304,8      | 152,4    | 0,50      | 22,0                            | 22,0              | 191,95          | räumlich                     | 0              | 0  |
| 21  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A2 | 1                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                            | 25,4              | 64,00           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 22  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A2 | 2                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                            | 25,4              | 64,00           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 23  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A2 | 3                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                            | 25,4              | 64,00           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 24  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A2 | 7                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                            | 36,0              | 31,86           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 25  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A2 | 8                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                            | 36,0              | 31,86           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 26  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A2 | 9                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                            | 36,0              | 31,86           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 27  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A2 | 13                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                            | 50,8              | 16,00           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 28  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A2 | 14                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                            | 50,8              | 16,00           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 29  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A2 | 15                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                            | 50,8              | 16,00           | räumlich                     | 0              | 0  |
| 30  |                    |                  | [Wil-1979] Tab. A2 | 16                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 72,0                            | 72,0              | 7,96            | räumlich                     | 0              | 0  |
| 31  | [Wil-1979] Tab. A2 | 17               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 72,0     | 72,0      | 7,96                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 32  | [Wil-1979] Tab. A2 | 18               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 72,0     | 72,0      | 7,96                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 33  | [Wil-1979] Tab. A2 | 4                | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 36,0     | 36,0      | 31,86                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 34  | [Wil-1979] Tab. A2 | 5                | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 36,0     | 36,0      | 31,86                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 35  | [Wil-1979] Tab. A2 | 6                | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 36,0     | 36,0      | 31,86                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 36  | [Wil-1979] Tab. A2 | 10               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 50,8     | 50,8      | 16,00                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 37  | [Wil-1979] Tab. A2 | 11               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 50,8     | 50,8      | 16,00                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 38  | [Wil-1979] Tab. A2 | 12               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 101,6    | 101,6     | 4,00                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 39  | [Wil-1979] Tab. A2 | 19               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 76,0     | 76,0      | 7,15                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 40  | [Wil-1979] Tab. A2 | 20               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 76,0     | 76,0      | 7,15                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 41  | [Wil-1979] Tab. A2 | 21               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 76,0     | 76,0      | 7,15                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 42  | [Wil-1979] Tab. A3 | 1                | 104,0              | -                          | 56,0                       | 0,54       | 25,4     | -         | 16,76                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 43  | [Wil-1979] Tab. A3 | 2                | 104,0              | -                          | 112,0                      | 0,8        | 25,4     | -         | 16,76                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 44  | [Wil-1979] Tab. A3 | 3                | 104,0              | -                          | 157,0                      | 1,51       | 25,4     | -         | 16,76                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 45  | [Wil-1979] Tab. A3 | 4                | 104,0              | -                          | 203,2                      | 1,95       | 25,4     | -         | 16,76                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 46  | [Wil-1979] Tab. A3 | 5                | 50,8               | -                          | 101,6                      | 2,00       | 38,1     | -         | 1,78                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 47  | [Wil-1979] Tab. A3 | 6                | 104,0              | -                          | 101,6                      | 0,98       | 38,1     | -         | 7,45                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 48  | [Wil-1979] Tab. A3 | 7                | 152,4              | -                          | 101,6                      | 0,67       | 38,1     | -         | 16,00                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 49  | [Wil-1979] Tab. A3 | 8                | 203,2              | -                          | 101,6                      | 0,50       | 38,1     | -         | 28,44                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 50  | [Wil-1979] Tab. A3 | 9                | 50,8               | -                          | 101,6                      | 2,00       | 25,4     | -         | 4,00                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 51  | [Wil-1979] Tab. A3 | 10               | 104,0              | -                          | 203,2                      | 1,95       | 51,0     | -         | 4,16                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 52  | [Wil-1979] Tab. A3 | 11               | 152,4              | -                          | 304,8                      | 2,00       | 76,0     | -         | 4,02                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 53  | [Wil-1979] Tab. A3 | 12               | 203,2              | -                          | 406,4                      | 2,00       | 101,6    | -         | 4,00                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 54  | [Wil-1979] Tab. A3 | 13               | 152,4              | -                          | 304,8                      | 2,00       | 76,0     | -         | 4,02                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 55  | [Wil-1979] Tab. A3 | 14               | 152,4              | -                          | 304,8                      | 2,00       | 76,0     | -         | 4,02                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 56  | [Wil-1979] Tab. A3 | 15               | 104,0              | -                          | 203,2                      | 1,95       | 25,0     | -         | 17,31                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 57  | [Wil-1979] Tab. A3 | 16               | 104,0              | -                          | 203,2                      | 1,95       | 38,1     | -         | 7,45                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 58  | [Wil-1979] Tab. A3 | 17               | 104,0              | -                          | 203,2                      | 1,95       | 51,0     | -         | 4,16                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 59  | [Wil-1979] Tab. A3 | 18               | 104,0              | -                          | 203,2                      | 1,95       | 76,0     | -         | 1,87                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 60  | [Wil-1979] Tab. A4 | 1                | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 144,0    | 144,0     | 1,99                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 61  | [Wil-1979] Tab. A4 | 2                | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 101,6    | 101,6     | 4,00                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 62  | [Wil-1979] Tab. A4 | 3                | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 83,0     | 83,0      | 5,99                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 63  | [Wil-1979] Tab. A4 | 4                | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 72,0     | 72,0      | 7,96                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 64  | [Wil-1979] Tab. A4 | 5                | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 59,0     | 59,0      | 11,86                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 65  | [Wil-1979] Tab. A4 | 6                | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 50,8     | 50,8      | 16,00                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 66  | [Wil-1979] Tab. A4 | 13               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 144,0    | 144,0     | 1,99                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 67  | [Wil-1979] Tab. A4 | 14               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 101,6    | 101,6     | 4,00                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 68  | [Wil-1979] Tab. A4 | 15               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 83,0     | 83,0      | 5,99                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 69  | [Wil-1979] Tab. A4 | 16               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 72,0     | 72,0      | 7,96                            | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |
| 70  | [Wil-1979] Tab. A4 | 17               | 203,2              | 203,2                      | 203,2                      | 1,00       | 59,0     | 59,0      | 11,86                           | räumlich          | 0               | 0                            |                |    |

| 16  | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                      | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,ges,90}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Spz}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,90}$  | $q_{br} / f_{ct,90}$   |
| 21.9                                      | 1.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.44                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.80                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.62                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.77                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.06                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.37                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.88                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.22                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.22                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.41                   |
| 16.2                                      | 1.22                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 6.03                   |
| 16.2                                      | 1.22                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 6.50                   |
| 16.2                                      | 1.22                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 6.88                   |
| 20.0                                      | 1.57                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 6.41                   |
| 20.0                                      | 1.57                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.47                   |
| 20.0                                      | 1.57                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.57                   |
| 20.0                                      | 1.57                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.86                   |
| 20.0                                      | 1.57                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 6.55                   |
| 20.0                                      | 1.57                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 8.83                   |
| 16.2                                      | 1.22                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.73                   |
| 46.3                                      | 3.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.85                   |
| 46.4                                      | 4.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.14                   |
| 45.7                                      | 4.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.93                   |
| 43.4                                      | 4.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.19                   |
| 42.2                                      | 4.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.71                   |
| 45.3                                      | 4.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.72                   |
| 43.9                                      | 4.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.35                   |
| 43.3                                      | 4.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.15                   |
| 43.3                                      | 4.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.95                   |
| 40.3                                      | 2.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.76                   |
| 40.5                                      | 2.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.01                   |
| 38.7                                      | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.76                   |
| 45.0                                      | 4.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.01                   |
| 42.6                                      | 4.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.70                   |
| 43.0                                      | 4.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.46                   |
| 45.1                                      | 4.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.02                   |
| 45.4                                      | 4.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.03                   |
| 45.1                                      | 4.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.78                   |
| 44.6                                      | 4.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.23                   |
| 46.0                                      | 4.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.28                   |
| 45.2                                      | 4.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.16                   |
| 7.4                                       | 0.39                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.39                   |
| 7.4                                       | 0.39                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.69                   |
| 7.4                                       | 0.39                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.91                   |
| 7.4                                       | 0.39                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.45                   |
| 15.4                                      | 1.14                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.37                   |
| 15.4                                      | 1.14                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.31                   |
| 15.4                                      | 1.14                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.14                   |
| 15.4                                      | 1.14                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.37                   |
| 5.5                                       | 0.29                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.32                   |
| 5.5                                       | 0.29                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.46                   |
| 5.5                                       | 0.29                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.48                   |
| 5.5                                       | 0.29                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.54                   |
| 59.4                                      | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.61                   |
| 38.9                                      | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.98                   |
| 11.8                                      | 0.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.68                   |
| 11.8                                      | 0.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.18                   |
| 11.8                                      | 0.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.09                   |
| 11.8                                      | 0.74                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.56                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.29                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.64                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.93                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.16                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.41                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.83                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.58                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.07                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.39                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.68                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.32                   |

# Anhang B

| 1   | 2          | 3                | 4                  | 5                          | 6                             | 7                          | 8                  | 9  | 10    | 11                         | 12   | 13       | 14   | 15               |  |      |    |   |
|-----|------------|------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------|--|-------|----------------------------|--|----------|--|------------------|--|------|----|---|
| Nr. | Autor      | Veröffentlichung | Datenquelle        | Probekörper<br>Bezeichnung | b <sub>1</sub> bzw.<br>d [mm] | Prüfkörperab-<br>messungen |                    |  | λ     | Lasplattenab-<br>messungen |  |          | Laszkonzentration<br>A <sub>1</sub> / A <sub>0</sub> | Fall der<br>ITFB | Exzentrizität<br>e <sub>x,y</sub> [mm] |      |    |   |
|     |            |                  |                    |                            |                               | b <sub>2</sub> [mm]        | h [mm]             | b <sub>1</sub> bzw.<br>d <sub>1</sub> [mm] |       | b <sub>2</sub> [mm]        | b <sub>1</sub> bzw.<br>d <sub>1</sub> [mm] |          |  |                  |  |      |    |   |
| 71  | AU / BAIRD | [Au-1960]        | [Wil-1979] Tab. A4 | 18                         | 203.2                         | 203.2                      | 203.2              | 1.00                                       | 50.8  | 50.8                       | 16.00                                      | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 72  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 7                          | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 144.0 | 144.0                      | 1.99                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 73  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 8                          | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 101.6 | 101.6                      | 4.00                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 74  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 9                          | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 83.0  | 83.0                       | 5.99                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 75  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 10                         | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 72.0  | 72.0                       | 7.96                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 76  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 11                         | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 59.0  | 59.0                       | 11.86                                      | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 77  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 12                         | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 50.8  | 50.8                       | 16.00                                      | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 78  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 19                         | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 144.0 | 144.0                      | 1.99                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 79  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 20                         | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 101.6 | 101.6                      | 4.00                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 80  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 21                         | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 83.0  | 83.0                       | 5.99                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 81  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 22                         | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 72.0  | 72.0                       | 7.96                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 82  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 23                         | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 59.0  | 59.0                       | 11.86                                      | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 83  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A5 | 24                         | 203.2                         | 203.2                      | 101.6              | 0.50                                       | 50.8  | 50.8                       | 16.00                                      | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 84  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 1                          | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 44.0  | 44.0                       | 22.00                                      | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 85  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 2                          | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 52.0  | 52.0                       | 8.59                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 86  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 3                          | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 63.0  | 63.0                       | 5.85                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 87  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 4                          | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 76.0  | 76.0                       | 4.02                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 88  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 5                          | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 101.6 | 101.6                      | 2.25                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 89  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 6                          | 228.6                         | 228.6                      | 228.6              | 1.00                                       | 63.0  | 63.0                       | 13.17                                      | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 90  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 7                          | 228.6                         | 228.6                      | 228.6              | 1.00                                       | 76.0  | 76.0                       | 9.05                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 91  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 8                          | 228.6                         | 228.6                      | 228.6              | 1.00                                       | 101.6 | 101.6                      | 5.06                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 92  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 9                          | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 44.0  | 44.0                       | 22.00                                      | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 93  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 10                         | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 52.0  | 52.0                       | 8.59                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 94  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 11                         | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 63.0  | 63.0                       | 5.85                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 95  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 12                         | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 76.0  | 76.0                       | 4.02                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 96  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 13                         | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 101.6 | 101.6                      | 2.25                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 97  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 14                         | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 50.8  | 50.8                       | 9.00                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 98  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 15                         | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 76.0  | 76.0                       | 4.02                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 99  |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 17                         | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 50.8  | 50.8                       | 9.00                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 100 |            |                  | [Wil-1979] Tab. A6 | 18                         | 152.4                         | 152.4                      | 152.4              | 1.00                                       | 76.0  | 76.0                       | 4.02                                       | räumlich | 0  | 0                |  |      |    |   |
| 101 |            |                  | ZIELINSKI / ROWE   | [Zil-1962]                 | [Wil-1979] Tab. A38           | 1                          | 152.4              | 152.4                                      | 152.4 | 1.00                       | 61.0                                       | 61.0     | 6.24   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 102 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A38           | 2                          | 152.4              | 152.4                                      | 152.4 | 1.00                       | 76.2                                       | 76.2     | 4.00   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 103 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A38           | 3                          | 203.2              | 203.2                                      | 406.4 | 2.00                       | 63.0                                       | 63.0     | 10.40  | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 104 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A38           | 4                          | 203.2              | 203.2                                      | 406.4 | 2.00                       | 107.0                                      | 107.0    | 3.61   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 105 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A38           | 5                          | 158.8              | 158.8                                      | 406.4 | 2.56                       | 98.0                                       | 98.0     | 2.62   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 106 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A38           | 6                          | 152.4              | 152.4                                      | 406.4 | 2.67                       | 108.0                                      | 19.0     | 11.32  | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 107 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 1                          | 203.2              | -  | 406.4 | 2.00                       | 76.0                                       | -        | 7.15   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 108 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 2                          | 203.2              | -  | 406.4 | 2.00                       | 101.6                                      | -        | 4.00   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 109 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 3                          | 203.2              | -  | 406.4 | 2.00                       | 127.0                                      | -        | 2.56   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 110 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 4                          | 203.2              | -  | 406.4 | 2.00                       | 152.4                                      | -        | 1.78   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 111 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 5                          | 203.2              | -  | 406.4 | 2.00                       | 177.8                                      | -        | 1.31   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 112 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 7                          | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 113 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 8                          | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 114 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 9                          | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 115 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 10                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 116 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 11                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 117 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 12                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 118 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 13                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 119 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 14                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 120 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 15                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 121 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 16                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 122 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 17                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 79.0                                       | -        | 3.72   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 123 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 18                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 76.0                                       | -        | 4.02   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 124 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 19                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 76.0                                       | -        | 4.02   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 125 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 20                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 76.0                                       | -        | 4.02   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 126 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 21                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 76.0                                       | -        | 4.02   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 127 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 22                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 76.0                                       | -        | 4.02   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 128 |            |                  |                    |                            | [Wil-1979] Tab. A7            | 23                         | 152.4              | -  | 304.8 | 2.00                       | 76.0                                       | -        | 4.02   | räumlich         | 0                                      | 0    |    |   |
| 129 |            |                  |                    |                            | KRIZ / RATHIS                 | [Kriz-1963]                | [Wil-1979] Tab. A9 | 1  | 152.4 | 203.2                      | 762.0                                      | 3.75     | 25.4   | 203.2            | 6.00                                   | eben | 64 | 0 |
| 130 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 2  | 102.0 | 304.8                      | 762.0                                      | 2.50     | 25.0   | 304.8            | 4.08                                   | eben | 38 | 0 |
| 131 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 3  | 152.0 | 203.2                      | 762.0                                      | 3.75     | 25.0   | 203.2            | 6.08                                   | eben | 51 | 0 |
| 132 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 4  | 102.0 | 203.2                      | 762.0                                      | 3.75     | 25.0   | 203.2            | 4.08                                   | eben | 13 | 0 |
| 133 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 5  | 152.4 | 203.2                      | 762.0                                      | 3.75     | 25.0   | 203.2            | 6.10                                   | eben | 38 | 0 |
| 134 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 6  | 102.0 | 304.8                      | 762.0                                      | 2.50     | 25.0   | 304.8            | 4.08                                   | eben | 13 | 0 |
| 135 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 8  | 152.4 | 203.2                      | 762.0                                      | 3.75     | 25.0   | 203.2            | 6.10                                   | eben | 13 | 0 |
| 136 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 9  | 152.4 | 203.2                      | 762.0                                      | 3.75     | 25.0   | 203.2            | 6.10                                   | eben | 13 | 0 |
| 137 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 10   | 152.4 | 203.2                      | 762.0                                      | 3.75     | 25.0   | 203.2            | 6.10                                   | eben | 13 | 0 |
| 138 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 11   | 203.0 | 203.2                      | 762.0                                      | 3.75     | 25.0   | 203.2            | 8.12                                   | eben | 0  | 0 |
| 139 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 15   | 610.0 | 304.8                      | 762.0                                      | 1.25     | 25.0   | 304.8            | 2.40                                   | eben | 0  | 0 |
| 140 |            |                  |                    |                            |                               |                            | [Wil-1979] Tab. A9 | 16   | 152.4 | 203.2                      | 762.0                                      | 3.75     | 51.0   | 203.2            | 29.99                                  | eben | 51 | 0 |

| 16  | 17                                | 18                               | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                      | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.           | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,ges,90}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,sp}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,sp}$  | $q_{br} / f_{ct,sp}$   |
| 31.0                                      | 2.43                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 4.16                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.38                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.76                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.02                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.43                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.81                   |
| 55.2                                      | 3.92                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.23                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.06                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.23                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.77                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.90                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 4.54                   |
| 31.0                                      | 2.43                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 4.77                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.85                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.66                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.25                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.89                   |
| 21.9                                      | 1.74                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.48                   |
| 26.1                                      | 2.07                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.16                   |
| 26.1                                      | 2.07                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.73                   |
| 26.1                                      | 2.07                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.07                   |
| 52.5                                      | 3.77                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.18                   |
| 52.5                                      | 3.77                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.02                   |
| 52.5                                      | 3.77                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.75                   |
| 52.5                                      | 3.77                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.48                   |
| 52.5                                      | 3.77                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.22                   |
| 26.5                                      | 2.10                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.05                   |
| 26.5                                      | 2.10                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.09                   |
| 35.0                                      | 2.70                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.60                   |
| 35.0                                      | 2.70                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.60                   |
| 42.2                                      | 3.16                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.40                   |
| 57.9                                      | 4.07                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.78                   |
| 41.1                                      | 3.09                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.27                   |
| 46.9                                      | 3.44                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.15                   |
| 46.9                                      | 3.44                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 0.99                   |
| 46.9                                      | 3.44                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 0.93                   |
| 27.4                                      | 2.17                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.84                   |
| 27.4                                      | 2.17                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.97                   |
| 27.4                                      | 2.17                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.55                   |
| 27.4                                      | 2.17                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.29                   |
| 2.4                                       | 0.13                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.05                   |
| 6.1                                       | 0.32                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.35                   |
| 7.0                                       | 0.38                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.13                   |
| 7.8                                       | 0.41                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.42                   |
| 8.7                                       | 0.24                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.35                   |
| 10.2                                      | 0.51                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.91                   |
| 13.1                                      | 0.89                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.76                   |
| 14.2                                      | 1.01                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.95                   |
| 18.5                                      | 1.44                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.16                   |
| 19.5                                      | 1.53                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.55                   |
| 28.7                                      | 2.26                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.93                   |
| 14.2                                      | 1.02                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.78                   |
| 19.9                                      | 1.57                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.90                   |
| 25.0                                      | 1.98                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.69                   |
| 29.1                                      | 2.29                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.86                   |
| 35.3                                      | 2.72                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.20                   |
| 39.6                                      | 3.00                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.54                   |
| 19.7                                      | 1.54                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 0.90                   |
| 27.7                                      | 2.19                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 0.71                   |
| 19.7                                      | 1.54                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.34                   |
| 27.2                                      | 2.15                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.24                   |
| 22.2                                      | 1.76                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.40                   |
| 27.6                                      | 2.18                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.11                   |
| 19.2                                      | 1.50                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.45                   |
| 19.4                                      | 1.52                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.77                   |
| 46.2                                      | 3.40                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.11                   |
| 28.0                                      | 2.21                              | -                                | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.75                   |
| 19.0                                      | 1.48                              | 0.00                             | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.53                   |
| 20.9                                      | 1.65                              | 0.00                             | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.16                   |

# Anhang B

| 1   | 2                   | 3                | 4                  | 5                       | 6                     | 7          | 8        | 9         | 10                          | 11            | 12                | 13           | 14                           | 15              |
|-----|---------------------|------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|----------|-----------|-----------------------------|---------------|-------------------|--------------|------------------------------|-----------------|
| Nr. | Autor               | Veröffentlichung | Datenquelle        | Probekörper Bezeichnung | Prüfkörperabmessungen |            |          | $\lambda$ | Lastplattenabmessungen      |               | Lastkonzentration | Fall der TFB | Exzentrizität der Lastplatte |                 |
|     |                     |                  |                    |                         | $b_1$ bzw. $d$ [mm]   | $b_2$ [mm] | $h$ [mm] |           | $b_{p1}$ bzw. $d_{p1}$ [mm] | $b_{p2}$ [mm] |                   |              | $A_{x1} / A_{x0}$            | $e_{p,1x}$ [mm] |
| 141 | KRIZ / RATHS        | [Kriz-1963]      | [Wil-1979] Tab. A9 | 17                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 3,75      | 51,0                        | 203,2         | 2,99              | eben         | 51                           | 0               |
| 142 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 18                      | 102,0                 | 304,8      | 762,0    | 2,50      | 51,0                        | 304,8         | 2,00              | eben         | 25                           | 0               |
| 143 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 19                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 3,75      | 51,0                        | 203,2         | 2,99              | eben         | 38                           | 0               |
| 144 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 20                      | 102,0                 | 304,8      | 762,0    | 2,50      | 51,0                        | 304,8         | 2,00              | eben         | 0                            | 0               |
| 145 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 21                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 3,75      | 51,0                        | 203,2         | 2,99              | eben         | 13                           | 0               |
| 146 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 22                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 3,75      | 51,0                        | 203,2         | 2,99              | eben         | 13                           | 0               |
| 147 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 23                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 3,75      | 51,0                        | 203,2         | 2,99              | eben         | 13                           | 0               |
| 148 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 24                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 3,75      | 51,0                        | 203,2         | 2,99              | eben         | 13                           | 0               |
| 149 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 27                      | 610,0                 | 304,8      | 762,0    | 1,25      | 51,0                        | 304,8         | 11,96             | eben         | 0                            | 0               |
| 150 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 28                      | 610,0                 | 304,8      | 762,0    | 1,25      | 51,0                        | 304,8         | 11,96             | eben         | 0                            | 0               |
| 151 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 29                      | 914,0                 | 304,8      | 1219,2   | 1,33      | 51,0                        | 304,8         | 17,92             | eben         | 0                            | 0               |
| 152 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 30                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 3,75      | 76,0                        | 203,2         | 2,01              | eben         | 38                           | 0               |
| 153 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 31                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 3,75      | 76,0                        | 203,2         | 2,01              | eben         | 38                           | 0               |
| 154 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 32                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 2,50      | 76,0                        | 304,8         | 2,01              | eben         | 19                           | 0               |
| 155 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 33                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 3,75      | 76,0                        | 203,2         | 2,01              | eben         | 13                           | 0               |
| 156 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 34                      | 152,4                 | 203,2      | 762,0    | 3,75      | 76,0                        | 203,2         | 2,01              | eben         | 13                           | 0               |
| 157 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 36                      | 610,0                 | 304,8      | 762,0    | 1,25      | 76,0                        | 304,8         | 8,03              | eben         | 0                            | 0               |
| 158 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 37                      | 914,0                 | 304,8      | 1219,2   | 1,33      | 76,0                        | 304,8         | 12,03             | eben         | 0                            | 0               |
| 159 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A9 | 38                      | 152,4                 | 304,8      | 762,0    | 2,50      | 76,0                        | 304,8         | 2,01              | eben         | 19                           | 0               |
| 160 | [Wil-1979] Tab. A8  | 2                | 152,4              | 152,4                   | 152,4                 | 1,00       | 101,6    | 38,1      | 6,00                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 161 | [Wil-1979] Tab. A8  | 3                | 152,4              | 152,4                   | 152,4                 | 1,00       | 101,6    | 25,4      | 9,00                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 162 | [Wil-1979] Tab. A8  | 4                | 152,4              | 152,4                   | 152,4                 | 1,00       | 101,6    | 19,1      | 12,00                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 163 | [Wil-1979] Tab. A8  | 5                | 152,4              | 152,4                   | 152,4                 | 1,00       | 101,6    | 12,7      | 18,00                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 164 | [Wil-1979] Tab. A8  | 6                | 152,4              | 152,4                   | 152,4                 | 1,00       | 101,6    | 6,4       | 36,00                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 165 | [Wil-1979] Tab. A10 | 1                | 250,0              | 150,0                   | 500,0                 | 2,00       | 10,0     | 150,0     | 25,00                       | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 166 | [Wil-1979] Tab. A10 | 2                | 250,0              | 150,0                   | 500,0                 | 2,00       | 25,0     | 150,0     | 10,00                       | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 167 | [Wil-1979] Tab. A10 | 3                | 250,0              | 150,0                   | 500,0                 | 2,00       | 50,0     | 150,0     | 5,00                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 168 | [Wil-1979] Tab. A10 | 4                | 250,0              | 150,0                   | 500,0                 | 2,00       | 75,0     | 150,0     | 3,33                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 169 | [Wil-1979] Tab. A10 | 5                | 250,0              | 150,0                   | 500,0                 | 2,00       | 100,0    | 150,0     | 2,50                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 170 | [Wil-1979] Tab. A10 | 6                | 250,0              | 150,0                   | 500,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 1,67                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 171 | [Wil-1979] Tab. A10 | 7                | 250,0              | 150,0                   | 500,0                 | 2,00       | 200,0    | 150,0     | 1,25                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 172 | [Wil-1979] Tab. A10 | 9                | 250,0              | 150,0                   | 250,0                 | 1,00       | 10,0     | 150,0     | 25,00                       | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 173 | [Wil-1979] Tab. A10 | 10               | 250,0              | 150,0                   | 250,0                 | 1,00       | 25,0     | 150,0     | 10,00                       | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 174 | [Wil-1979] Tab. A10 | 11               | 250,0              | 150,0                   | 250,0                 | 1,00       | 50,0     | 150,0     | 5,00                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 175 | [Wil-1979] Tab. A10 | 12               | 250,0              | 150,0                   | 250,0                 | 1,00       | 75,0     | 150,0     | 3,33                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 176 | [Wil-1979] Tab. A10 | 13               | 250,0              | 150,0                   | 250,0                 | 1,00       | 100,0    | 150,0     | 2,50                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 177 | [Wil-1979] Tab. A10 | 14               | 250,0              | 150,0                   | 250,0                 | 1,00       | 150,0    | 150,0     | 1,67                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 178 | [Wil-1979] Tab. A10 | 15               | 250,0              | 150,0                   | 250,0                 | 1,00       | 200,0    | 150,0     | 1,25                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 179 | [Wil-1979] Tab. A10 | 17               | 250,0              | 150,0                   | 150,0                 | 0,60       | 10,0     | 150,0     | 25,00                       | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 180 | [Wil-1979] Tab. A10 | 18               | 250,0              | 150,0                   | 150,0                 | 0,60       | 25,0     | 150,0     | 10,00                       | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 181 | [Wil-1979] Tab. A10 | 19               | 250,0              | 150,0                   | 250,0                 | 1,00       | 50,0     | 150,0     | 5,00                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 182 | [Wil-1979] Tab. A10 | 20               | 250,0              | 150,0                   | 150,0                 | 0,60       | 75,0     | 150,0     | 3,33                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 183 | [Wil-1979] Tab. A10 | 21               | 250,0              | 150,0                   | 150,0                 | 0,60       | 100,0    | 150,0     | 2,50                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 184 | [Wil-1979] Tab. A10 | 22               | 250,0              | 150,0                   | 150,0                 | 0,60       | 150,0    | 150,0     | 1,67                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 185 | [Wil-1979] Tab. A10 | 23               | 250,0              | 150,0                   | 150,0                 | 0,60       | 200,0    | 150,0     | 1,25                        | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 186 | [Wil-1979] Tab. A10 | 25               | 200,0              | 200,0                   | 400,0                 | 2,00       | 30,0     | 30,0      | 44,44                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 187 | [Wil-1979] Tab. A10 | 26               | 200,0              | 200,0                   | 400,0                 | 2,00       | 50,0     | 50,0      | 16,00                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 188 | [Wil-1979] Tab. A10 | 27               | 200,0              | 200,0                   | 400,0                 | 2,00       | 100,0    | 100,0     | 4,00                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 189 | [Wil-1979] Tab. A10 | 28               | 200,0              | 200,0                   | 400,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 1,78                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 190 | [Wil-1979] Tab. A10 | 29               | 200,0              | 200,0                   | 300,0                 | 1,50       | 30,0     | 30,0      | 44,44                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 191 | [Wil-1979] Tab. A10 | 30               | 200,0              | 200,0                   | 300,0                 | 1,50       | 50,0     | 50,0      | 16,00                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 192 | [Wil-1979] Tab. A10 | 31               | 200,0              | 200,0                   | 300,0                 | 1,50       | 100,0    | 100,0     | 4,00                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 193 | [Wil-1979] Tab. A10 | 32               | 200,0              | 200,0                   | 300,0                 | 1,50       | 150,0    | 150,0     | 1,78                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 194 | [Wil-1979] Tab. A10 | 35               | 200,0              | 200,0                   | 200,0                 | 1,00       | 20,0     | 25,0      | 100,00                      | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 195 | [Wil-1979] Tab. A10 | 36               | 200,0              | 200,0                   | 200,0                 | 1,00       | 25,0     | 25,0      | 64,00                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 196 | [Wil-1979] Tab. A10 | 37               | 200,0              | 200,0                   | 200,0                 | 1,00       | 30,0     | 30,0      | 44,44                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 197 | [Wil-1979] Tab. A10 | 38               | 200,0              | 200,0                   | 200,0                 | 1,00       | 50,0     | 50,0      | 16,00                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 198 | [Wil-1979] Tab. A10 | 39               | 200,0              | 200,0                   | 200,0                 | 1,00       | 75,0     | 75,0      | 7,11                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 199 | [Wil-1979] Tab. A10 | 40               | 200,0              | 200,0                   | 200,0                 | 1,00       | 150,0    | 150,0     | 1,78                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 200 | [Wil-1979] Tab. A10 | 41               | 200,0              | 200,0                   | 200,0                 | 1,00       | 100,0    | 100,0     | 4,00                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 201 | [Wil-1979] Tab. A10 | 43               | 200,0              | 200,0                   | 150,0                 | 0,75       | 30,0     | 30,0      | 44,44                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 202 | [Wil-1979] Tab. A10 | 44               | 200,0              | 200,0                   | 150,0                 | 0,75       | 50,0     | 50,0      | 16,00                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 203 | [Wil-1979] Tab. A10 | 45               | 200,0              | 200,0                   | 150,0                 | 0,75       | 100,0    | 100,0     | 4,00                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 204 | [Wil-1979] Tab. A10 | 46               | 200,0              | 200,0                   | 150,0                 | 0,75       | 150,0    | 150,0     | 1,78                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 205 | [Wil-1979] Tab. A10 | 48               | 200,0              | 200,0                   | 100,0                 | 0,50       | 30,0     | 30,0      | 44,44                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 206 | [Wil-1979] Tab. A10 | 49               | 200,0              | 200,0                   | 100,0                 | 0,50       | 50,0     | 50,0      | 16,00                       | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 207 | [Wil-1979] Tab. A10 | 50               | 200,0              | 200,0                   | 100,0                 | 0,50       | 100,0    | 100,0     | 4,00                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 208 | [Wil-1979] Tab. A10 | 51               | 200,0              | 200,0                   | 100,0                 | 0,50       | 150,0    | 150,0     | 1,78                        | räumlich      | 0                 | 0            |                              |                 |
| 209 | [Wil-1979] Tab. A14 | 1                | 152,4              | 152,4                   | 152,4                 | 1,00       | 13,0     | 152,4     | 11,72                       | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |
| 210 | [Wil-1979] Tab. A14 | 2                | 152,4              | 152,4                   | 152,4                 | 1,00       | 13,0     | 152,4     | 11,72                       | eben          | 0                 | 0            |                              |                 |

| 16                                   | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                 | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{cm,ged}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,ges}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,90}$  | $q_{br} / f_{ct,90}$   |
| 21.4                                 | 1.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.06                   |
| 27.7                                 | 2.19                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 0.78                   |
| 22.2                                 | 1.76                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.27                   |
| 27.6                                 | 2.18                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.03                   |
| 19.2                                 | 1.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.35                   |
| 21.4                                 | 1.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.23                   |
| 44.7                                 | 3.31                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 0.92                   |
| 44.7                                 | 3.31                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.01                   |
| 15.8                                 | 1.18                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.68                   |
| 19.0                                 | 1.49                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.37                   |
| 19.4                                 | 1.52                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.63                   |
| 19.4                                 | 1.52                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.11                   |
| 20.9                                 | 1.65                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.10                   |
| 24.2                                 | 1.92                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.17                   |
| 21.8                                 | 1.73                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.25                   |
| 46.2                                 | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 0.84                   |
| 17.4                                 | 1.34                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.98                   |
| 19.8                                 | 1.55                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.23                   |
| 25.2                                 | 2.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.46                   |
| 52.2                                 | 3.75                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.63                  | 2.07                   |
| 52.2                                 | 3.75                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.00                  | 2.82                   |
| 52.2                                 | 3.75                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.37                  | 3.45                   |
| 52.2                                 | 3.75                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.25                  | 4.15                   |
| 52.2                                 | 3.75                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 6.21                  | 6.21                   |
| 41.8                                 | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 4.18                  | 4.41                   |
| 41.8                                 | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.00                  | 2.20                   |
| 41.8                                 | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.46                  | 1.63                   |
| 41.8                                 | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.01                  | 1.28                   |
| 41.8                                 | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.92                  | 1.11                   |
| 41.8                                 | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.87                  | 0.96                   |
| 41.8                                 | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.89                  | 0.93                   |
| 40.7                                 | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.20                  | 4.43                   |
| 40.7                                 | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.78                  | 2.41                   |
| 40.7                                 | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.34                  | 1.85                   |
| 40.7                                 | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.13                  | 1.52                   |
| 40.7                                 | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.01                  | 1.37                   |
| 40.7                                 | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.72                  | 1.12                   |
| 40.7                                 | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.75                  | 1.04                   |
| 38.5                                 | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.83                  | 4.84                   |
| 38.5                                 | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.26                  | 2.92                   |
| 38.5                                 | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.74                  | 2.46                   |
| 38.5                                 | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.64                  | 2.13                   |
| 38.5                                 | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.15                  | 1.85                   |
| 38.5                                 | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.08                  | 1.67                   |
| 38.5                                 | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.95                  | 1.55                   |
| 42.1                                 | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 6.22                  | 6.22                   |
| 42.1                                 | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.98                  | 3.12                   |
| 42.1                                 | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.35                  | 1.47                   |
| 42.1                                 | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.95                  | 1.08                   |
| 42.1                                 | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 6.15                  | 6.15                   |
| 42.1                                 | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.04                  | 3.13                   |
| 42.1                                 | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.38                  | 1.59                   |
| 42.1                                 | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.90                  | 1.15                   |
| 41.1                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 9.71                  | 9.71                   |
| 41.1                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 7.97                  | 7.97                   |
| 41.1                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 5.77                  | 5.77                   |
| 41.1                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.44                  | 3.17                   |
| 41.1                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.49                  | 2.55                   |
| 41.1                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.97                  | 1.42                   |
| 41.1                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.36                  | 1.81                   |
| 38.6                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 6.19                  | 6.26                   |
| 38.6                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.86                  | 3.79                   |
| 38.6                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.76                  | 2.19                   |
| 38.6                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.02                  | 1.75                   |
| 38.6                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 5.99                  | 6.41                   |
| 38.6                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.25                  | 3.73                   |
| 38.6                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.00                  | 2.88                   |
| 38.6                                 | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.44                  | 2.20                   |
| 62.2                                 | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.15                   |
| 61.5                                 | 4.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.19                   |

# Anhang B

| 1   | 2       | 3                | 4                   | 5                          | 6                         |            |          | 7         | 8                                | 9              | 10                         |                 | 11             | 12             | 13                             | 14 | 15 |
|-----|---------|------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|------------|----------|-----------|----------------------------------|----------------|----------------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----|----|
|     |         |                  |                     |                            | Probekörper-<br>messungen |            |          |           |                                  |                | Lasplattenab-<br>messungen |                 |                |                |                                |    |    |
| Nr. | Author  | Veröffentlichung | Datenquelle         | Probekörper<br>Bezeichnung | $b_x$ bzw.<br>$d$ [mm]    | $b_y$ [mm] | $h$ [mm] | $\lambda$ | $b_{p,x}$ bzw.<br>$d_{p,t}$ [mm] | $b_{p,y}$ [mm] | $A_{x1} / A_{x0}$          | Fall der<br>TFB | $b_{p,x}$ [mm] | $b_{p,y}$ [mm] | Exzentrizität<br>der Lasplatte |    |    |
| 211 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 3                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 13,0                             | 152,4          | 11,72                      | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 212 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 4                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 13,0                             | 152,4          | 11,72                      | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 213 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 5                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 13,0                             | 152,4          | 11,72                      | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 214 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 6                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 13,0                             | 152,4          | 11,72                      | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 215 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 7                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 13,0                             | 152,4          | 11,72                      | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 216 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 8                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 13,0                             | 152,4          | 11,72                      | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 217 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 9                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 51,0                             | 152,4          | 2,99                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 218 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 10                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 152,4          | 2,01                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 219 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 11                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 102,0                            | 152,4          | 1,49                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 220 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 12                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 127,0                            | 152,4          | 1,20                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 221 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 14                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 25,0                             | 152,4          | 6,10                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 222 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 15                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 51,0                             | 152,4          | 2,99                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 223 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 16                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 152,4          | 2,01                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 224 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 17                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 127,0                            | 152,4          | 1,20                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 225 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 19                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 51,0                             | 152,4          | 2,99                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 226 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 20                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 152,4          | 2,01                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 227 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 21                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 102,0                            | 152,4          | 1,49                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 228 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 23                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 51,0                             | 152,4          | 2,99                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 229 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 24                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 102,0                            | 152,4          | 1,49                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 230 | POSNER  | [Pos-1968]       | [Wil-1979] Tab. A14 | 25                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 127,0                            | 152,4          | 1,20                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 231 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 27                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 51,0                             | 152,4          | 2,99                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 232 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 28                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 152,4          | 2,01                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 233 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 29                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 102,0                            | 152,4          | 1,49                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 234 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 30                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 127,0                            | 152,4          | 1,20                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 235 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 32                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 25,0                             | 152,4          | 6,10                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 236 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 33                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 51,0                             | 152,4          | 2,99                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 237 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 34                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 152,4          | 2,01                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 238 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 35                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 127,0                            | 152,4          | 1,20                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 239 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 37                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 51,0                             | 152,4          | 2,99                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 240 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 38                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 152,4          | 2,01                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 241 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 39                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 102,0                            | 152,4          | 1,49                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 242 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 41                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 51,0                             | 152,4          | 2,99                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 243 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 42                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 102,0                            | 152,4          | 1,49                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 244 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 43                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 127,0                            | 152,4          | 1,20                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 245 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 45                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 51,0                             | 152,4          | 2,99                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 246 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 46                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 152,4          | 2,01                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 247 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 47                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 102,0                            | 152,4          | 1,49                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 248 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A14 | 48                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 127,0                            | 152,4          | 1,20                       | eben            | 0              | 0              |                                |    |    |
| 249 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 1                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 44,0                             | 44,0           | 13,00                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 250 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 2                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 50,8                             | 50,8           | 9,00                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 251 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 3                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 63,5                             | 64,0           | 5,72                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 252 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 4                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 76,0           | 4,02                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 253 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 5                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 101,6                            | 101,6          | 2,25                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 254 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 6                          | 228,6                     | 228,6      | 228,6    | 1,00      | 64,0                             | 64,0           | 12,76                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 255 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 7                          | 228,6                     | 228,6      | 228,6    | 1,00      | 76,0                             | 76,0           | 9,05                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 256 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 8                          | 228,6                     | 228,6      | 228,6    | 1,00      | 101,6                            | 101,6          | 5,06                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 257 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 9                          | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 44,0                             | 44,0           | 12,00                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 258 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 10                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 50,8                             | 50,8           | 9,00                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 259 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 11                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 64,0                             | 64,0           | 5,67                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 260 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 12                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 76,0           | 4,02                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 261 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 13                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 101,6                            | 101,6          | 2,25                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 262 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 14                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 50,8                             | 50,8           | 9,00                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 263 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 15                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 76,0           | 4,02                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 264 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 17                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 50,8                             | 50,8           | 9,02                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 265 | HAWKINS | [Haw-1968]       | [Wil-1979] Tab. A11 | 18                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 76,0           | 4,02                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 266 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 20                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 25,4                             | 25,4           | 36,00                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 267 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 21                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 31,0                             | 31,0           | 24,17                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 268 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 22                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 36,0                             | 36,0           | 17,92                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 269 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 23                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 50,8                             | 50,8           | 9,00                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 270 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 24                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 76,0           | 4,02                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 271 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 25                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 36,0                             | 36,0           | 17,92                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 272 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 26                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 76,0           | 4,02                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 273 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 27                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 25,4                             | 38,1           | 24,00                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 274 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 28                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 25,4                             | 50,8           | 18,00                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 275 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 29                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 25,4                             | 76,2           | 12,00                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 276 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 30                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 25,4                             | 101,6          | 9,00                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 277 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 31                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 50,8                             | 76,2           | 6,00                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 278 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 32                         | 152,4                     | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 50,8                             | 101,6          | 4,50                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 279 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 33                         | 101,6                     | -          | 203,2    | 2,00      | 25,4                             | -              | 16,00                      | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |
| 280 |         |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 34                         | 101,6                     | -          | 203,2    | 2,00      | 38,1                             | -              | 7,11                       | räumlich        | 0              | 0              |                                |    |    |

| 16                                       | 17                                | 18                                   | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|--|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                     | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.               | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,geo,ges}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,sp,zug}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,sp}$  | $q_{br} / f_{ct,sp}$   |
| 58.2                                     | 3.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.11                   |
| 55.3                                     | 3.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.20                   |
| 42.7                                     | 3.50                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.24                   |
| 41.0                                     | 3.50                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.12                   |
| 31.0                                     | 2.90                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.16                   |
| 29.7                                     | 2.30                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.52                   |
| 56.2                                     | 3.30                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.77                   |
| 56.2                                     | 3.30                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.00                   |
| 56.2                                     | 3.30                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.03                   |
| 56.2                                     | 3.30                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.97                   |
| 61.5                                     | 4.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.52                   |
| 61.5                                     | 4.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.64                   |
| 61.5                                     | 4.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.72                   |
| 61.5                                     | 4.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.74                   |
| 55.3                                     | 3.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.50                   |
| 55.3                                     | 3.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.39                   |
| 55.3                                     | 3.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.47                   |
| 46.3                                     | 3.00                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.39                   |
| 46.3                                     | 3.00                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.47                   |
| 46.3                                     | 3.00                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.47                   |
| 55.8                                     | 3.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.10                   |
| 55.8                                     | 3.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.75                   |
| 55.8                                     | 3.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.48                   |
| 55.8                                     | 3.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.32                   |
| 61.5                                     | 4.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.79                   |
| 61.5                                     | 4.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.10                   |
| 61.5                                     | 4.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.07                   |
| 61.5                                     | 4.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.18                   |
| 55.3                                     | 3.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.73                   |
| 55.3                                     | 3.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.02                   |
| 55.3                                     | 3.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.13                   |
| 46.3                                     | 3.00                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.58                   |
| 46.3                                     | 3.00                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.99                   |
| 46.3                                     | 3.00                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.12                   |
| 63.8                                     | 3.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.82                   |
| 63.8                                     | 3.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.02                   |
| 63.8                                     | 3.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.02                   |
| 63.8                                     | 3.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.15                   |
| 21.9                                     | 1.74                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.85                   |
| 21.9                                     | 1.74                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.66                   |
| 21.9                                     | 1.74                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.25                   |
| 21.9                                     | 1.74                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.89                   |
| 21.9                                     | 1.74                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.48                   |
| 26.1                                     | 2.07                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.16                   |
| 26.1                                     | 2.07                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.73                   |
| 26.1                                     | 2.07                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.07                   |
| 52.5                                     | 3.77                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.18                   |
| 52.5                                     | 3.77                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.02                   |
| 52.5                                     | 3.77                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.75                   |
| 52.5                                     | 3.77                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.48                   |
| 52.5                                     | 3.77                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.22                   |
| 26.5                                     | 2.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.05                   |
| 26.5                                     | 2.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.09                   |
| 35.0                                     | 2.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.60                   |
| 35.0                                     | 2.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.60                   |
| 40.8                                     | 3.07                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 5.42                   |
| 40.8                                     | 3.07                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 4.39                   |
| 40.8                                     | 3.07                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.85                   |
| 40.8                                     | 3.07                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.62                   |
| 40.8                                     | 3.07                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.03                   |
| 33.5                                     | 2.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.40                   |
| 33.5                                     | 2.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.75                   |
| 45.7                                     | 3.37                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 4.45                   |
| 45.7                                     | 3.37                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 4.06                   |
| 45.7                                     | 3.37                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.22                   |
| 45.7                                     | 3.37                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.75                   |
| 45.7                                     | 3.37                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 2.04                   |
| 34.9                                     | 2.69                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 1.91                   |
| 11.8                                     | 0.74                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 5.88                   |
| 11.8                                     | 0.74                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k. A.                 | 3.18                   |

# Anhang B

| 1   | 2      | 3                | 4                   | 5                          | 6                           |            |          | 7                                |                |           | 9                        | 10        |                            | 11              |                   | 12             | 13 | 14 | 15 |
|-----|--------|------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|------------|----------|----------------------------------|----------------|-----------|--------------------------|-----------|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|----|----|----|
|     |        |                  |                     |                            | Probekörper-<br>Bezeichnung |            |          | Prüfkörper-<br>messungen         |                |           |                          | $\lambda$ | Lasplattenab-<br>messungen |                 | Lastkonzentration |                |    |    |    |
| Nr. | Author | Veröffentlichung | Datenquelle         | Probekörper<br>Bezeichnung | $b_1$ bzw.<br>$d$ [mm]      | $b_2$ [mm] | $h$ [mm] | $b_{p,1}$ bzw.<br>$d_{p,1}$ [mm] | $b_{p,2}$ [mm] | $\lambda$ | $b_{p,1}$ /<br>$A_{s,0}$ |           | $b_{p,2}$ /<br>$A_{s,0}$   | Fall der<br>TFB | $e_{p,1}$ [mm]    | $e_{p,2}$ [mm] |    |    |    |
| 281 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 35                         | 101.6                       | -          | -        | 203.2                            | 2.00           | 50.8      | -                        | -         | 4.00                       | räumlich        | 0                 | 0              |    |    |    |
| 282 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 36                         | 101.6                       | -          | -        | 203.2                            | 2.00           | 64.0      | -                        | -         | 2.52                       | räumlich        | 0                 | 0              |    |    |    |
| 283 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 37                         | 152.4                       | -          | -        | 304.8                            | 2.00           | 25.4      | -                        | -         | 36.00                      | räumlich        | 0                 | 0              |    |    |    |
| 284 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A11 | 38                         | 152.4                       | -          | -        | 304.8                            | 2.00           | 50.8      | -                        | -         | 9.00                       | räumlich        | 0                 | 0              |    |    |    |
| 285 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 1                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 25.4      | 25.4                     | 36.00     | räumlich                   | 64              | 64                |                |    |    |    |
| 286 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 2                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 25.4      | 36.00                    | räumlich  | 64                         | 64              |                   |                |    |    |    |
| 287 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 3                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 36.0           | 36.0      | 17.92                    | räumlich  | 58                         | 58              |                   |                |    |    |    |
| 288 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 4                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 50.8           | 50.8      | 9.00                     | räumlich  | 51                         | 51              |                   |                |    |    |    |
| 289 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 5                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 62.0           | 62.0      | 6.04                     | räumlich  | 45                         | 45              |                   |                |    |    |    |
| 290 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 6                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 76.0           | 76.0      | 4.02                     | räumlich  | 38                         | 28              |                   |                |    |    |    |
| 291 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 7                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 25.4      | 36.00                    | räumlich  | 0                          | 64              |                   |                |    |    |    |
| 292 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 8                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 30.0           | 30.0      | 25.81                    | räumlich  | 0                          | 61              |                   |                |    |    |    |
| 293 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 9                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 36.0           | 36.0      | 17.92                    | räumlich  | 0                          | 58              |                   |                |    |    |    |
| 294 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 10                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 44.0           | 44.0      | 12.00                    | räumlich  | 0                          | 54              |                   |                |    |    |    |
| 295 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 11                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 61.0           | 61.0      | 6.24                     | räumlich  | 0                          | 45              |                   |                |    |    |    |
| 296 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 12                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 76.0           | 76.0      | 4.02                     | räumlich  | 0                          | 38              |                   |                |    |    |    |
| 297 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 13                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 44.0           | 44.0      | 12.00                    | räumlich  | 0                          | 54              |                   |                |    |    |    |
| 298 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 14                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 36.0           | 36.0      | 17.92                    | räumlich  | 0                          | 58              |                   |                |    |    |    |
| 299 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 15                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 50.8           | 50.8      | 9.00                     | räumlich  | 0                          | 51              |                   |                |    |    |    |
| 300 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 16                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 76.0           | 76.0      | 4.02                     | räumlich  | 0                          | 38              |                   |                |    |    |    |
| 301 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 17                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 50.8           | 50.8      | 9.00                     | räumlich  | 0                          | 51              |                   |                |    |    |    |
| 302 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 18                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 76.0           | 76.0      | 4.02                     | räumlich  | 0                          | 38              |                   |                |    |    |    |
| 303 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 19                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 50.8           | 50.8      | 9.00                     | räumlich  | 0                          | 51              |                   |                |    |    |    |
| 304 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 20                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 76.0           | 76.0      | 4.02                     | räumlich  | 0                          | 38              |                   |                |    |    |    |
| 305 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 21                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 25.4      | 36.00                    | räumlich  | 48                         | 48              |                   |                |    |    |    |
| 306 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 22                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 25.4      | 36.00                    | räumlich  | 24                         | 24              |                   |                |    |    |    |
| 307 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 23                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 25.4      | 36.00                    | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 308 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 24                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 25.4      | 36.00                    | räumlich  | 0                          | 64              |                   |                |    |    |    |
| 309 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 25                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 25.4      | 36.00                    | räumlich  | 0                          | 42              |                   |                |    |    |    |
| 310 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 26                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 25.4      | 36.00                    | räumlich  | 0                          | 21              |                   |                |    |    |    |
| 311 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 27                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 36.0           | 36.0      | 17.92                    | räumlich  | 38                         | 38              |                   |                |    |    |    |
| 312 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 28                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 44.0           | 44.0      | 12.00                    | räumlich  | 38                         | 38              |                   |                |    |    |    |
| 313 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 29                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 50.8           | 50.8      | 9.00                     | räumlich  | 38                         | 38              |                   |                |    |    |    |
| 314 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 30                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 57.0           | 29.0      | 14.05                    | räumlich  | 47                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 315 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 31                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 71.0           | 28.0      | 11.68                    | räumlich  | 40                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 316 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 32                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 76.2           | 25.4      | 12.00                    | räumlich  | 38                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 317 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 33                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 25.4      | 9.00                     | räumlich  | 25                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 318 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 34                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 127.0          | 25.4      | 7.20                     | räumlich  | 13                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 319 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 35                         | 152.0                       | 152.0      | 152.0    | 1.00                             | 152.0          | 25.0      | 6.08                     | eben      | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 320 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 36                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 72.0           | 51.0      | 6.33                     | räumlich  | 40                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 321 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 37                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 38.1      | 24.00                    | räumlich  | 64                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 322 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 38                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 51.0      | 17.92                    | räumlich  | 64                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 323 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 39                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 25.4           | 76.0      | 12.03                    | räumlich  | 64                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 324 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 40                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 76.2           | 50.8      | 6.00                     | räumlich  | 38                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 325 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A12 | 41                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 50.8           | 76.2      | 6.00                     | räumlich  | 51                         | 0               |                   |                |    |    |    |
| 326 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 1                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 327 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 2                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 328 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 3                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 329 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 4                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 330 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 5                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 331 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 6                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 332 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 7                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 333 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 8                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 334 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 9                          | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 335 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 10                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 336 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 11                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 337 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 12                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 338 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 13                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 339 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 14                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 340 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 15                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 341 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 16                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 101.6          | 101.6     | 2.25                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 342 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 17                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 99.0           | 99.0      | 2.37                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 343 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 18                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 99.0           | 99.0      | 2.37                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 344 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 19                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 99.0           | 99.0      | 2.37                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 345 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 20                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 99.0           | 99.0      | 2.37                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 346 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 21                         | 152.4                       | 152.4      | 152.4    | 1.00                             | 99.0           | 99.0      | 2.37                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 347 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 22                         | 254.0                       | 254.0      | 254.0    | 1.00                             | 150.0          | 150.0     | 2.87                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 348 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 23                         | 254.0                       | 254.0      | 254.0    | 1.00                             | 150.0          | 150.0     | 2.87                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 349 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 24                         | 203.2                       | 203.2      | 204.8    | 1.50                             | 152.4          | 152.4     | 1.78                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |
| 350 |        |                  | [Wil-1979] Tab. A13 | 25                         | 203.2                       | 203.2      | 204.8    | 1.50                             | 150.0          | 150.0     | 1.84                     | räumlich  | 0                          | 0               |                   |                |    |    |    |

| 16  | 17                                | 18                                   | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                  | 24                | 25                  | 26                | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                      | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.               | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | meh. Bew.-Grad ges. | meh. Bew.-Grad ld | meh. Bew.-Grad ges. | meh. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,ges,90}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,sp,ges}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$          | $\sigma_{0,ld}$   | $\mu$               | $\mu_{ld}$        | $q_{cr} / f_{ct,sp}$  | $q_{br} / f_{ct,sp}$   |
| 11.8                                      | 0.74                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 2.09                   |
| 11.8                                      | 0.74                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.56                   |
| 33.5                                      | 2.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 4.62                   |
| 33.5                                      | 2.60                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 2.44                   |
| 21.2                                      | 1.68                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.43                   |
| 30.2                                      | 2.37                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.55                   |
| 21.0                                      | 1.66                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.44                   |
| 21.0                                      | 1.66                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.54                   |
| 21.0                                      | 1.66                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.41                   |
| 24.6                                      | 1.95                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.29                   |
| 44.2                                      | 3.28                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 2.42                   |
| 44.2                                      | 3.28                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | 0.01                  | 2.22                   |
| 47.2                                      | 3.46                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | 0.01                  | 2.01                   |
| 44.2                                      | 3.28                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | 0.01                  | 1.99                   |
| 47.4                                      | 3.47                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | 0.01                  | 1.75                   |
| 38.2                                      | 2.91                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | 0.02                  | 1.40                   |
| 30.2                                      | 2.37                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | 0.03                  | 1.95                   |
| 47.7                                      | 3.49                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | 0.02                  | 2.12                   |
| 47.7                                      | 3.49                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.78                   |
| 47.7                                      | 3.49                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.52                   |
| 26.5                                      | 2.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.91                   |
| 26.5                                      | 2.10                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.71                   |
| 35.0                                      | 2.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.67                   |
| 35.0                                      | 2.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.38                   |
| 29.8                                      | 2.34                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 3.13                   |
| 31.2                                      | 2.44                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 4.21                   |
| 29.1                                      | 2.29                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 5.73                   |
| 33.1                                      | 2.57                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 2.08                   |
| 36.9                                      | 2.82                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 3.35                   |
| 31.8                                      | 2.48                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 5.24                   |
| 36.7                                      | 2.81                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 2.37                   |
| 33.7                                      | 2.61                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.76                   |
| 35.0                                      | 2.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.59                   |
| 46.8                                      | 3.44                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 2.19                   |
| 46.8                                      | 3.44                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 2.22                   |
| 44.2                                      | 3.28                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 2.21                   |
| 47.1                                      | 3.46                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 2.05                   |
| 45.4                                      | 3.35                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.71                   |
| 48.7                                      | 3.55                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.73                   |
| 47.2                                      | 3.46                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.84                   |
| 34.1                                      | 2.64                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 2.12                   |
| 34.1                                      | 2.64                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.91                   |
| 34.1                                      | 2.64                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.57                   |
| 34.1                                      | 2.64                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.70                   |
| 34.1                                      | 2.64                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.47                   |
| 19.0                                      | 1.48                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 0.91                   |
| 19.0                                      | 1.48                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 0.94                   |
| 19.0                                      | 1.48                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.31                   |
| 19.0                                      | 1.48                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.41                   |
| 31.0                                      | 2.42                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 0.84                   |
| 31.0                                      | 2.42                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 0.89                   |
| 31.0                                      | 2.42                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 0.95                   |
| 31.0                                      | 2.42                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.21                   |
| 27.0                                      | 2.13                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.51                   |
| 31.0                                      | 2.42                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.78                   |
| 41.5                                      | 3.12                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 0.71                   |
| 41.5                                      | 3.12                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 0.71                   |
| 41.5                                      | 3.12                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 0.85                   |
| 41.5                                      | 3.12                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.07                   |
| 41.5                                      | 3.12                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.24                   |
| 41.5                                      | 3.12                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.59                   |
| 28.9                                      | 2.27                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.22                   |
| 28.9                                      | 2.27                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.25                   |
| 28.9                                      | 2.27                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.35                   |
| 28.9                                      | 2.27                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.50                   |
| 28.9                                      | 2.27                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.51                   |
| 28.9                                      | 2.27                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.07                   |
| 28.9                                      | 2.27                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 1.08                   |
| 20.8                                      | 1.64                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 0.73                   |
| 20.8                                      | 1.64                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | k.A.                  | 0.77                   |

# Anhang B

| 1   | 2                   | 3          | 4                   | 5     | 6     |       |                  | 7     | 8     | 9        | 10          |                            | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
|-----|---------------------|------------|---------------------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|----------|-------------|----------------------------|----|----|----|----|----|------------------------|------------|----------|-----------|----------------------------------|----------------|--|-----------------|-------------------|-------------------|
|     |                     |            |                     |       | Nr.   | Autor | Veröffentlichung |       |       |          | Datenquelle | Probekörper<br>Bezeichnung |    |    |    |    |    | $b_1$ bzw.<br>$d$ [mm] | $b_2$ [mm] | $h$ [mm] | $\lambda$ | $b_{p_1}$ bzw.<br>$d_{p_1}$ [mm] | $b_{p_2}$ [mm] | Lasikonzentration<br>$A_{s_1} / A_{s_0}$ | Fall der<br>FTB | $e_{p_{10}}$ [mm] | $e_{p_{15}}$ [mm] |
|     |                     |            |                     |       |       |       |                  |       |       |          |             |                            |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 351 | HAWKINS             | [Haw-1970] | [Wil-1979] Tab. A13 | 26    | 203,2 | 203,2 | 304,8            | 1,50  | 150,0 | 150,0    | 1,84        | räumlich                   | 0  | 0  |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 352 |                     |            | [Wil-1979] Tab. A13 | 27    | 203,2 | 203,2 | 304,8            | 1,50  | 150,0 | 150,0    | 1,84        | räumlich                   | 0  | 0  |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 353 |                     |            | [Wil-1979] Tab. A13 | 28    | 203,2 | 203,2 | 304,8            | 1,50  | 150,0 | 150,0    | 1,84        | räumlich                   | 0  | 0  |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 354 |                     |            | [Wil-1979] Tab. A13 | 29    | 203,2 | 203,2 | 304,8            | 1,50  | 150,0 | 150,0    | 1,84        | räumlich                   | 0  | 0  |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 355 |                     |            | [Wil-1979] Tab. A13 | 30    | 203,2 | 203,2 | 304,8            | 1,50  | 152,4 | 152,4    | 1,78        | räumlich                   | 0  | 0  |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 356 |                     |            | [Wil-1979] Tab. A13 | 31    | 203,2 | 203,2 | 304,8            | 1,50  | 150,0 | 150,0    | 1,84        | räumlich                   | 0  | 0  |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 357 |                     |            | [Wil-1979] Tab. A13 | 32    | 203,2 | 203,2 | 304,8            | 1,50  | 150,0 | 150,0    | 1,84        | räumlich                   | 0  | 0  |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 358 |                     |            | [Wil-1979] Tab. A13 | 33    | 203,2 | 203,2 | 304,8            | 1,50  | 150,0 | 150,0    | 1,84        | räumlich                   | 0  | 0  |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 359 |                     |            | [Wil-1979] Tab. A15 | 1     | 80,0  | 80,0  | 200,0            | 2,50  | 48,0  | 16,0     | 8,33        | räumlich                   | 0  | 0  |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 360 |                     |            | [Wil-1979] Tab. A15 | 2     | 80,0  | 80,0  | 200,0            | 2,50  | 16,0  | 48,0     | 8,33        | räumlich                   | 0  | 0  |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 361 | [Wil-1979] Tab. A15 | 3          | 80,0                | 80,0  | 200,0 | 2,50  | 16,0             | 80,0  | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 362 | [Wil-1979] Tab. A15 | 4          | 80,0                | 80,0  | 200,0 | 2,50  | 16,0             | 80,0  | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 363 | [Wil-1979] Tab. A15 | 5          | 80,0                | 80,0  | 200,0 | 2,50  | 80,0             | 48,0  | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 364 | [Wil-1979] Tab. A15 | 6          | 80,0                | 80,0  | 200,0 | 2,50  | 48,0             | 80,0  | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 365 | [Wil-1979] Tab. A15 | 7          | 80,0                | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 16,0             | 24,0  | 25,00 | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 366 | [Wil-1979] Tab. A15 | 8          | 80,0                | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 48,0             | 24,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 367 | [Wil-1979] Tab. A15 | 9          | 80,0                | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 16,0             | 72,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 368 | [Wil-1979] Tab. A15 | 10         | 80,0                | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 80,0             | 24,0  | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 369 | [Wil-1979] Tab. A15 | 11         | 80,0                | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 16,0             | 120,0 | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 370 | [Wil-1979] Tab. A15 | 12         | 80,0                | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 48,0             | 72,0  | 2,78  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 371 | [Wil-1979] Tab. A15 | 13         | 80,0                | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 80,0             | 72,0  | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 372 | [Wil-1979] Tab. A15 | 14         | 80,0                | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 48,0             | 120,0 | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 373 | [Wil-1979] Tab. A15 | 16         | 80,0                | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 16,0             | 32,0  | 25,00 | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 374 | [Wil-1979] Tab. A15 | 17         | 80,0                | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 48,0             | 32,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 375 | [Wil-1979] Tab. A15 | 18         | 80,0                | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 16,0             | 96,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 376 | [Wil-1979] Tab. A15 | 19         | 80,0                | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 80,0             | 32,0  | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 377 | [Wil-1979] Tab. A15 | 20         | 80,0                | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 16,0             | 160,0 | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 378 | [Wil-1979] Tab. A15 | 21         | 80,0                | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 48,0             | 96,0  | 2,78  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 379 | [Wil-1979] Tab. A15 | 22         | 80,0                | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 80,0             | 96,0  | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 380 | [Wil-1979] Tab. A15 | 23         | 80,0                | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 48,0             | 160,0 | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 381 | [Wil-1979] Tab. A15 | 25         | 80,0                | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 16,0             | 40,0  | 25,00 | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 382 | [Wil-1979] Tab. A15 | 26         | 80,0                | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 48,0             | 40,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 383 | [Wil-1979] Tab. A15 | 27         | 80,0                | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 16,0             | 120,0 | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 384 | [Wil-1979] Tab. A15 | 28         | 80,0                | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 80,0             | 40,0  | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 385 | [Wil-1979] Tab. A15 | 29         | 80,0                | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 16,0             | 200,0 | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 386 | [Wil-1979] Tab. A15 | 30         | 80,0                | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 48,0             | 120,0 | 2,78  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 387 | [Wil-1979] Tab. A15 | 31         | 80,0                | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 80,0             | 120,0 | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 388 | [Wil-1979] Tab. A15 | 32         | 80,0                | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 48,0             | 200,0 | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 389 | [Wil-1979] Tab. A15 | 34         | 80,0                | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 16,0             | 48,0  | 25,00 | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 390 | [Wil-1979] Tab. A15 | 35         | 80,0                | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 16,0             | 144,0 | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 391 | [Wil-1979] Tab. A15 | 36         | 80,0                | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 80,0             | 48,0  | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 392 | [Wil-1979] Tab. A15 | 37         | 80,0                | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 16,0             | 240,0 | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 393 | [Wil-1979] Tab. A15 | 38         | 80,0                | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 48,0             | 144,0 | 2,78  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 394 | [Wil-1979] Tab. A15 | 39         | 80,0                | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 80,0             | 144,0 | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 395 | [Wil-1979] Tab. A15 | 40         | 80,0                | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 48,0             | 240,0 | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 396 | [Wil-1979] Tab. A15 | 42         | 120,0               | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 72,0             | 24,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 397 | [Wil-1979] Tab. A15 | 43         | 120,0               | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 24,0             | 72,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 398 | [Wil-1979] Tab. A15 | 44         | 120,0               | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 24,0             | 120,0 | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 399 | [Wil-1979] Tab. A15 | 45         | 120,0               | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 24,0             | 120,0 | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 400 | [Wil-1979] Tab. A15 | 46         | 120,0               | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 120,0            | 72,0  | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 401 | [Wil-1979] Tab. A15 | 47         | 120,0               | 120,0 | 200,0 | 1,67  | 72,0             | 120,0 | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 402 | [Wil-1979] Tab. A15 | 48         | 120,0               | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 24,0             | 32,0  | 25,00 | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 403 | [Wil-1979] Tab. A15 | 49         | 120,0               | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 72,0             | 32,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 404 | [Wil-1979] Tab. A15 | 50         | 120,0               | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 24,0             | 96,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 405 | [Wil-1979] Tab. A15 | 51         | 120,0               | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 120,0            | 32,0  | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 406 | [Wil-1979] Tab. A15 | 52         | 120,0               | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 24,0             | 160,0 | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 407 | [Wil-1979] Tab. A15 | 53         | 120,0               | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 72,0             | 96,0  | 2,78  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 408 | [Wil-1979] Tab. A15 | 54         | 120,0               | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 120,0            | 96,0  | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 409 | [Wil-1979] Tab. A15 | 55         | 120,0               | 160,0 | 200,0 | 1,25  | 72,0             | 160,0 | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 410 | [Wil-1979] Tab. A15 | 57         | 120,0               | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 24,0             | 40,0  | 25,00 | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 411 | [Wil-1979] Tab. A15 | 58         | 120,0               | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 72,0             | 40,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 412 | [Wil-1979] Tab. A15 | 59         | 120,0               | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 24,0             | 120,0 | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 413 | [Wil-1979] Tab. A15 | 60         | 120,0               | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 120,0            | 40,0  | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 414 | [Wil-1979] Tab. A15 | 61         | 120,0               | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 24,0             | 200,0 | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 415 | [Wil-1979] Tab. A15 | 62         | 120,0               | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 72,0             | 120,0 | 2,78  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 416 | [Wil-1979] Tab. A15 | 63         | 120,0               | 200,0 | 200,0 | 1,00  | 72,0             | 200,0 | 1,67  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 417 | [Wil-1979] Tab. A15 | 65         | 120,0               | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 24,0             | 48,0  | 25,00 | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 418 | [Wil-1979] Tab. A15 | 66         | 120,0               | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 72,0             | 48,0  | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 419 | [Wil-1979] Tab. A15 | 67         | 120,0               | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 24,0             | 144,0 | 8,33  | räumlich | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |
| 420 | [Wil-1979] Tab. A15 | 68         | 120,0               | 240,0 | 200,0 | 0,83  | 120,0            | 48,0  | 5,00  | eben     | 0           | 0                          |    |    |    |    |    |                        |            |          |           |                                  |                |  |                 |                   |                   |

| 16  | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                      | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,ges,90}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Spz}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,90}$  | $q_{br} / f_{ct,90}$   |
| 20.8                                      | 1,64                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,97                   |
| 20.8                                      | 1,64                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,99                   |
| 20.8                                      | 1,64                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,10                   |
| 20.8                                      | 1,64                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,46                   |
| 28.9                                      | 2,27                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,64                   |
| 28.9                                      | 2,27                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,66                   |
| 28.9                                      | 2,27                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,80                   |
| 28.9                                      | 2,27                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,31                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,42                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,92                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,35                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,65                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,34                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,32                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 6,53                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,89                   |
| 25.3                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,69                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,95                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,21                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,76                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,29                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,17                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 5,26                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,69                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,52                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,90                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,20                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,84                   |
| 27.7                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,24                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,16                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 5,17                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,32                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,06                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,84                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,16                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,43                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,13                   |
| 25.3                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,36                   |
| 25.3                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,96                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,75                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,75                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,01                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,75                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,25                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,05                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,87                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,82                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,01                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,02                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,07                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,15                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 6,29                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,78                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,93                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,84                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,88                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,45                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,25                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,23                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,68                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,66                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,83                   |
| 25.3                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,04                   |
| 56.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,85                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,63                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,03                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,43                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,82                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,71                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,17                   |

# Anhang B

| 1   | 2                   | 3                | 4                   | 5                          | 6                         |            |          | 7         | 8                                | 9              | 10                         |                     | 11              | 12             | 13             | 14                           | 15 |
|-----|---------------------|------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|------------|----------|-----------|----------------------------------|----------------|----------------------------|---------------------|-----------------|----------------|----------------|------------------------------|----|
|     |                     |                  |                     |                            | Probekörper-<br>messungen |            |          |           |                                  |                | Lasplattenab-<br>messungen |                     |                 |                |                |                              |    |
| Nr. | Author              | Veröffentlichung | Datenquelle         | Probekörper<br>Bezeichnung | $b_1$ bzw.<br>$d$ [mm]    | $b_2$ [mm] | $h$ [mm] | $\lambda$ | $b_{p_1}$ bzw.<br>$d_{p_1}$ [mm] | $b_{p_2}$ [mm] | $A_{s1} / A_{s0}$          | Lasstanzkontraktion | Fall der<br>TFB | $e_{p,1}$ [mm] | $e_{p,2}$ [mm] | Exzentrität<br>der Lasplatte |    |
| 421 | HAAGSMA             | [Haa-1969]       | [Wil-1979] Tab. A15 | 69                         | 120                       | 240        | 200      | 0,83      | 24                               | 240            | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 422 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 70                         | 120                       | 240        | 200      | 0,83      | 72                               | 144            | 144                        | 2,78                | räumlich        | 0              | 0              |                              |    |
| 423 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 71                         | 120                       | 240        | 200      | 0,83      | 120                              | 144            | 144                        | 1,67                | eben            | 0              | 0              |                              |    |
| 424 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 72                         | 120                       | 240        | 200      | 0,83      | 72                               | 240            | 240                        | 1,67                | eben            | 0              | 0              |                              |    |
| 425 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 74                         | 160                       | 160        | 200      | 1,25      | 96                               | 32             | 32                         | 8,33                | räumlich        | 0              | 0              |                              |    |
| 426 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 75                         | 160                       | 160        | 200      | 1,25      | 32                               | 96             | 96                         | 8,33                | räumlich        | 0              | 0              |                              |    |
| 427 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 76                         | 160                       | 160        | 200      | 1,25      | 160                              | 32             | 32                         | 5,00                | eben            | 0              | 0              |                              |    |
| 428 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 77                         | 160                       | 160        | 200      | 1,25      | 32                               | 160            | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 429 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 78                         | 160                       | 160        | 200      | 1,25      | 160                              | 96             | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 430 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 79                         | 160                       | 160        | 200      | 1,25      | 96                               | 160            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 431 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 80                         | 160                       | 200        | 200      | 1,00      | 32                               | 40             | 25,00                      | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 432 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 81                         | 160                       | 200        | 200      | 1,00      | 96                               | 40             | 8,33                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 433 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 82                         | 160                       | 200        | 200      | 1,00      | 32                               | 120            | 8,33                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 434 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 83                         | 160                       | 200        | 200      | 1,00      | 160                              | 40             | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 435 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 84                         | 160                       | 200        | 200      | 1,00      | 32                               | 200            | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 436 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 85                         | 160                       | 200        | 200      | 1,00      | 96                               | 120            | 2,78                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 437 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 86                         | 160                       | 200        | 200      | 1,00      | 160                              | 120            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 438 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 87                         | 160                       | 200        | 200      | 1,00      | 96                               | 200            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 439 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 89                         | 160                       | 240        | 200      | 0,83      | 32                               | 48             | 25,00                      | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 440 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 90                         | 160                       | 240        | 200      | 0,83      | 96                               | 48             | 8,33                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 441 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 91                         | 160                       | 240        | 200      | 0,83      | 32                               | 144            | 8,33                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 442 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 92                         | 160                       | 240        | 200      | 0,83      | 160                              | 48             | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 443 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 93                         | 160                       | 240        | 200      | 0,83      | 32                               | 240            | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 444 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 94                         | 160                       | 240        | 200      | 0,83      | 96                               | 144            | 2,78                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 445 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 95                         | 160                       | 240        | 200      | 0,83      | 160                              | 144            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 446 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 96                         | 160                       | 240        | 200      | 0,83      | 96                               | 240            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 447 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 98                         | 200                       | 200        | 200      | 1,00      | 120                              | 40             | 8,33                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 448 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 99                         | 200                       | 200        | 200      | 1,00      | 40                               | 120            | 8,33                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 449 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 100                        | 200                       | 200        | 200      | 1,00      | 200                              | 40             | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 450 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 101                        | 200                       | 200        | 200      | 1,00      | 40                               | 200            | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 451 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 102                        | 200                       | 200        | 200      | 1,00      | 200                              | 120            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 452 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 103                        | 200                       | 200        | 200      | 1,00      | 120                              | 200            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 453 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 104                        | 200                       | 240        | 200      | 0,83      | 40                               | 48             | 25,00                      | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 454 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 105                        | 200                       | 240        | 200      | 0,83      | 120                              | 48             | 8,33                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 455 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 106                        | 200                       | 240        | 200      | 0,83      | 40                               | 144            | 8,33                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 456 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 107                        | 200                       | 240        | 200      | 0,83      | 200                              | 48             | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 457 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 108                        | 200                       | 240        | 200      | 0,83      | 40                               | 240            | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 458 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 109                        | 200                       | 240        | 200      | 0,83      | 120                              | 144            | 2,78                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 459 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 110                        | 200                       | 240        | 200      | 0,83      | 200                              | 144            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 460 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 111                        | 200                       | 240        | 200      | 0,83      | 120                              | 240            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 461 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 113                        | 240                       | 240        | 200      | 0,83      | 144                              | 48             | 8,33                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 462 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 114                        | 240                       | 240        | 200      | 0,83      | 48                               | 144            | 8,33                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 463 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 115                        | 240                       | 240        | 200      | 0,83      | 240                              | 48             | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 464 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 116                        | 240                       | 240        | 200      | 0,83      | 48                               | 240            | 5,00                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 465 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 117                        | 240                       | 240        | 200      | 0,83      | 240                              | 144            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 466 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A15 | 118                        | 240                       | 240        | 200      | 0,83      | 144                              | 240            | 1,67                       | eben                | 0               | 0              |                |                              |    |
| 467 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A16 | 1                          | 80                        | 80         | 200      | 2,50      | 16                               | 16             | 25,00                      | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 468 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A16 | 2                          | 80                        | 80         | 200      | 2,50      | 48                               | 48             | 2,78                       | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 469 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A16 | 4                          | 120                       | 120        | 200      | 1,67      | 24                               | 24             | 25,00                      | räumlich            | 0               | 0              |                |                              |    |
| 470 | [Wil-1979] Tab. A16 | 5                | 120                 | 120                        | 200                       | 1,67       | 72       | 72        | 2,78                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 471 | [Wil-1979] Tab. A16 | 7                | 160                 | 160                        | 200                       | 1,25       | 32       | 32        | 25,00                            | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 472 | [Wil-1979] Tab. A16 | 8                | 160                 | 160                        | 200                       | 1,25       | 96       | 96        | 2,78                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 473 | [Wil-1979] Tab. A16 | 10               | 200                 | 200                        | 200                       | 1,00       | 40       | 40        | 25,00                            | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 474 | [Wil-1979] Tab. A16 | 11               | 200                 | 200                        | 200                       | 1,00       | 120      | 120       | 2,78                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 475 | [Wil-1979] Tab. A16 | 13               | 240                 | 240                        | 200                       | 0,83       | 48       | 48        | 25,00                            | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 476 | [Wil-1979] Tab. A16 | 14               | 240                 | 240                        | 200                       | 0,83       | 144      | 144       | 2,78                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 477 | [Wil-1979] Tab. A16 | 16               | 80                  | 240                        | 200                       | 0,83       | 48       | 48        | 8,33                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 478 | [Wil-1979] Tab. A16 | 17               | 120                 | 200                        | 200                       | 1,00       | 120      | 120       | 1,67                             | eben           | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 479 | [Wil-1979] Tab. A17 | 1                | 152,4               | -                          | 152,4                     | 1,00       | 38,1     | -         | 16,00                            | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 480 | [Wil-1979] Tab. A17 | 2                | 152,4               | -                          | 76,2                      | 0,50       | 38,1     | -         | 16,00                            | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 481 | [Wil-1979] Tab. A17 | 3                | 152,4               | -                          | 50,8                      | 0,33       | 38,1     | -         | 16,00                            | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 482 | [Wil-1979] Tab. A17 | 4                | 152,4               | -                          | 152,4                     | 1,00       | 50,8     | -         | 9,00                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 483 | [Wil-1979] Tab. A17 | 5                | 152,4               | -                          | 76,2                      | 0,50       | 50,8     | -         | 9,00                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 484 | [Wil-1979] Tab. A17 | 6                | 152,4               | -                          | 50,8                      | 0,33       | 50,8     | -         | 9,00                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 485 | [Wil-1979] Tab. A17 | 7                | 152,4               | -                          | 152,4                     | 1,00       | 38,1     | -         | 16,00                            | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 486 | [Wil-1979] Tab. A17 | 8                | 152,4               | -                          | 76,2                      | 0,50       | 38,1     | -         | 16,00                            | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 487 | [Wil-1979] Tab. A17 | 9                | 152,4               | -                          | 50,8                      | 0,33       | 38,1     | -         | 16,00                            | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 488 | [Wil-1979] Tab. A17 | 40               | 152,4               | -                          | 152,4                     | 1,00       | 50,8     | -         | 9,00                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 489 | [Wil-1979] Tab. A17 | 11               | 152,4               | -                          | 152,4                     | 1,00       | 50,8     | -         | 9,00                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |
| 490 | [Wil-1979] Tab. A17 | 12               | 152,4               | -                          | 76,2                      | 0,50       | 50,8     | -         | 9,00                             | räumlich       | 0                          | 0                   |                 |                |                |                              |    |

| 16  | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                      | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,ges,90}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Spz}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,90}$  | $q_{br} / f_{ct,90}$   |
| 57.3                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,86                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,65                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,32                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,09                   |
| 25.3                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,82                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,64                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,81                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,74                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,25                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,33                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,91                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,67                   |
| 25.3                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,69                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,85                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,94                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,62                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,36                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,25                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 5,40                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,37                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,77                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,83                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,91                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,66                   |
| 25.3                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,46                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,47                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,51                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,37                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,05                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,02                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,46                   |
| 25.3                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,51                   |
| 25.3                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,96                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,24                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,62                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,80                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,70                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,73                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,42                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,40                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,66                   |
| 24.9                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,55                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,89                   |
| 24.6                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,92                   |
| 25.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,41                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,51                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 6,77                   |
| 41.4                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,09                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 6,29                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,66                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 5,41                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,64                   |
| 24.6                                      | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 5,27                   |
| 23.8                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,82                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 6,40                   |
| 25.3                                      | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,85                   |
| 25.0                                      | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,51                   |
| 25.1                                      | 2,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,41                   |
| 35.1                                      | 2,71                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,98                   |
| 35.2                                      | 2,71                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,30                   |
| 35.0                                      | 2,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,80                   |
| 35.1                                      | 2,71                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,62                   |
| 35.1                                      | 2,71                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,48                   |
| 35.2                                      | 2,71                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,73                   |
| 37.4                                      | 2,86                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,96                   |
| 37.4                                      | 2,86                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,95                   |
| 41.5                                      | 3,12                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,49                   |
| 36.2                                      | 2,78                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,22                   |
| 34.3                                      | 2,65                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,80                   |
| 34.3                                      | 2,65                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,37                   |

# Anhang B

| 1   | 2                   | 3                | 4                   | 5                       | 6                     | 7          | 8        | 9         | 10                            | 11             | 12                | 13           | 14                           | 15             |                |
|-----|---------------------|------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------|----------|-----------|-------------------------------|----------------|-------------------|--------------|------------------------------|----------------|----------------|
| Nr. | Autor               | Veröffentlichung | Datenquelle         | Probekörper Bezeichnung | Prüfkörperabmessungen |            |          | $\lambda$ | Lasplattenabmessungen         |                | Lastkonzentration | Fall der TFB | Exzentrizität der Lastplatte |                |                |
|     |                     |                  |                     |                         | $b_p$ bzw. $d$ [mm]   | $b_y$ [mm] | $h$ [mm] |           | $b_{p,x}$ bzw. $d_{p,x}$ [mm] | $b_{p,y}$ [mm] |                   |              | $A_{x1} / A_{x0}$            | $e_{p,x}$ [mm] | $e_{p,y}$ [mm] |
| 491 | HYLAND / CHEN       | [Hyl-1970]       | [Wil-1979] Tab. A17 | 13                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 492 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 14                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 493 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 15                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 494 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 16                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 495 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 17                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 496 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 18                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 497 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 19                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 498 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 20                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 499 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 21                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 500 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 22                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 501 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 23                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 502 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 24                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 503 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A17 | 25                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 504 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 1                       | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 505 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 2                       | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 506 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 3                       | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 507 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 4                       | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 508 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 5                       | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 509 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 6                       | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 510 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 7                       | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 511 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 8                       | 152,4                 | -          | -        | 16,0      | 0,10                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 512 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 9                       | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 513 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 10                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 514 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 11                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 515 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 12                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 516 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 13                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 517 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 14                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 518 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 15                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 519 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 16                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 520 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 17                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 521 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 18                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 522 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A18 | 19                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 523 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 1                       | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 524 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 2                       | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 525 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 3                       | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 526 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 4                       | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 527 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 5                       | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 528 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 6                       | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 529 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 7                       | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 530 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 8                       | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 531 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 9                       | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 532 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 10                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 533 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 11                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 534 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 12                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 535 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 13                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 536 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 14                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 537 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 15                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 538 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 16                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 539 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 17                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 540 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 18                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 541 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 19                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 50,8           | -                 | 9,00         | räumlich                     | 0              | 0              |
| 542 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 20                      | 152,4                 | -          | -        | 152,4     | 1,00                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 543 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 21                      | 152,4                 | -          | -        | 76,2      | 0,50                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 544 |                     |                  | [Wil-1979] Tab. A19 | 22                      | 152,4                 | -          | -        | 50,8      | 0,33                          | 38,1           | -                 | 16,00        | räumlich                     | 0              | 0              |
| 545 | [Wil-1979] Tab. A19 | 23               | 152,4               | -                       | -                     | 152,4      | 1,00     | 50,8      | -                             | 9,00           | räumlich          | 0            | 0                            |                |                |
| 546 | [Wil-1979] Tab. A19 | 24               | 152,4               | -                       | -                     | 76,2       | 0,50     | 50,8      | -                             | 9,00           | räumlich          | 0            | 0                            |                |                |
| 547 | [Wil-1979] Tab. A19 | 25               | 152,4               | -                       | -                     | 50,8       | 0,33     | 50,8      | -                             | 9,00           | räumlich          | 0            | 0                            |                |                |
| 548 | NIYOGI              | [Niy-1973]       | Tab. 1              | 1                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 12,7                          | 203,2          | 16,00             | eben         | 0                            | 0              |                |
| 549 |                     |                  | Tab. 1              | 2                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 17,0                          | 203,2          | 11,95             | eben         | 0                            | 0              |                |
| 550 |                     |                  | Tab. 1              | 3                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                          | 203,2          | 8,00              | eben         | 0                            | 0              |                |
| 551 |                     |                  | Tab. 1              | 4                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 33,8                          | 203,2          | 6,02              | eben         | 0                            | 0              |                |
| 552 |                     |                  | Tab. 1              | 5                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 203,2          | 4,00              | eben         | 0                            | 0              |                |
| 553 |                     |                  | Tab. 1              | 6                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 63,5                          | 203,2          | 3,20              | eben         | 0                            | 0              |                |
| 554 |                     |                  | Tab. 1              | 7                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 67,8                          | 203,2          | 3,00              | eben         | 0                            | 0              |                |
| 555 |                     |                  | Tab. 1              | 8                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 101,6                         | 203,2          | 2,00              | eben         | 0                            | 0              |                |
| 556 |                     |                  | Tab. 2              | 1                       | 101,6                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 13,0                          | 203,2          | 7,82              | eben         | 0                            | 0              |                |
| 557 |                     |                  | Tab. 2              | 2                       | 152,4                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 13,0                          | 203,2          | 11,72             | eben         | 0                            | 0              |                |
| 558 | Tab. 2              | 3                | 101,6               | 203,2                   | 203,2                 | 1,00       | 17,0     | 203,2     | 5,98                          | eben           | 0                 | 0            |                              |                |                |
| 559 | Tab. 2              | 4                | 101,6               | 203,2                   | 203,2                 | 1,00       | 25,0     | 203,2     | 4,06                          | eben           | 0                 | 0            |                              |                |                |
| 560 | Tab. 2              | 5                | 152,4               | 203,2                   | 203,2                 | 1,00       | 25,0     | 203,2     | 6,10                          | eben           | 0                 | 0            |                              |                |                |

| 16  | 17                                | 18                                   | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                      | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.               | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,ges,90}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Sp,zug}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,90}$  | $q_{br} / f_{ct,90}$   |
| 34.5                                      | 2,67                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,08                   |
| 28.1                                      | 2,22                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,00                   |
| 44.2                                      | 3,29                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,88                   |
| 44.2                                      | 3,28                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,58                   |
| 44.1                                      | 3,28                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,36                   |
| 44.1                                      | 3,28                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,47                   |
| 44.1                                      | 3,28                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,31                   |
| 46.1                                      | 3,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,14                   |
| 46.5                                      | 3,42                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,42                   |
| 46.1                                      | 3,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,97                   |
| 42.1                                      | 3,15                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,08                   |
| 42.1                                      | 3,15                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,43                   |
| 42.2                                      | 3,16                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,21                   |
| 30.3                                      | 2,38                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,71                   |
| 30.3                                      | 2,38                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,59                   |
| 30.4                                      | 2,38                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,23                   |
| 30.4                                      | 2,38                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,14                   |
| 25.1                                      | 1,99                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,59                   |
| 30.4                                      | 2,38                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,49                   |
| 39.3                                      | 2,98                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,88                   |
| 39.4                                      | 2,98                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,62                   |
| 39.1                                      | 2,97                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,49                   |
| 36.9                                      | 2,82                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,14                   |
| 35.8                                      | 2,76                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,61                   |
| 35.8                                      | 2,76                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,33                   |
| 36.6                                      | 2,81                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,12                   |
| 28.6                                      | 2,26                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,12                   |
| 28.6                                      | 2,26                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,91                   |
| 28.7                                      | 2,26                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,42                   |
| 28.6                                      | 2,26                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,24                   |
| 28.7                                      | 2,26                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,63                   |
| 28.6                                      | 2,26                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,40                   |
| 28.2                                      | 2,22                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,28                   |
| 30.3                                      | 2,38                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,40                   |
| 30.5                                      | 2,39                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,63                   |
| 29.4                                      | 2,32                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,18                   |
| 29.5                                      | 2,32                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,93                   |
| 29.6                                      | 2,33                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,68                   |
| 36.1                                      | 2,77                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,28                   |
| 35.0                                      | 2,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,56                   |
| 34.9                                      | 2,69                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,72                   |
| 37.4                                      | 2,86                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,18                   |
| 31.1                                      | 2,43                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,12                   |
| 31.1                                      | 2,43                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,45                   |
| 31.2                                      | 2,44                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,62                   |
| 44.3                                      | 3,29                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,21                   |
| 43.6                                      | 3,25                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,89                   |
| 44.3                                      | 3,29                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,37                   |
| 41.5                                      | 3,12                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,07                   |
| 41.6                                      | 3,12                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,86                   |
| 41.6                                      | 3,12                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,54                   |
| 46.6                                      | 3,42                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,11                   |
| 46.4                                      | 3,41                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,03                   |
| 46.5                                      | 3,42                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,57                   |
| 44.8                                      | 3,32                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,55                   |
| 41.4                                      | 3,11                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,68                   |
| 48.0                                      | 3,51                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,48                   |
| 25.7                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,14                  | 3,17                   |
| 24.4                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,50                  | 2,72                   |
| 25.0                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,95                  | 2,34                   |
| 21.5                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,38                  | 2,05                   |
| 22.9                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,25                  | 1,73                   |
| 24.9                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,98                  | 1,64                   |
| 25.0                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,83                  | 1,57                   |
| 25.3                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,81                  | 1,38                   |
| 19.8                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,45                  | 2,49                   |
| 21.0                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,73                  | 2,92                   |
| 21.7                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,31                  | 2,10                   |
| 20.3                                      | 1,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,18                  | 1,52                   |
| 22.9                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,84                  | 2,06                   |

# Anhang B

| 1   | 2     | 3                | 4           | 5                       | 6                     | 7          | 8        | 9         | 10                            | 11             | 12                | 13           | 14                           | 15             |
|-----|-------|------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|------------|----------|-----------|-------------------------------|----------------|-------------------|--------------|------------------------------|----------------|
| Nr. | Autor | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper Bezeichnung | Prüfkörperabmessungen |            |          | $\lambda$ | Lasplattenabmessungen         |                | Lastkonzentration | Fall der TFB | Exzentrizität der Lastplatte |                |
|     |       |                  |             |                         | $b_1$ bzw. $d$ [mm]   | $b_2$ [mm] | $h$ [mm] |           | $b_{p_1}$ bzw. $d_{p_1}$ [mm] | $b_{p_2}$ [mm] |                   |              | $A_{x1} / A_{x0}$            | $e_{p_1}$ [mm] |
| 561 |       |                  | Tab. 2      | 6                       | 305                   | 203,2      | 203,2    | 0,67      | 25,0                          | 203,2          | 12,20             | eben         | 0                            | 0              |
| 562 |       |                  | Tab. 2      | 7                       | 406                   | 203,2      | 203,2    | 0,50      | 25,0                          | 203,2          | 16,24             | eben         | 0                            | 0              |
| 563 |       |                  | Tab. 2      | 8                       | 610                   | 203,2      | 203,2    | 0,33      | 25,0                          | 203,2          | 24,40             | eben         | 0                            | 0              |
| 564 |       |                  | Tab. 2      | 9                       | 101,6                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 34,0                          | 203,2          | 2,99              | eben         | 0                            | 0              |
| 565 |       |                  | Tab. 2      | 10                      | 305                   | 203,2      | 203,2    | 0,67      | 34,0                          | 203,2          | 8,97              | eben         | 0                            | 0              |
| 566 |       |                  | Tab. 2      | 11                      | 406                   | 203,2      | 203,2    | 0,50      | 34,0                          | 203,2          | 11,94             | eben         | 0                            | 0              |
| 567 |       |                  | Tab. 2      | 12                      | 305                   | 203,2      | 203,2    | 0,67      | 38,0                          | 203,2          | 8,03              | eben         | 0                            | 0              |
| 568 |       |                  | Tab. 2      | 13                      | 610                   | 203,2      | 203,2    | 0,33      | 38,0                          | 203,2          | 16,05             | eben         | 0                            | 0              |
| 569 |       |                  | Tab. 2      | 14                      | 101,6                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 51,0                          | 203,2          | 1,99              | eben         | 0                            | 0              |
| 570 |       |                  | Tab. 2      | 15                      | 152,4                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 51,0                          | 203,2          | 2,99              | eben         | 0                            | 0              |
| 571 |       |                  | Tab. 2      | 16                      | 305                   | 203,2      | 203,2    | 0,67      | 51,0                          | 203,2          | 5,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 572 |       |                  | Tab. 2      | 17                      | 406                   | 203,2      | 203,2    | 0,50      | 51,0                          | 203,2          | 7,96              | eben         | 0                            | 0              |
| 573 |       |                  | Tab. 2      | 18                      | 610                   | 203,2      | 203,2    | 0,33      | 51,0                          | 203,2          | 11,96             | eben         | 0                            | 0              |
| 574 |       |                  | Tab. 2      | 19                      | 152,4                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 76,0                          | 203,2          | 2,01              | eben         | 0                            | 0              |
| 575 |       |                  | Tab. 2      | 20                      | 305                   | 203,2      | 203,2    | 0,67      | 76,0                          | 203,2          | 4,01              | eben         | 0                            | 0              |
| 576 |       |                  | Tab. 2      | 21                      | 610                   | 203,2      | 203,2    | 0,33      | 76,0                          | 203,2          | 8,03              | eben         | 0                            | 0              |
| 577 |       |                  | Tab. 2      | 22                      | 305                   | 203,2      | 203,2    | 0,67      | 102,0                         | 203,2          | 2,99              | eben         | 0                            | 0              |
| 578 |       |                  | Tab. 2      | 23                      | 406                   | 203,2      | 203,2    | 0,50      | 102,0                         | 203,2          | 3,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 579 |       |                  | Tab. 2      | 24                      | 610                   | 203,2      | 203,2    | 0,33      | 102,0                         | 203,2          | 5,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 580 |       |                  | Tab. 2      | 25                      | 305                   | 203,2      | 203,2    | 0,67      | 152,0                         | 203,2          | 2,01              | eben         | 0                            | 0              |
| 581 |       |                  | Tab. 2      | 26                      | 610                   | 203,2      | 203,2    | 0,33      | 152,0                         | 203,2          | 4,01              | eben         | 0                            | 0              |
| 582 |       |                  | Tab. 2      | 27                      | 406                   | 203,2      | 203,2    | 0,50      | 203,0                         | 203,2          | 2,00              | eben         | 0                            | 0              |
| 583 |       |                  | Tab. 2      | 28                      | 610                   | 203,2      | 203,2    | 0,33      | 305,0                         | 203,2          | 2,00              | eben         | 0                            | 0              |
| 584 |       |                  | Tab. 3      | 1                       | 203,2                 | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 13,0                          | 203,2          | 15,63             | eben         | 0                            | 0              |
| 585 |       |                  | Tab. 3      | 2                       | 203,2                 | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 25,0                          | 203,2          | 8,13              | eben         | 0                            | 0              |
| 586 |       |                  | Tab. 3      | 3                       | 203,2                 | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 34,0                          | 203,2          | 5,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 587 |       |                  | Tab. 3      | 4                       | 203,2                 | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 51,0                          | 203,2          | 3,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 588 |       |                  | Tab. 3      | 5                       | 203,2                 | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 76,0                          | 203,2          | 2,67              | eben         | 0                            | 0              |
| 589 |       |                  | Tab. 3      | 6                       | 203,2                 | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 102,0                         | 203,2          | 1,99              | eben         | 0                            | 0              |
| 590 |       |                  | Tab. 3      | 7                       | 203,2                 | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 13,0                          | 203,2          | 15,63             | eben         | 0                            | 0              |
| 591 |       |                  | Tab. 3      | 8                       | 203,2                 | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 25,0                          | 203,2          | 8,13              | eben         | 0                            | 0              |
| 592 |       |                  | Tab. 3      | 9                       | 203,2                 | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 34,0                          | 203,2          | 5,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 593 |       |                  | Tab. 3      | 10                      | 203,2                 | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 51,0                          | 203,2          | 3,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 594 |       |                  | Tab. 3      | 11                      | 203,2                 | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 76,0                          | 203,2          | 2,67              | eben         | 0                            | 0              |
| 595 |       |                  | Tab. 3      | 12                      | 203,2                 | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 102,0                         | 203,2          | 1,99              | eben         | 0                            | 0              |
| 596 |       |                  | Tab. 3      | 13                      | 203,2                 | 203,2      | 305      | 1,50      | 13,0                          | 203,2          | 15,63             | eben         | 0                            | 0              |
| 597 |       |                  | Tab. 3      | 14                      | 203,2                 | 203,2      | 305      | 1,50      | 25,0                          | 203,2          | 8,13              | eben         | 0                            | 0              |
| 598 |       |                  | Tab. 3      | 15                      | 203,2                 | 203,2      | 305      | 1,50      | 34,0                          | 203,2          | 5,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 599 |       |                  | Tab. 3      | 16                      | 203,2                 | 203,2      | 305      | 1,50      | 51,0                          | 203,2          | 3,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 600 |       |                  | Tab. 3      | 17                      | 203,2                 | 203,2      | 305      | 1,50      | 102,0                         | 203,2          | 1,99              | eben         | 0                            | 0              |
| 601 |       |                  | Tab. 3      | 18                      | 203,2                 | 203,2      | 406      | 2,00      | 13,0                          | 203,2          | 15,63             | eben         | 0                            | 0              |
| 602 |       |                  | Tab. 3      | 19                      | 203,2                 | 203,2      | 406      | 2,00      | 25,0                          | 203,2          | 8,13              | eben         | 0                            | 0              |
| 603 |       |                  | Tab. 3      | 20                      | 203,2                 | 203,2      | 406      | 2,00      | 34,0                          | 203,2          | 5,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 604 |       |                  | Tab. 3      | 21                      | 203,2                 | 203,2      | 406      | 2,00      | 51,0                          | 203,2          | 3,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 605 |       |                  | Tab. 3      | 22                      | 203,2                 | 203,2      | 406      | 2,00      | 102,0                         | 203,2          | 1,99              | eben         | 0                            | 0              |
| 606 |       |                  | Tab. 3      | 23                      | 203,2                 | 203,2      | 610      | 3,00      | 13,0                          | 203,2          | 15,63             | eben         | 0                            | 0              |
| 607 |       |                  | Tab. 3      | 24                      | 203,2                 | 203,2      | 610      | 3,00      | 25,0                          | 203,2          | 8,13              | eben         | 0                            | 0              |
| 608 |       |                  | Tab. 3      | 25                      | 203,2                 | 203,2      | 610      | 3,00      | 34,0                          | 203,2          | 5,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 609 |       |                  | Tab. 3      | 26                      | 203,2                 | 203,2      | 610      | 3,00      | 51,0                          | 203,2          | 3,98              | eben         | 0                            | 0              |
| 610 |       |                  | Tab. 3      | 27                      | 203,2                 | 203,2      | 610      | 3,00      | 102,0                         | 203,2          | 1,99              | eben         | 0                            | 0              |
| 611 |       |                  | Tab. 4      | 1                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 12,7                          | 50,8           | 64,00             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 612 |       |                  | Tab. 4      | 2                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 12,7                          | 76,2           | 42,67             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 613 |       |                  | Tab. 4      | 3                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 12,7                          | 101,6          | 32,00             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 614 |       |                  | Tab. 4      | 4                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 12,7                          | 152,4          | 21,33             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 615 |       |                  | Tab. 4      | 5                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                          | 50,8           | 32,00             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 616 |       |                  | Tab. 4      | 6                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                          | 76,2           | 21,33             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 617 |       |                  | Tab. 4      | 7                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                          | 101,6          | 16,00             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 618 |       |                  | Tab. 4      | 8                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                          | 152,0          | 10,69             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 619 |       |                  | Tab. 4      | 9                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 34,0                          | 51,0           | 23,81             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 620 |       |                  | Tab. 4      | 10                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 34,0                          | 76,0           | 15,98             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 621 |       |                  | Tab. 4      | 11                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 34,0                          | 102,0          | 11,91             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 622 |       |                  | Tab. 4      | 12                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 34,0                          | 152,0          | 7,99              | räumlich     | 0                            | 0              |
| 623 |       |                  | Tab. 4      | 13                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 76,2           | 10,67             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 624 |       |                  | Tab. 4      | 14                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 101,6          | 8,00              | räumlich     | 0                            | 0              |
| 625 |       |                  | Tab. 4      | 15                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 127,0          | 6,40              | räumlich     | 0                            | 0              |
| 626 |       |                  | Tab. 4      | 16                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 152,4          | 5,33              | räumlich     | 0                            | 0              |
| 627 |       |                  | Tab. 4      | 17                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 76,2                          | 101,6          | 5,33              | räumlich     | 0                            | 0              |
| 628 |       |                  | Tab. 4      | 18                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 101,6                         | 152,4          | 2,67              | räumlich     | 0                            | 0              |
| 629 |       |                  | Tab. 5      | 1                       | 203,2                 | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 50,8                          | 76,2           | 10,67             | räumlich     | 0                            | 0              |
| 630 |       |                  | Tab. 5      | 2                       | 203,2                 | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 50,8                          | 101,6          | 8,00              | räumlich     | 0                            | 0              |

| 16  | 17                                | 18                                   | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                      | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.               | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,ges,90}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Sp,zug}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{ym}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,90}$  | $q_{br} / f_{ct,90}$   |
| 20,3                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,56                  | 2,58                   |
| 21,0                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,61                  | 2,60                   |
| 23,4                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,81                  | 2,51                   |
| 20,1                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,02                  | 1,42                   |
| 24,2                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,84                  | 2,33                   |
| 21,5                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,27                  | 2,40                   |
| 22,3                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,29                  | 2,28                   |
| 22,2                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,39                  | 2,36                   |
| 18,6                                      | 1,50                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,95                  | 1,21                   |
| 18,6                                      | 1,50                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,01                  | 1,52                   |
| 20,3                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,12                  | 2,11                   |
| 21,0                                      | 1,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,99                  | 2,14                   |
| 20,6                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,24                  | 2,03                   |
| 24,7                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,78                  | 1,40                   |
| 21,8                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,83                  | 1,94                   |
| 21,3                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,09                  | 1,99                   |
| 23,3                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,08                  | 1,71                   |
| 22,1                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,08                  | 1,93                   |
| 25,2                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,12                  | 1,87                   |
| 25,0                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,80                  | 1,60                   |
| 25,1                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,87                  | 1,78                   |
| 26,6                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,82                  | 1,55                   |
| 23,3                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,34                  | 1,58                   |
| 18,5                                      | 1,50                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,29                  | 2,93                   |
| 22,3                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,81                  | 2,51                   |
| 23,5                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,88                  | 2,39                   |
| 20,8                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,64                  | 2,25                   |
| 20,6                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,75                  | 2,09                   |
| 21,8                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,50                  | 1,90                   |
| 21,4                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,20                  | 3,20                   |
| 20,7                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,61                  | 2,54                   |
| 23,8                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,14                  | 2,26                   |
| 20,0                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,12                  | 1,99                   |
| 20,1                                      | 1,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,93                  | 1,73                   |
| 20,7                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,89                  | 1,66                   |
| 23,7                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,07                  | 3,08                   |
| 25,5                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,83                  | 2,18                   |
| 24,9                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,83                  | 2,02                   |
| 20,1                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,35                  | 1,55                   |
| 27,4                                      | 2,10                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,90                  | 1,34                   |
| 26,2                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,20                  | 3,20                   |
| 24,9                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,89                  | 2,14                   |
| 22,2                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,57                  | 1,88                   |
| 25,0                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,27                  | 1,43                   |
| 23,9                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,79                  | 1,07                   |
| 24,8                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,28                  | 3,28                   |
| 22,7                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,80                  | 2,01                   |
| 22,2                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,42                  | 1,62                   |
| 22,6                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,07                  | 1,32                   |
| 23,0                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,77                  | 0,99                   |
| 23,7                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 8,15                  | 8,17                   |
| 23,6                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 6,70                  | 6,70                   |
| 25,4                                      | 2,00                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 5,17                  | 5,24                   |
| 23,8                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,90                  | 4,28                   |
| 23,7                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,20                  | 5,22                   |
| 20,8                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,88                  | 4,19                   |
| 23,7                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,07                  | 3,36                   |
| 23,7                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,15                  | 2,76                   |
| 22,8                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,57                  | 4,58                   |
| 23,8                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,96                  | 3,40                   |
| 23,8                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,54                  | 3,05                   |
| 23,8                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,56                  | 2,29                   |
| 21,6                                      | 1,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,88                  | 3,07                   |
| 19,8                                      | 1,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,37                  | 2,57                   |
| 22,1                                      | 1,70                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,86                  | 2,21                   |
| 22,5                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,50                  | 1,94                   |
| 25,2                                      | 1,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,52                  | 2,04                   |
| 24,2                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,94                  | 1,44                   |
| 21,0                                      | 1,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,35                  | 1,99                   |
| 21,4                                      | 1,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,22                  | 2,55                   |

# Anhang B

| 1   | 2     | 3                | 4           | 5                          | 6                          | 7          | 8        | 9         | 10                         | 11                | 12              | 13                             | 14                               | 15             |
|-----|-------|------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|------------|----------|-----------|----------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------|
| Nr. | Autor | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper<br>Bezeichnung | Prüfkörperab-<br>messungen |            |          |           | Lasplattenab-<br>messungen | Lastkonzentration | Fall der<br>TFB | Exzentrizität<br>der Lasplatte |                                  |                |
|     |       |                  |             |                            | $b_1$ bzw.<br>$d$ [mm]     | $b_2$ [mm] | $h$ [mm] | $\lambda$ |                            |                   |                 |                                | $b_{p_1}$ bzw.<br>$d_{p_1}$ [mm] | $b_{p_2}$ [mm] |
| 631 |       |                  | Tab. 5      | 3                          | 203,2                      | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 50,8                       | 152,4             | 5,33            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 632 |       |                  | Tab. 5      | 4                          | 203,2                      | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 50,8                       | 101,6             | 8,00            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 633 |       |                  | Tab. 5      | 5                          | 203,2                      | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 50,8                       | 152,4             | 5,33            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 634 |       |                  | Tab. 5      | 6                          | 203,2                      | 203,2      | 305      | 1,50      | 50,8                       | 101,6             | 8,00            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 635 |       |                  | Tab. 5      | 7                          | 203,2                      | 203,2      | 305      | 1,50      | 50,8                       | 152,4             | 5,33            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 636 |       |                  | Tab. 5      | 8                          | 203,2                      | 203,2      | 406      | 2,00      | 50,8                       | 101,6             | 8,00            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 637 |       |                  | Tab. 5      | 9                          | 203,2                      | 203,2      | 406      | 2,00      | 50,8                       | 152,4             | 5,33            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 638 |       |                  | Tab. 5      | 10                         | 203,2                      | 203,2      | 610      | 3,00      | 50,8                       | 101,6             | 8,00            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 639 |       |                  | Tab. 5      | 11                         | 203,2                      | 203,2      | 610      | 3,00      | 50,8                       | 152,4             | 5,33            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 640 |       |                  | Tab. 6      | 1                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 641 |       |                  | Tab. 6      | 2                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 642 |       |                  | Tab. 6      | 3                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 643 |       |                  | Tab. 6      | 4                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 72,0                       | 72,0              | 7,96            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 644 |       |                  | Tab. 6      | 5                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 101,6                      | 101,6             | 4,00            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 645 |       |                  | Tab. 6      | 6                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 152,4                      | 152,4             | 1,78            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 646 |       |                  | Tab. 7      | 8                          | 203,2                      | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 647 |       |                  | Tab. 7      | 9                          | 203,2                      | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 648 |       |                  | Tab. 7      | 10                         | 203,2                      | 203,2      | 305      | 1,50      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 649 |       |                  | Tab. 7      | 11                         | 203,2                      | 203,2      | 406      | 2,00      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 650 |       |                  | Tab. 7      | 12                         | 203,2                      | 203,2      | 610      | 3,00      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 651 |       |                  | Tab. 7      | 13                         | 203,2                      | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 652 |       |                  | Tab. 7      | 14                         | 203,2                      | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 653 |       |                  | Tab. 7      | 15                         | 203,2                      | 203,2      | 305      | 1,50      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 654 |       |                  | Tab. 7      | 16                         | 203,2                      | 203,2      | 406      | 2,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 655 |       |                  | Tab. 7      | 17                         | 203,2                      | 203,2      | 610      | 3,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 656 |       |                  | Tab. 7      | 18                         | 203,2                      | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 657 |       |                  | Tab. 7      | 19                         | 203,2                      | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 658 |       |                  | Tab. 7      | 20                         | 203,2                      | 203,2      | 305      | 1,50      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 659 |       |                  | Tab. 7      | 21                         | 203,2                      | 203,2      | 406      | 2,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 660 |       |                  | Tab. 7      | 22                         | 203,2                      | 203,2      | 610      | 3,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 661 |       |                  | Tab. 7      | 23                         | 203,2                      | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 72,0                       | 72,0              | 7,96            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 662 |       |                  | Tab. 7      | 24                         | 203,2                      | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 72,0                       | 72,0              | 7,96            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 663 |       |                  | Tab. 7      | 25                         | 203,2                      | 203,2      | 305      | 1,50      | 72,0                       | 72,0              | 7,96            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 664 |       |                  | Tab. 7      | 26                         | 203,2                      | 203,2      | 406      | 2,00      | 72,0                       | 72,0              | 7,96            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 665 |       |                  | Tab. 7      | 27                         | 203,2                      | 203,2      | 610      | 3,00      | 72,0                       | 72,0              | 7,96            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 666 |       |                  | Tab. 7      | 28                         | 203,2                      | 203,2      | 101,6    | 0,50      | 101,6                      | 101,6             | 4,00            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 667 |       |                  | Tab. 7      | 29                         | 203,2                      | 203,2      | 152,4    | 0,75      | 101,6                      | 101,6             | 4,00            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 668 |       |                  | Tab. 7      | 30                         | 203,2                      | 203,2      | 305      | 1,50      | 101,6                      | 101,6             | 4,00            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 669 |       |                  | Tab. 7      | 31                         | 203,2                      | 203,2      | 406      | 2,00      | 101,6                      | 101,6             | 4,00            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 670 |       |                  | Tab. 7      | 32                         | 203,2                      | 203,2      | 610      | 3,00      | 101,6                      | 101,6             | 4,00            | räumlich                       | 0                                | 0              |
| 671 |       |                  | Tab. 8      | 1                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 0                                | 25             |
| 672 |       |                  | Tab. 8      | 2                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 0                                | 51             |
| 673 |       |                  | Tab. 8      | 3                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 0                                | 76             |
| 674 |       |                  | Tab. 8      | 4                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 13             |
| 675 |       |                  | Tab. 8      | 5                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 25             |
| 676 |       |                  | Tab. 8      | 6                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 38             |
| 677 |       |                  | Tab. 8      | 7                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 51             |
| 678 |       |                  | Tab. 8      | 8                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 0                                | 76             |
| 679 |       |                  | Tab. 8      | 9                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 13             |
| 680 |       |                  | Tab. 8      | 10                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 25             |
| 681 |       |                  | Tab. 8      | 11                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 38             |
| 682 |       |                  | Tab. 8      | 12                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 51             |
| 683 |       |                  | Tab. 8      | 13                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 0                                | 76             |
| 684 |       |                  | Tab. 8      | 14                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 101,6                      | 101,6             | 4,00            | räumlich                       | 0                                | 13             |
| 685 |       |                  | Tab. 8      | 15                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 101,6                      | 101,6             | 4,00            | räumlich                       | 0                                | 25             |
| 686 |       |                  | Tab. 8      | 16                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 101,6                      | 101,6             | 4,00            | räumlich                       | 0                                | 38             |
| 687 |       |                  | Tab. 8      | 17                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 101,6                      | 101,6             | 4,00            | räumlich                       | 0                                | 51             |
| 688 |       |                  | Tab. 9      | 1                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 25                               | 25             |
| 689 |       |                  | Tab. 9      | 2                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 51                               | 51             |
| 690 |       |                  | Tab. 9      | 3                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 25,4                       | 25,4              | 64,00           | räumlich                       | 76                               | 76             |
| 691 |       |                  | Tab. 9      | 4                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 13                               | 13             |
| 692 |       |                  | Tab. 9      | 5                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 25                               | 25             |
| 693 |       |                  | Tab. 9      | 6                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 38                               | 38             |
| 694 |       |                  | Tab. 9      | 7                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 51                               | 51             |
| 695 |       |                  | Tab. 9      | 8                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 36,0                       | 36,0              | 31,86           | räumlich                       | 76                               | 76             |
| 696 |       |                  | Tab. 9      | 9                          | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 13                               | 13             |
| 697 |       |                  | Tab. 9      | 10                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 25                               | 25             |
| 698 |       |                  | Tab. 9      | 11                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 38                               | 38             |
| 699 |       |                  | Tab. 9      | 12                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 51                               | 51             |
| 700 |       |                  | Tab. 9      | 13                         | 203,2                      | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                       | 50,8              | 16,00           | räumlich                       | 64                               | 64             |

NIYOGI

[Niy-1973]

| 16                                      | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                    | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,geom}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Spz}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,Spz}$ | $q_{br} / f_{ct,Spz}$  |
| 21.0                                    | 1,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,07                  | 2,29                   |
| 23.8                                    | 1,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,35                  | 2,47                   |
| 27.4                                    | 2,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,22                  | 2,17                   |
| 20.3                                    | 1,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,04                  | 2,46                   |
| 21.0                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,42                  | 1,90                   |
| 25.1                                    | 2,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,25                  | 2,42                   |
| 25.6                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,52                  | 1,82                   |
| 23.2                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,11                  | 2,25                   |
| 25.3                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,49                  | 1,63                   |
| 22.6                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 8,87                  | 8,87                   |
| 23.8                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 5,82                  | 5,92                   |
| 21.8                                    | 1,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,56                  | 3,76                   |
| 22.7                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,02                  | 2,58                   |
| 24.5                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,49                  | 1,93                   |
| 25.1                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,83                  | 1,36                   |
| 22.6                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,97                  | 5,20                   |
| 21.8                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 7,33                  | 7,64                   |
| 22.6                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 9,06                  | 9,06                   |
| 22.2                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 9,02                  | 9,02                   |
| 20.2                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 8,72                  | 8,78                   |
| 24.2                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,08                  | 3,78                   |
| 23.7                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,27                  | 4,99                   |
| 20.2                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 6,11                  | 6,11                   |
| 22.8                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 6,17                  | 6,22                   |
| 23.0                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 5,69                  | 5,73                   |
| 23.8                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,28                  | 2,32                   |
| 21.8                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,62                  | 3,83                   |
| 22.8                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,72                  | 3,88                   |
| 23.4                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,82                  | 3,95                   |
| 24.7                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,97                  | 4,00                   |
| 22.8                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,42                  | 2,66                   |
| 23.7                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,39                  | 2,47                   |
| 21.8                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,99                  | 2,36                   |
| 25.2                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,19                  | 2,34                   |
| 23.4                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,32                  | 2,38                   |
| 20.4                                    | 1,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,24                  | 2,40                   |
| 24.1                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,94                  | 1,89                   |
| 22.5                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,43                  | 1,80                   |
| 25.7                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,64                  | 1,67                   |
| 23.4                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,54                  | 1,63                   |
| 24.1                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 7,77                  | 7,79                   |
| 24.1                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 5,62                  | 5,62                   |
| 24.1                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,09                  | 4,10                   |
| 23.4                                    | 1,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 5,01                  | 5,26                   |
| 23.0                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,91                  | 4,93                   |
| 23.4                                    | 1,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,65                  | 4,65                   |
| 23.4                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,00                  | 4,01                   |
| 23.4                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,83                  | 2,86                   |
| 26.4                                    | 2,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,35                  | 3,51                   |
| 23.4                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,14                  | 3,21                   |
| 21.0                                    | 1,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,24                  | 3,44                   |
| 23.4                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,39                  | 2,72                   |
| 21.0                                    | 2,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,01                  | 2,02                   |
| 21.6                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,49                  | 1,64                   |
| 24.7                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,69                  | 1,70                   |
| 23.4                                    | 1,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,22                  | 1,61                   |
| 21.3                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,14                  | 1,27                   |
| 24.2                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 6,86                  | 6,86                   |
| 24.2                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,78                  | 4,78                   |
| 24.2                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,52                  | 2,52                   |
| 22.3                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 5,10                  | 5,10                   |
| 23.7                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,80                  | 4,80                   |
| 22.3                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,85                  | 3,85                   |
| 23.7                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,31                  | 3,32                   |
| 23.4                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,66                  | 1,97                   |
| 21.0                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,15                  | 3,33                   |
| 26.2                                    | 2,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,87                  | 2,98                   |
| 21.2                                    | 1,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,46                  | 2,58                   |
| 25.0                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,97                  | 2,24                   |
| 23.2                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,52                  | 1,76                   |

# Anhang B

| 1   | 2     | 3                | 4                   | 5                       | 6                 |            |        | 9         | 10                            |                | 11            | 12                | 13           | 14                        | 15 |
|-----|-------|------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|------------|--------|-----------|-------------------------------|----------------|---------------|-------------------|--------------|---------------------------|----|
|     |       |                  |                     |                         | 7                 |            |        |           | 8                             |                |               |                   |              |                           |    |
| Nr. | Autor | Veröffentlichung | Datenquelle         | Probekörper Bezeichnung | Prüfkörperab-     |            |        | $\lambda$ | messungen                     |                | Lasplattenab- | Lastkonzentration | Fall der TFB | Exzentrität der Lasplatte |    |
|     |       |                  |                     |                         | $b_1$ bzw. d [mm] | $b_2$ [mm] | h [mm] |           | $b_{p,1}$ bzw. $d_{p,1}$ [mm] | $b_{p,2}$ [mm] |               |                   |              |                           |    |
| 701 |       | [Niy-1973]       | Tab. 9              | 14                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 7,6          | 7,6                       |    |
| 702 |       |                  | Tab. 9              | 15                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 13           | 13                        |    |
| 703 |       |                  | Tab. 9              | 16                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 25           | 25                        |    |
| 704 |       |                  | Tab. 9              | 17                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 38           | 38                        |    |
| 705 |       |                  | Tab. 9              | 18                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 51           | 51                        |    |
| 706 |       |                  | Tab. 9              | 19                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 13           | 25                        |    |
| 707 |       |                  | Tab. 9              | 20                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 13           | 51                        |    |
| 708 |       |                  | Tab. 9              | 21                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 13           | 76                        |    |
| 709 |       |                  | Tab. 9              | 22                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 25           | 51                        |    |
| 710 |       |                  | Tab. 9              | 23                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 25           | 76                        |    |
| 711 |       |                  | Tab. 9              | 24                      | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 51           | 76                        |    |
| 712 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 1                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 25,4                          | 25,4           | 64,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 713 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 2                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 36,0                          | 36,0           | 31,86         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 714 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 3                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 715 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 4                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 72,0                          | 72,0           | 7,96          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 716 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 5                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 717 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 6                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 25,0                          | 203,2          | 8,13          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 718 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 7                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 34,0                          | 203,2          | 5,98          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 719 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 8                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 51,0                          | 203,2          | 3,98          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 720 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 9                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 203,2          | 2,00          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 721 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 10                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 25,4                          | 25,4           | 64,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 722 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 11                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 36,0                          | 36,0           | 31,86         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 723 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 12                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 724 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 13                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 72,0                          | 72,0           | 7,96          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 725 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 14                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 726 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 15                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 25,0                          | 203,2          | 8,13          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 727 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 16                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 51,0                          | 203,2          | 3,98          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 728 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 17                      | 203,2             | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 25,4                          | 25,4           | 64,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 729 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 18                      | 203,2             | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 36,0                          | 36,0           | 31,86         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 730 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 19                      | 203,2             | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 731 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 20                      | 203,2             | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 72,0                          | 72,0           | 7,96          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 732 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A29 | 21                      | 203,2             | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 733 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 1                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 25,4                          | 25,4           | 64,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 734 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 2                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 36,0                          | 36,0           | 31,86         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 735 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 3                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 736 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 4                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 72,0                          | 72,0           | 7,96          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 737 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 5                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 738 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 6                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 25,0                          | 203,2          | 8,13          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 739 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 7                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 34,0                          | 203,2          | 5,98          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 740 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 8                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 51,0                          | 203,2          | 3,98          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 741 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 9                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 203,2          | 2,00          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 742 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 10                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 25,4                          | 25,4           | 64,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 743 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 11                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 36,0                          | 36,0           | 31,86         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 744 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 12                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 745 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 13                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 72,0                          | 72,0           | 7,96          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 746 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 14                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 747 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 15                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 25,0                          | 203,2          | 8,13          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 748 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 16                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 51,0                          | 203,2          | 3,98          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 749 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 17                      | 203,2             | 203,2      | 101,6  | 0,50      | 101,6                         | 203,2          | 2,00          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 750 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 18                      | 203,2             | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 25,4                          | 25,4           | 64,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 751 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 19                      | 203,2             | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 36,0                          | 36,0           | 31,86         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 752 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 20                      | 203,2             | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 753 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 21                      | 203,2             | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 72,0                          | 72,0           | 7,96          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 754 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A30 | 22                      | 203,2             | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 755 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A31 | 1                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 25,4                          | 25,4           | 64,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 756 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A31 | 2                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 36,0                          | 36,0           | 31,86         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 757 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A31 | 3                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 758 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A31 | 4                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 72,0                          | 72,0           | 7,96          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 759 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A31 | 5                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 760 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A31 | 6                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 25,0                          | 203,2          | 8,13          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 761 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A31 | 7                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 51,0                          | 203,2          | 3,98          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 762 |       |                  | [Wil-1979] Tab. A31 | 8                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 203,2          | 2,00          | eben              | 0            | 0                         |    |
| 763 |       |                  | Tab. 9              | 1                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 56,0                          | 36,0           | 20,48         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 764 |       |                  | Tab. 9              | 2                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 765 |       |                  | Tab. 9              | 3                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 766 |       |                  | Tab. 9              | 4                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 36,0                          | 36,0           | 31,86         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 767 |       |                  | Tab. 9              | 5                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 768 |       |                  | Tab. 9              | 6                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00          | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 769 |       |                  | Tab. 9              | 7                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 36,0                          | 36,0           | 31,86         | räumlich          | 0            | 0                         |    |
| 770 |       |                  | Tab. 9              | 8                       | 203,2             | 203,2      | 203,2  | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00         | räumlich          | 0            | 0                         |    |

| 16  | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                       | 28                     |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                                | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Kriechspannung      | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ctd} / f_{ctd,0.00100}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,spz}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\omega$             | $\omega_{ld}$      | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{1,cr} / f_{ct,0.01}$ | $q_{1,b} / f_{ct,0.1}$ |
| 25.3  | 2.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.37                     | 1.44                   |
| 21.3  | 1.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.42                     | 1.79                   |
| 22.4  | 1.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.09                     | 1.55                   |
| 21.1  | 1.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.16                     | 1.43                   |
| 22.3  | 1.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.99                     | 1.07                   |
| 22.2  | 1.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.03                     | 3.09                   |
| 22.2  | 1.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.39                     | 2.53                   |
| 23.2  | 1.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.97                     | 1.98                   |
| 25.4  | 2.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.93                     | 2.49                   |
| 25.4  | 2.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.89                     | 1.99                   |
| 24.3  | 1.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.60                     | 1.60                   |
| 14.6  | 1.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 8.77                     | 8.77                   |
| 10.6  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 5.95                     | 5.95                   |
| 10.6  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.25                     | 3.25                   |
| 11.1  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.74                     | 1.74                   |
| 12.2  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.99                     | 0.99                   |
| 14.1  | 1.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.58                     | 1.58                   |
| 10.2  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.31                     | 1.31                   |
| 12.2  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.00                     | 1.00                   |
| 13.8  | 1.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.57                     | 0.57                   |
| 15.9  | 1.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 5.44                     | 5.44                   |
| 13.4  | 1.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.33                     | 3.33                   |
| 10.3  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.76                     | 1.76                   |
| 10.3  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.16                     | 1.16                   |
| 12.6  | 1.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.52                     | 0.57                   |
| 11.8  | 1.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.56                     | 0.68                   |
| 12.6  | 1.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.30                     | 0.53                   |
| 9.5   | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 10.38                    | 10.38                  |
| 11.0  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 5.92                     | 5.92                   |
| 9.0   | 0.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 4.37                     | 4.46                   |
| 11.0  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.33                     | 2.35                   |
| 9.0   | 0.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.68                     | 1.73                   |
| 16.6  | 1.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 8.87                     | 8.87                   |
| 15.0  | 1.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 5.76                     | 5.76                   |
| 14.6  | 1.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.09                     | 3.09                   |
| 13.4  | 1.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.87                     | 1.87                   |
| 11.3  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.04                     | 1.04                   |
| 11.5  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.61                     | 1.61                   |
| 10.2  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.34                     | 1.34                   |
| 14.7  | 1.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.07                     | 1.07                   |
| 11.5  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.66                     | 0.66                   |
| 10.6  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 5.29                     | 5.29                   |
| 10.6  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.87                     | 2.87                   |
| 11.3  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.55                     | 1.55                   |
| 10.6  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.84                     | 0.99                   |
| 11.3  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.36                     | 0.59                   |
| 10.2  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.56                     | 0.77                   |
| 11.2  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.34                     | 0.67                   |
| 10.2  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.26                     | 0.53                   |
| 9.5   | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 10.38                    | 10.38                  |
| 11.0  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 5.92                     | 5.92                   |
| 9.0   | 0.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 4.37                     | 4.46                   |
| 11.0  | 0.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.33                     | 2.35                   |
| 9.0   | 0.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.61                     | 1.73                   |
| 15.4  | 1.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 9.11                     | 9.22                   |
| 13.8  | 1.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 5.79                     | 6.08                   |
| 15.4  | 1.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.99                     | 4.12                   |
| 12.0  | 1.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.12                     | 2.64                   |
| 11.8  | 1.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.50                     | 1.91                   |
| 11.7  | 1.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.36                     | 2.62                   |
| 11.7  | 1.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.57                     | 2.01                   |
| 11.7  | 1.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.04                     | 1.40                   |
| 47.2  | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 4.98                     | 5.04                   |
| 47.2  | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.18                     | 3.44                   |
| 47.2  | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.19                     | 1.83                   |
| 34.8  | 2.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 4.19                     | 5.50                   |
| 34.8  | 2.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.55                     | 3.59                   |
| 34.8  | 2.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.32                     | 1.89                   |
| 23.8  | 1.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 5.82                     | 5.93                   |
| 21.8  | 1.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 3.56                     | 3.76                   |

# Anhang B

| 1   | 2       | 3                | 4           | 5                       | 6                          |                     |        | 9                     | 10    |   | 12    | 13           | 14 | 15                          |                       |
|-----|---------|------------------|-------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|--------|-----------------------|-------|---|-------|--------------|----|-----------------------------|-----------------------|
|     |         |                  |             |                         | b <sub>p</sub> bzw. d [mm] | b <sub>y</sub> [mm] | h [mm] |                       | λ     | b <sub>p2</sub> bzw. d <sub>p1</sub> [mm] |       |              |    |                             | b <sub>p2</sub> [mm]  |
| Nr. | Autoren | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper Bezeichnung | 7                          |                     |        | 8                     |       | 11  |       | 14           |    | Exzentrizität der Lasplatte |                       |
|     |         |                  |             |                         | Prüfkörpermessungen        |                     |        | Lasplattenabmessungen |       | Lastkonzentration                         |       | Fall der TFB |    | e <sub>p,x</sub> [mm]       | e <sub>p,y</sub> [mm] |
| 771 |         |                  | Tab. 9      | 9                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 101,6 | 101,6                                     | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 772 |         |                  | Tab. 9      | 10                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 36,0  | 36,0                                      | 31,86 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 773 |         |                  | Tab. 10     | 1                       | 101,6                      | 101,6               | 101,6  | 1,00                  | 18,0  | 18,0                                      | 31,86 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 774 |         |                  | Tab. 10     | 2                       | 152,4                      | 152,4               | 152,4  | 1,00                  | 27,0  | 27,0                                      | 31,86 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 775 |         |                  | Tab. 10     | 3                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 36,0  | 36,0                                      | 31,86 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 776 |         |                  | Tab. 10     | 4                       | 304,8                      | 304,8               | 304,8  | 1,00                  | 54,0  | 54,0                                      | 31,86 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 777 |         |                  | Tab. 10     | 5                       | 101,6                      | 101,6               | 101,6  | 1,00                  | 25,4  | 25,4                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 778 |         |                  | Tab. 10     | 6                       | 152,4                      | 152,4               | 152,4  | 1,00                  | 38,1  | 38,1                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 779 |         |                  | Tab. 10     | 7                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 780 |         |                  | Tab. 10     | 8                       | 304,8                      | 304,8               | 304,8  | 1,00                  | 76,2  | 76,2                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 781 |         |                  | Tab. 10     | 9                       | 101,6                      | 101,6               | 101,6  | 1,00                  | 36,0  | 36,0                                      | 7,96  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 782 |         |                  | Tab. 10     | 10                      | 152,4                      | 152,4               | 152,4  | 1,00                  | 54,0  | 54,0                                      | 7,96  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 783 |         |                  | Tab. 10     | 11                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 72,0  | 72,0                                      | 7,96  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 784 |         |                  | Tab. 10     | 12                      | 304,8                      | 304,8               | 304,8  | 1,00                  | 108,0 | 108,0                                     | 7,96  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 785 |         |                  | Tab. 10     | 13                      | 101,6                      | 101,6               | 101,6  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 786 |         |                  | Tab. 10     | 14                      | 152,4                      | 152,4               | 152,4  | 1,00                  | 76,2  | 76,2                                      | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 787 |         |                  | Tab. 10     | 15                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 101,6 | 101,6                                     | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 788 |         |                  | Tab. 10     | 16                      | 304,8                      | 304,8               | 304,8  | 1,00                  | 152,4 | 152,4                                     | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 789 |         |                  | Tab. 11     | 1                       | 152,4                      | 152,4               | 152,4  | 1,00                  | 152,4 | 13,0                                      | 11,72 | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 790 |         | [Niy-1974]       | Tab. 11     | 2                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 203,2 | 17,0                                      | 11,95 | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 791 |         |                  | Tab. 11     | 3                       | 304,8                      | 304,8               | 304,8  | 1,00                  | 304,8 | 25,0                                      | 12,19 | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 792 |         |                  | Tab. 11     | 4                       | 101,6                      | 101,6               | 101,6  | 1,00                  | 101,6 | 13,0                                      | 7,82  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 793 |         |                  | Tab. 11     | 5                       | 152,4                      | 152,4               | 152,4  | 1,00                  | 152,4 | 19,0                                      | 8,03  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 794 |         |                  | Tab. 11     | 6                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 203,2 | 25,0                                      | 8,12  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 795 |         |                  | Tab. 11     | 7                       | 304,8                      | 304,8               | 304,8  | 1,00                  | 304,8 | 38,0                                      | 8,02  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 796 |         |                  | Tab. 11     | 8                       | 101,6                      | 101,6               | 101,6  | 1,00                  | 101,6 | 17,0                                      | 5,98  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 797 |         |                  | Tab. 11     | 9                       | 152,4                      | 152,4               | 152,4  | 1,00                  | 152,4 | 25,0                                      | 6,10  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 798 |         |                  | Tab. 11     | 10                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 203,2 | 34,0                                      | 5,98  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 799 |         |                  | Tab. 11     | 11                      | 304,8                      | 304,8               | 304,8  | 1,00                  | 304,8 | 51,0                                      | 5,98  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 800 |         |                  | Tab. 11     | 12                      | 101,6                      | 101,6               | 101,6  | 1,00                  | 101,6 | 25,0                                      | 4,06  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 801 |         |                  | Tab. 11     | 13                      | 152,4                      | 152,4               | 152,4  | 1,00                  | 152,4 | 38,0                                      | 4,01  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 802 |         |                  | Tab. 11     | 14                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 203,2 | 51,0                                      | 3,98  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 803 |         |                  | Tab. 11     | 15                      | 304,8                      | 304,8               | 304,8  | 1,00                  | 304,8 | 76,0                                      | 4,01  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 804 |         |                  | Tab. 11     | 16                      | 101,6                      | 101,6               | 101,6  | 1,00                  | 101,6 | 51,0                                      | 1,99  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 805 |         |                  | Tab. 11     | 17                      | 152,4                      | 152,4               | 152,4  | 1,00                  | 152,4 | 76,0                                      | 2,01  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 806 |         |                  | Tab. 11     | 18                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 203,2 | 102,0                                     | 1,99  | eben         | 0  | 0                           |                       |
| 807 |         |                  | Tab. 2      | 1                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 35,9  | 35,9                                      | 32,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 808 |         |                  | Tab. 2      | 2                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 35,9  | 35,9                                      | 32,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 809 |         |                  | Tab. 2      | 3                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 810 |         |                  | Tab. 2      | 4                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 811 |         |                  | Tab. 2      | 5                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 71,8  | 71,8                                      | 8,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 812 |         |                  | Tab. 2      | 6                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 71,8  | 71,8                                      | 8,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 813 |         |                  | Tab. 2      | 7                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 101,6 | 101,6                                     | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 814 |         |                  | Tab. 2      | 8                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 101,6 | 101,6                                     | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 815 |         |                  | Tab. 2      | 9                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 35,9  | 35,9                                      | 32,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 816 |         |                  | Tab. 2      | 10                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 35,9  | 35,9                                      | 32,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 817 |         |                  | Tab. 2      | 11                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 818 |         |                  | Tab. 2      | 12                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 819 |         |                  | Tab. 2      | 13                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 71,8  | 71,8                                      | 8,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 820 |         |                  | Tab. 2      | 14                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 71,8  | 71,8                                      | 8,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 821 |         |                  | Tab. 2      | 15                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 101,6 | 101,6                                     | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 822 |         |                  | Tab. 2      | 16                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 101,6 | 101,6                                     | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 823 |         |                  | Tab. 2      | 17                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 35,9  | 35,9                                      | 32,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 824 |         |                  | Tab. 2      | 18                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 35,9  | 35,9                                      | 32,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 825 |         |                  | Tab. 2      | 19                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 826 |         |                  | Tab. 2      | 20                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 827 |         |                  | Tab. 2      | 21                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 71,8  | 71,8                                      | 8,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 828 |         |                  | Tab. 2      | 22                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 101,6 | 101,6                                     | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 829 |         |                  | Tab. 2      | 23                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 101,6 | 101,6                                     | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 830 |         |                  | Tab. 2      | 24                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 35,9  | 35,9                                      | 32,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 831 |         |                  | Tab. 2      | 25                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 35,9  | 35,9                                      | 32,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 832 |         |                  | Tab. 2      | 26                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 833 |         |                  | Tab. 2      | 27                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 834 |         |                  | Tab. 2      | 28                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 71,8  | 71,8                                      | 8,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 835 |         |                  | Tab. 2      | 29                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 71,8  | 71,8                                      | 8,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 836 |         |                  | Tab. 2      | 30                      | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 101,6 | 101,6                                     | 4,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 837 |         |                  | Tab. 3      | 1                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 35,9  | 35,9                                      | 32,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 838 |         |                  | Tab. 3      | 2                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 50,8  | 50,8                                      | 16,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 839 |         |                  | Tab. 3      | 3                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 71,8  | 71,8                                      | 8,00  | räumlich     | 0  | 0                           |                       |
| 840 |         |                  | Tab. 3      | 4                       | 203,2                      | 203,2               | 203,2  | 1,00                  | 35,9  | 35,9                                      | 32,00 | räumlich     | 0  | 0                           |                       |

| 16                                      | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                     | 28                     |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                    | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung  | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,geom}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Spz}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\omega$             | $\omega_{ld}$      | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{per} / f_{ct,spz}$ | $q_{br} / f_{ct,spz}$  |
| 24.5                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,49                   | 1,93                   |
| 17,0                                    | 1,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 6,11                   | 6,20                   |
| 25,7                                    | 2,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 6,69                   | 6,69                   |
| 25,2                                    | 2,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 5,98                   | 6,04                   |
| 23,8                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 5,82                   | 5,93                   |
| 26,1                                    | 2,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 5,31                   | 5,31                   |
| 25,0                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 4,57                   | 4,59                   |
| 25,3                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,77                   | 3,99                   |
| 21,8                                    | 1,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,56                   | 3,76                   |
| 25,8                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 3,14                   | 3,18                   |
| 25,8                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,25                   | 3,32                   |
| 24,4                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,23                   | 2,75                   |
| 22,7                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,02                   | 2,58                   |
| 25,8                                    | 2,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,84                   | 2,22                   |
| 25,3                                    | 2,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,87                   | 2,28                   |
| 26,1                                    | 2,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,22                   | 1,97                   |
| 24,5                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,49                   | 1,93                   |
| 24,7                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,21                   | 1,65                   |
| 23,8                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,83                   | 2,84                   |
| 24,4                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,50                   | 2,72                   |
| 23,1                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,28                   | 2,28                   |
| 23,8                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,58                   | 2,61                   |
| 24,3                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 2,02                   | 2,41                   |
| 25,0                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,95                   | 2,34                   |
| 24,2                                    | 1,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,50                   | 2,08                   |
| 23,8                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,34                   | 2,18                   |
| 24,3                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,32                   | 2,10                   |
| 21,5                                    | 1,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,38                   | 2,05                   |
| 23,1                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,23                   | 1,86                   |
| 24,6                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,12                   | 1,89                   |
| 24,3                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,25                   | 1,83                   |
| 22,9                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,25                   | 1,73                   |
| 24,1                                    | 1,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 1,03                   | 1,57                   |
| 24,6                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,99                   | 1,69                   |
| 24,3                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,87                   | 1,46                   |
| 25,3                                    | 2,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | 0,81                   | 1,38                   |
| 24,9                                    | 2,03                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,11                 | 0,11               | 1,40                 | 1,40               | 7,16                   | 9,37                   |
| 28,7                                    | 2,17                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,10                 | 0,10               | 1,31                 | 1,31               | 6,89                   | 8,75                   |
| 23,3                                    | 1,98                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,12                 | 0,12               | 1,43                 | 1,43               | 4,90                   | 6,53                   |
| 27,9                                    | 2,19                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,10                 | 0,10               | 1,30                 | 1,30               | 4,35                   | 6,12                   |
| 23,3                                    | 1,98                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,12                 | 0,12               | 1,43                 | 1,43               | 2,37                   | 4,29                   |
| 31,2                                    | 2,35                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,09                 | 0,09               | 1,21                 | 1,21               | 2,32                   | 3,99                   |
| 24,9                                    | 2,03                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,11                 | 0,11               | 1,40                 | 1,40               | 0,92                   | 3,08                   |
| 31,2                                    | 2,35                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,09                 | 0,09               | 1,21                 | 1,21               | 1,36                   | 2,86                   |
| 23,6                                    | 1,86                              | 5,70                              | 370                              | 1,38%                | 1,38%              | 0,93%                   | 0,22                 | 0,22               | 2,74                 | 2,74               | 9,27                   | 11,99                  |
| 29,5                                    | 2,27                              | 5,70                              | 370                              | 1,38%                | 1,38%              | 0,93%                   | 0,17                 | 0,17               | 2,25                 | 2,25               | 9,00                   | 10,74                  |
| 23,9                                    | 1,94                              | 5,70                              | 370                              | 1,38%                | 1,38%              | 0,93%                   | 0,21                 | 0,21               | 2,63                 | 2,63               | 4,98                   | 8,16                   |
| 29,9                                    | 2,26                              | 5,70                              | 370                              | 1,38%                | 1,38%              | 0,93%                   | 0,17                 | 0,17               | 2,26                 | 2,26               | 4,86                   | 7,59                   |
| 23,1                                    | 1,94                              | 5,70                              | 370                              | 1,38%                | 1,38%              | 0,93%                   | 0,22                 | 0,22               | 2,63                 | 2,63               | 3,01                   | 5,74                   |
| 31,2                                    | 2,35                              | 5,70                              | 370                              | 1,38%                | 1,38%              | 0,93%                   | 0,16                 | 0,16               | 2,17                 | 2,17               | 2,93                   | 5,37                   |
| 24,3                                    | 2,01                              | 5,70                              | 370                              | 1,38%                | 1,38%              | 0,93%                   | 0,21                 | 0,21               | 2,55                 | 2,55               | 1,74                   | 4,23                   |
| 31,2                                    | 2,35                              | 5,70                              | 370                              | 1,38%                | 1,38%              | 0,93%                   | 0,16                 | 0,16               | 2,17                 | 2,17               | 1,53                   | 3,51                   |
| 23,2                                    | 1,75                              | 7,60                              | 370                              | 1,84%                | 1,84%              | 1,24%                   | 0,29                 | 0,29               | 3,89                 | 3,89               | 9,31                   | 13,78                  |
| 30,1                                    | 2,27                              | 7,60                              | 370                              | 1,84%                | 1,84%              | 1,24%                   | 0,23                 | 0,23               | 3,00                 | 3,00               | 5,70                   | 13,38                  |
| 23,2                                    | 1,75                              | 7,60                              | 370                              | 1,84%                | 1,84%              | 1,24%                   | 0,29                 | 0,29               | 3,89                 | 3,89               | 5,33                   | 9,26                   |
| 30,1                                    | 2,27                              | 7,60                              | 370                              | 1,84%                | 1,84%              | 1,24%                   | 0,23                 | 0,23               | 3,00                 | 3,00               | 5,17                   | 9,09                   |
| 24,2                                    | 1,83                              | 7,60                              | 370                              | 1,84%                | 1,84%              | 1,24%                   | 0,28                 | 0,28               | 3,73                 | 3,73               | 2,56                   | 6,48                   |
| 24,2                                    | 1,83                              | 7,60                              | 370                              | 1,84%                | 1,84%              | 1,24%                   | 0,28                 | 0,28               | 3,73                 | 3,73               | 1,72                   | 4,43                   |
| 20,0                                    | 1,67                              | 11,40                             | 370                              | 2,76%                | 2,76%              | 1,86%                   | 0,51                 | 0,51               | 6,12                 | 6,12               | 11,21                  | 18,05                  |
| 33,6                                    | 2,22                              | 11,40                             | 370                              | 2,76%                | 2,76%              | 1,86%                   | 0,30                 | 0,30               | 4,60                 | 4,60               | 9,74                   | 16,42                  |
| 20,0                                    | 1,67                              | 11,40                             | 370                              | 2,76%                | 2,76%              | 1,86%                   | 0,51                 | 0,51               | 6,12                 | 6,12               | 6,08                   | 13,02                  |
| 33,6                                    | 2,22                              | 11,40                             | 370                              | 2,76%                | 2,76%              | 1,86%                   | 0,30                 | 0,30               | 4,60                 | 4,60               | 4,87                   | 11,27                  |
| 20,0                                    | 1,67                              | 11,40                             | 370                              | 2,76%                | 2,76%              | 1,86%                   | 0,51                 | 0,51               | 6,12                 | 6,12               | 3,33                   | 9,55                   |
| 33,6                                    | 2,22                              | 11,40                             | 370                              | 2,76%                | 2,76%              | 1,86%                   | 0,30                 | 0,30               | 4,60                 | 4,60               | 3,74                   | 8,04                   |
| 20,0                                    | 1,67                              | 11,40                             | 370                              | 2,76%                | 2,76%              | 1,86%                   | 0,51                 | 0,51               | 6,12                 | 6,12               | 1,93                   | 6,37                   |
| 33,6                                    | 2,22                              | 11,40                             | 370                              | 2,76%                | 2,76%              | 1,86%                   | 0,30                 | 0,30               | 4,60                 | 4,60               | 2,17                   | 6,01                   |
| 25,2                                    | 1,97                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,11                 | 0,11               | 1,44                 | 1,44               | 6,04                   | 7,24                   |
| 25,2                                    | 1,97                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,11                 | 0,11               | 1,44                 | 1,44               | 4,22                   | 5,13                   |
| 25,2                                    | 1,97                              | 3,17                              | 370                              | 0,77%                | 0,77%              | 0,52%                   | 0,11                 | 0,11               | 1,44                 | 1,44               | 2,27                   | 2,98                   |
| 24,7                                    | 1,83                              | 5,70                              | 370                              | 1,38%                | 1,38%              | 0,93%                   | 0,21                 | 0,21               | 2,80                 | 2,80               | 6,09                   | 9,08                   |

# Anhang B

| 1   | 2        | 3                | 4           | 5                       | 6                     |            |          | 7         | 8                             | 9              | 10                    |                     | 11           | 12              | 13             | 14 | 15 |
|-----|----------|------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|------------|----------|-----------|-------------------------------|----------------|-----------------------|---------------------|--------------|-----------------|----------------|----|----|
|     |          |                  |             |                         | Prüfkörperabmessungen |            |          |           |                               |                | Lasplattenabmessungen |                     |              |                 |                |    |    |
| Nr. | Autor    | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper Bezeichnung | $b_p$ bzw. $d$ [mm]   | $b_y$ [mm] | $h$ [mm] | $\lambda$ | $b_{p,2}$ bzw. $d_{p,1}$ [mm] | $b_{p,1}$ [mm] | $A_{s1} / A_{s0}$     | Lasstanzkontraktion | Fall der TFB | $e_{p,ex}$ [mm] | $e_{p,2}$ [mm] |    |    |
| 841 | NIVOGI   | [Niv-1975]       | Tab. 3      | 5                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 35,9                          | 35,9           | 32,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 842 |          |                  | Tab. 3      | 6                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 843 |          |                  | Tab. 3      | 7                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 844 |          |                  | Tab. 3      | 8                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 845 |          |                  | Tab. 3      | 9                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 846 |          |                  | Tab. 4      | 1                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 35,9                          | 35,9           | 32,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 847 |          |                  | Tab. 4      | 2                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 848 |          |                  | Tab. 4      | 3                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 849 |          |                  | Tab. 4      | 4                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 35,9                          | 35,9           | 32,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 850 |          |                  | Tab. 4      | 5                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 35,9                          | 35,9           | 32,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 851 |          |                  | Tab. 4      | 6                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 852 |          |                  | Tab. 4      | 7                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 853 |          |                  | Tab. 4      | 8                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 854 |          |                  | Tab. 4      | 9                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 855 |          |                  | Tab. 5      | 1                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 35,9                          | 35,9           | 32,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 856 |          |                  | Tab. 5      | 2                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 857 |          |                  | Tab. 5      | 3                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 858 |          |                  | Tab. 5      | 4                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 35,9                          | 35,9           | 32,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 859 |          |                  | Tab. 5      | 5                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 860 |          |                  | Tab. 5      | 6                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 861 |          |                  | Tab. 5      | 7                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 35,9                          | 35,9           | 32,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 862 |          |                  | Tab. 5      | 8                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 863 |          |                  | Tab. 5      | 9                       | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 864 |          |                  | Tab. 5      | 10                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 35,9                          | 35,9           | 32,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 865 |          |                  | Tab. 5      | 11                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 35,9                          | 35,9           | 32,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 866 |          |                  | Tab. 5      | 12                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 867 |          |                  | Tab. 5      | 13                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 868 |          |                  | Tab. 5      | 14                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 869 |          |                  | Tab. 5      | 15                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 870 |          |                  | Tab. 5      | 16                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 871 |          |                  | Tab. 5      | 17                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 872 |          |                  | Tab. 5      | 18                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 35,9                          | 35,9           | 32,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 873 |          |                  | Tab. 5      | 19                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 50,8                          | 50,8           | 16,00                 | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 874 |          |                  | Tab. 5      | 20                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 71,8                          | 71,8           | 8,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 875 |          |                  | Tab. 5      | 21                      | 203,2                 | 203,2      | 203,2    | 1,00      | 101,6                         | 101,6          | 4,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 876 |          |                  | Tab. 3+5    | 1                       | 300,0                 | 300,0      | 600,0    | 2,00      | 250,0                         | 250,0          | 1,44                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 877 |          |                  | Tab. 3+5    | 11                      | 300,0                 | 300,0      | 600,0    | 2,00      | 250,0                         | 250,0          | 1,44                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 878 |          |                  | Tab. 3+5    | 2                       | 300,0                 | 300,0      | 600,0    | 2,00      | 200,0                         | 200,0          | 2,25                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 879 |          |                  | Tab. 3+5    | 9                       | 300,0                 | 300,0      | 600,0    | 2,00      | 200,0                         | 200,0          | 2,25                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 880 |          |                  | Tab. 3+5    | 3                       | 300,0                 | 300,0      | 600,0    | 2,00      | 150,0                         | 150,0          | 4,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 881 |          |                  | Tab. 3+5    | 12                      | 300,0                 | 300,0      | 600,0    | 2,00      | 150,0                         | 150,0          | 4,00                  | räumlich            | 0            | 0               |                |    |    |
| 882 | Tab. 3+5 | 6                | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 100,0    | 100,0     | 9,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 883 | Tab. 3+5 | 10               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 100,0    | 100,0     | 9,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 884 | Tab. 3+5 | 13               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 885 | Tab. 3+5 | 19               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 886 | Tab. 3+5 | 25               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 887 | Tab. 3+5 | 14               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 888 | Tab. 3+5 | 20               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 889 | Tab. 3+5 | 26               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 890 | Tab. 3+5 | 15               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 891 | Tab. 3+5 | 21               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 892 | Tab. 3+5 | 27               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 893 | Tab. 3+5 | 16               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 894 | Tab. 3+5 | 22               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 895 | Tab. 3+5 | 28               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 896 | Tab. 3+5 | 17               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 897 | Tab. 3+5 | 23               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 898 | Tab. 3+5 | 29               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 899 | Tab. 3+5 | 18               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 900 | Tab. 3+5 | 24               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 901 | Tab. 3+5 | 30               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 902 | Tab. 3+5 | 36               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 903 | Tab. 3+5 | 37               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 904 | Tab. 3+5 | 38               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 905 | Tab. 3+5 | 35               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 906 | Tab. 3+5 | 39               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 907 | Tab. 3+5 | 40               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 908 | Tab. 3+5 | 33               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 909 | Tab. 3+5 | 34               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |
| 910 | Tab. 3+5 | 41               | 300,0       | 300,0                   | 600,0                 | 2,00       | 150,0    | 150,0     | 4,00                          | räumlich       | 0                     | 0                   |              |                 |                |    |    |

| 16                                       | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                     | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,geo,ges}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,ges}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\omega$             | $\omega_{ld}$      | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr}/f_{ct,ges}$   | $q_{br}/f_{ct,ges}$    |
| 30.1                                     | 2.27                              | 5.70                              | 370                              | 1.38%                | 1.38%              | 0.93%                   | 0.17                 | 0.17               | 2.25                 | 2.25               | 7.06                  | 8.83                   |
| 22.2                                     | 1.76                              | 5.70                              | 370                              | 1.38%                | 1.38%              | 0.93%                   | 0.23                 | 0.23               | 2.91                 | 2.91               | 3.93                  | 6.37                   |
| 30.1                                     | 2.27                              | 5.70                              | 370                              | 1.38%                | 1.38%              | 0.93%                   | 0.17                 | 0.17               | 2.25                 | 2.25               | 3.28                  | 6.25                   |
| 22.6                                     | 1.83                              | 5.70                              | 370                              | 1.38%                | 1.38%              | 0.93%                   | 0.23                 | 0.23               | 2.79                 | 2.79               | 2.32                  | 4.08                   |
| 30.1                                     | 2.27                              | 5.70                              | 370                              | 1.38%                | 1.38%              | 0.93%                   | 0.17                 | 0.17               | 2.25                 | 2.25               | 2.72                  | 4.42                   |
| 25.7                                     | 2.03                              | 6.33                              | 378                              | 1.53%                | 1.53%              | 1.05%                   | 0.23                 | 0.23               | 2.86                 | 2.86               | 7.38                  | 10.49                  |
| 25.7                                     | 2.03                              | 6.33                              | 378                              | 1.53%                | 1.53%              | 1.05%                   | 0.23                 | 0.23               | 2.86                 | 2.86               | 4.36                  | 7.56                   |
| 25.7                                     | 2.03                              | 6.33                              | 378                              | 1.53%                | 1.53%              | 1.05%                   | 0.23                 | 0.23               | 2.86                 | 2.86               | 2.14                  | 5.13                   |
| 25.2                                     | 1.99                              | 11.40                             | 378                              | 2.76%                | 2.76%              | 1.90%                   | 0.41                 | 0.41               | 5.26                 | 5.26               | 9.65                  | 13.80                  |
| 33.3                                     | 2.21                              | 11.40                             | 378                              | 2.76%                | 2.76%              | 1.90%                   | 0.31                 | 0.31               | 4.72                 | 4.72               | 10.27                 | 12.16                  |
| 25.2                                     | 1.99                              | 11.40                             | 378                              | 2.76%                | 2.76%              | 1.90%                   | 0.41                 | 0.41               | 5.26                 | 5.26               | 5.73                  | 9.84                   |
| 33.3                                     | 2.21                              | 11.40                             | 378                              | 2.76%                | 2.76%              | 1.90%                   | 0.31                 | 0.31               | 4.72                 | 4.72               | 7.32                  | 8.05                   |
| 23.7                                     | 1.92                              | 11.40                             | 378                              | 2.76%                | 2.76%              | 1.90%                   | 0.44                 | 0.44               | 5.45                 | 5.45               | 3.11                  | 6.66                   |
| 33.8                                     | 2.22                              | 11.40                             | 378                              | 2.76%                | 2.76%              | 1.90%                   | 0.31                 | 0.31               | 4.70                 | 4.70               | 1.97                  | 6.47                   |
| 24.5                                     | 1.94                              | 3.17                              | 378                              | 0.77%                | 0.77%              | 0.53%                   | 0.12                 | 0.12               | 1.50                 | 1.50               | 9.13                  | 10.91                  |
| 22.5                                     | 1.88                              | 3.17                              | 379                              | 0.77%                | 0.77%              | 0.53%                   | 0.13                 | 0.13               | 1.55                 | 1.55               | 4.99                  | 7.23                   |
| 24.5                                     | 1.94                              | 3.17                              | 380                              | 0.77%                | 0.77%              | 0.53%                   | 0.12                 | 0.12               | 1.50                 | 1.50               | 3.06                  | 4.42                   |
| 25.0                                     | 1.96                              | 3.17                              | 381                              | 0.77%                | 0.77%              | 0.53%                   | 0.12                 | 0.12               | 1.49                 | 1.49               | 5.86                  | 7.89                   |
| 24.5                                     | 1.90                              | 3.17                              | 382                              | 0.77%                | 0.77%              | 0.53%                   | 0.12                 | 0.12               | 1.54                 | 1.54               | 3.80                  | 5.85                   |
| 24.5                                     | 1.90                              | 3.17                              | 383                              | 0.77%                | 0.77%              | 0.53%                   | 0.12                 | 0.12               | 1.54                 | 1.54               | 1.86                  | 3.97                   |
| 23.5                                     | 1.81                              | 6.33                              | 384                              | 1.53%                | 1.53%              | 1.07%                   | 0.25                 | 0.25               | 3.25                 | 3.25               | 9.71                  | 12.23                  |
| 24.5                                     | 1.90                              | 6.33                              | 385                              | 1.53%                | 1.53%              | 1.07%                   | 0.24                 | 0.24               | 3.10                 | 3.10               | 5.30                  | 8.57                   |
| 24.5                                     | 1.90                              | 6.33                              | 386                              | 1.53%                | 1.53%              | 1.08%                   | 0.24                 | 0.24               | 3.11                 | 3.11               | 2.64                  | 6.70                   |
| 25.0                                     | 1.85                              | 2.22                              | 387                              | 0.54%                | 0.54%              | 0.38%                   | 0.08                 | 0.08               | 1.12                 | 1.12               | 6.33                  | 7.00                   |
| 33.7                                     | 2.22                              | 2.22                              | 388                              | 0.54%                | 0.54%              | 0.38%                   | 0.06                 | 0.06               | 0.94                 | 0.94               | 3.19                  | 6.65                   |
| 25.2                                     | 2.06                              | 2.22                              | 389                              | 0.54%                | 0.54%              | 0.38%                   | 0.08                 | 0.08               | 1.01                 | 1.01               | 4.27                  | 4.94                   |
| 33.6                                     | 2.22                              | 2.22                              | 390                              | 0.54%                | 0.54%              | 0.38%                   | 0.06                 | 0.06               | 0.94                 | 0.94               | 3.85                  | 4.93                   |
| 23.0                                     | 1.90                              | 2.22                              | 391                              | 0.54%                | 0.54%              | 0.38%                   | 0.09                 | 0.09               | 1.11                 | 1.11               | 2.81                  | 3.80                   |
| 33.7                                     | 2.22                              | 2.22                              | 392                              | 0.54%                | 0.54%              | 0.38%                   | 0.06                 | 0.06               | 0.95                 | 0.95               | 2.03                  | 3.35                   |
| 25.0                                     | 1.85                              | 2.22                              | 393                              | 0.54%                | 0.54%              | 0.38%                   | 0.08                 | 0.08               | 1.14                 | 1.14               | 1.56                  | 2.44                   |
| 33.6                                     | 2.22                              | 2.22                              | 394                              | 0.54%                | 0.54%              | 0.38%                   | 0.06                 | 0.06               | 0.95                 | 0.95               | 1.25                  | 2.25                   |
| 22.1                                     | 1.88                              | 4.43                              | 395                              | 1.07%                | 1.07%              | 0.77%                   | 0.19                 | 0.19               | 2.25                 | 2.25               | 7.85                  | 9.64                   |
| 24.0                                     | 1.90                              | 4.43                              | 396                              | 1.07%                | 1.07%              | 0.77%                   | 0.18                 | 0.18               | 2.24                 | 2.24               | 5.07                  | 6.15                   |
| 25.7                                     | 2.01                              | 4.43                              | 397                              | 1.07%                | 1.07%              | 0.78%                   | 0.17                 | 0.17               | 2.12                 | 2.12               | 3.09                  | 4.58                   |
| 21.4                                     | 1.70                              | 4.43                              | 398                              | 1.07%                | 1.07%              | 0.78%                   | 0.20                 | 0.20               | 2.51                 | 2.51               | 1.73                  | 2.95                   |
| 27.5                                     | 2.17                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.70                  | 1.01                   |
| 27.9                                     | 2.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.71                  | 1.02                   |
| 27.5                                     | 2.17                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.52                  | 1.17                   |
| 27.9                                     | 2.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.50                  | 1.13                   |
| 27.5                                     | 2.17                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.36                  | 1.46                   |
| 27.9                                     | 2.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.38                  | 1.50                   |
| 26.1                                     | 2.07                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.24                  | 2.18                   |
| 27.9                                     | 2.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.24                  | 2.14                   |
| 27.5                                     | 2.17                              | 14.40                             | 232                              | 0.80%                | 1.60%              | 0.68%                   | 0.07                 | 0.14               | 0.86                 | 1.71               | 0.84                  | 3.36                   |
| 27.4                                     | 2.17                              | 14.40                             | 232                              | 0.80%                | 1.60%              | 0.68%                   | 0.07                 | 0.14               | 0.86                 | 1.72               | 0.76                  | 3.04                   |
| 25.8                                     | 2.04                              | 14.40                             | 232                              | 0.80%                | 1.60%              | 0.68%                   | 0.07                 | 0.14               | 0.91                 | 1.82               | 0.83                  | 3.33                   |
| 27.5                                     | 2.17                              | 13.45                             | 338                              | 0.75%                | 1.49%              | 0.92%                   | 0.09                 | 0.18               | 1.16                 | 2.32               | 0.80                  | 3.20                   |
| 27.4                                     | 2.17                              | 13.45                             | 338                              | 0.75%                | 1.49%              | 0.92%                   | 0.09                 | 0.18               | 1.16                 | 2.33               | 0.82                  | 3.28                   |
| 25.8                                     | 2.04                              | 13.45                             | 338                              | 0.75%                | 1.49%              | 0.92%                   | 0.10                 | 0.20               | 1.24                 | 2.47               | 0.84                  | 3.36                   |
| 27.5                                     | 2.17                              | 13.79                             | 298                              | 0.77%                | 1.53%              | 0.83%                   | 0.08                 | 0.17               | 1.05                 | 2.10               | 0.72                  | 2.87                   |
| 27.4                                     | 2.17                              | 13.79                             | 298                              | 0.77%                | 1.53%              | 0.83%                   | 0.08                 | 0.17               | 1.05                 | 2.11               | 0.75                  | 2.99                   |
| 25.8                                     | 2.04                              | 13.79                             | 298                              | 0.77%                | 1.53%              | 0.83%                   | 0.09                 | 0.18               | 1.12                 | 2.23               | 0.81                  | 3.23                   |
| 26.1                                     | 2.07                              | 14.29                             | 389                              | 0.79%                | 1.24%              | 0.87%                   | 0.12                 | 0.18               | 1.49                 | 2.33               | 0.84                  | 3.37                   |
| 27.2                                     | 2.15                              | 14.29                             | 389                              | 0.79%                | 1.24%              | 0.87%                   | 0.11                 | 0.18               | 1.43                 | 2.24               | 0.78                  | 3.13                   |
| 27.0                                     | 2.14                              | 14.29                             | 389                              | 0.79%                | 1.24%              | 0.87%                   | 0.11                 | 0.18               | 1.44                 | 2.25               | 0.78                  | 3.12                   |
| 26.1                                     | 2.07                              | 12.06                             | 290                              | 0.67%                | 1.34%              | 0.71%                   | 0.07                 | 0.15               | 0.94                 | 1.88               | 0.77                  | 3.07                   |
| 27.2                                     | 2.15                              | 12.06                             | 290                              | 0.67%                | 1.34%              | 0.71%                   | 0.07                 | 0.14               | 0.90                 | 1.81               | 0.76                  | 3.05                   |
| 27.0                                     | 2.14                              | 12.06                             | 290                              | 0.67%                | 1.34%              | 0.71%                   | 0.07                 | 0.14               | 0.91                 | 1.82               | 0.70                  | 2.81                   |
| 26.1                                     | 2.07                              | 11.31                             | 390                              | 0.63%                | 1.26%              | 0.89%                   | 0.09                 | 0.19               | 1.18                 | 2.37               | 0.60                  | 2.39                   |
| 27.2                                     | 2.15                              | 11.31                             | 390                              | 0.63%                | 1.26%              | 0.89%                   | 0.09                 | 0.18               | 1.14                 | 2.28               | 0.57                  | 2.26                   |
| 27.0                                     | 2.14                              | 11.31                             | 390                              | 0.63%                | 1.26%              | 0.89%                   | 0.09                 | 0.18               | 1.15                 | 2.29               | 0.55                  | 2.21                   |
| 25.9                                     | 2.06                              | 5.03                              | 292                              | 0.28%                | 0.56%              | 0.30%                   | 0.03                 | 0.06               | 0.40                 | 0.79               | 0.59                  | 2.35                   |
| 30.2                                     | 2.37                              | 5.03                              | 292                              | 0.28%                | 0.56%              | 0.30%                   | 0.03                 | 0.05               | 0.34                 | 0.69               | 0.54                  | 2.15                   |
| 30.2                                     | 2.37                              | 5.03                              | 292                              | 0.28%                | 0.56%              | 0.30%                   | 0.03                 | 0.05               | 0.34                 | 0.69               | 0.58                  | 2.31                   |
| 25.9                                     | 2.06                              | 6.50                              | 303                              | 0.36%                | 0.72%              | 0.40%                   | 0.04                 | 0.08               | 0.53                 | 1.06               | 0.65                  | 2.61                   |
| 30.2                                     | 2.37                              | 6.50                              | 303                              | 0.36%                | 0.72%              | 0.40%                   | 0.04                 | 0.07               | 0.46                 | 0.92               | 0.59                  | 2.34                   |
| 29.1                                     | 2.29                              | 6.50                              | 303                              | 0.36%                | 0.72%              | 0.40%                   | 0.04                 | 0.08               | 0.48                 | 0.96               | 0.61                  | 2.46                   |
| 27.3                                     | 2.16                              | 9.65                              | 249                              | 0.54%                | 1.07%              | 0.48%                   | 0.05                 | 0.10               | 0.62                 | 1.24               | 0.73                  | 3.17                   |
| 25.9                                     | 2.06                              | 9.65                              | 249                              | 0.54%                | 1.07%              | 0.48%                   | 0.05                 | 0.10               | 0.65                 | 1.30               | 0.79                  | 3.18                   |
| 29.1                                     | 2.29                              | 9.65                              | 249                              | 0.54%                | 1.07%              | 0.48%                   | 0.05                 | 0.09               | 0.58                 | 1.16               | 0.75                  | 3.00                   |

# Anhang B

| 1   | 2 | 3 | 4       | 5   | 6                         |     |      | 7                           | 8                      | 9          | 10       |           | 11                             | 12            | 13                         | 14                | 15              |
|-----|---|---|---------|-----|---------------------------|-----|------|-----------------------------|------------------------|------------|----------|-----------|--------------------------------|---------------|----------------------------|-------------------|-----------------|
|     |   |   |         |     | Probekörper-<br>messungen |     |      | Probekörper-<br>Bezeichnung | $b_p$ bzw.<br>$d$ [mm] | $b_0$ [mm] | $h$ [mm] | $\lambda$ | $b_{p2}$ bzw.<br>$d_{p2}$ [mm] | $b_{p3}$ [mm] | Lasplattenab-<br>messungen | Lastkonzentration | Fall der<br>TFB |
| 911 |   |   | Tab 3+5 | 31  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 912 |   |   | Tab 3+5 | 32  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 913 |   |   | Tab 3+5 | 42  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 914 |   |   | Tab 3+5 | 46  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 915 |   |   | Tab 3+5 | 47  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 916 |   |   | Tab 3+5 | 48  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 917 |   |   | Tab 3+5 | 59  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 918 |   |   | Tab 3+5 | 60  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 919 |   |   | Tab 3+5 | 61  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 920 |   |   | Tab 3+5 | 49  | 200                       | 200 | 400  | 2,00                        | 100                    | 0          | 100      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 921 |   |   | Tab 3+5 | 50  | 200                       | 200 | 400  | 2,00                        | 100                    | 0          | 100      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 922 |   |   | Tab 3+5 | 51  | 200                       | 200 | 400  | 2,00                        | 100                    | 0          | 100      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 923 |   |   | Tab 3+5 | 52  | 200                       | 200 | 400  | 2,00                        | 100                    | 0          | 100      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 924 |   |   | Tab 3+5 | 53  | 200                       | 200 | 400  | 2,00                        | 100                    | 0          | 100      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 925 |   |   | Tab 3+5 | 54  | 200                       | 200 | 400  | 2,00                        | 100                    | 0          | 100      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 926 |   |   | Tab 3+5 | 43  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 927 |   |   | Tab 3+5 | 44  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 928 |   |   | Tab 3+5 | 45  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 929 |   |   | Tab 3+5 | 100 | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 930 |   |   | Tab 3+5 | 101 | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 931 |   |   | Tab 3+5 | 102 | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 932 |   |   | Tab 3+5 | 88  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 933 |   |   | Tab 3+5 | 93  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 934 |   |   | Tab 3+5 | 97  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 935 |   |   | Tab 3+5 | 89  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 936 |   |   | Tab 3+5 | 92  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 937 |   |   | Tab 3+5 | 94  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 938 |   |   | Tab 3+5 | 90  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 939 |   |   | Tab 3+5 | 96  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 940 |   |   | Tab 3+5 | 99  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 941 |   |   | Tab 3+5 | 91  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 15                         |                   |                 |
| 942 |   |   | Tab 3+5 | 95  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 15                         |                   |                 |
| 943 |   |   | Tab 3+5 | 98  | 500                       | 180 | 1000 | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 15                         |                   |                 |
| 944 |   |   | Tab 3+5 | 72  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 945 |   |   | Tab 3+5 | 75  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 946 |   |   | Tab 3+5 | 81  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 947 |   |   | Tab 3+5 | 71  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 948 |   |   | Tab 3+5 | 77  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 949 |   |   | Tab 3+5 | 79  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 950 |   |   | Tab 3+5 | 70  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 951 |   |   | Tab 3+5 | 74  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 952 |   |   | Tab 3+5 | 78  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 953 |   |   | Tab 3+5 | 73  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 954 |   |   | Tab 3+5 | 76  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 955 |   |   | Tab 3+5 | 80  | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 956 |   |   | Tab 3+5 | 103 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 957 |   |   | Tab 3+5 | 104 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 958 |   |   | Tab 3+5 | 105 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 959 |   |   | Tab 3+5 | 106 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 960 |   |   | Tab 3+5 | 107 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 961 |   |   | Tab 3+5 | 108 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 962 |   |   | Tab 3+5 | 109 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 963 |   |   | Tab 3+5 | 110 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 964 |   |   | Tab 3+5 | 111 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 965 |   |   | Tab 3+5 | 112 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 966 |   |   | Tab 3+5 | 113 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 967 |   |   | Tab 3+5 | 114 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 968 |   |   | Tab 3+5 | 115 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 969 |   |   | Tab 3+5 | 116 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 970 |   |   | Tab 3+5 | 117 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 971 |   |   | Tab 3+5 | 119 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 972 |   |   | Tab 3+5 | 120 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 973 |   |   | Tab 3+5 | 121 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 974 |   |   | Tab 3+5 | 123 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 975 |   |   | Tab 3+5 | 124 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 976 |   |   | Tab 3+5 | 125 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 977 |   |   | Tab 3+5 | 127 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 978 |   |   | Tab 3+5 | 128 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 979 |   |   | Tab 3+5 | 129 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 150                    | 0          | 150      | 4,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |
| 980 |   |   | Tab 3+5 | 118 | 300                       | 300 | 600  | 2,00                        | 100                    | 0          | 100      | 9,00      | räumlich                       | 0             | 0                          |                   |                 |

| 16                                      | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                  | 24                | 25                  | 26                | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                    | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | meh. Bew.-Grad ges. | meh. Bew.-Grad ld | meh. Bew.-Grad ges. | meh. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,geom}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Spz}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\omega$            | $\omega_{ld}$     | $\mu$               | $\mu_{ld}$        | $q_{cr}/f_{ct,sp}$    | $q_{br}/f_{ct,sp}$     |
| 27.3                                    | 2.16                              | 17.71                             | 260                              | 0.98%                | 1.97%              | 0.93%                   | 0.09                | 0.19              | 1.19                | 2.37              | 0.82                  | 3.26                   |
| 27.3                                    | 2.16                              | 17.71                             | 260                              | 0.98%                | 1.97%              | 0.93%                   | 0.09                | 0.19              | 1.19                | 2.37              | 0.80                  | 3.18                   |
| 29.1                                    | 2.29                              | 17.71                             | 260                              | 0.98%                | 1.97%              | 0.93%                   | 0.09                | 0.18              | 1.12                | 2.23              | 0.77                  | 3.06                   |
| 21.9                                    | 1.73                              | 12.99                             | 285                              | 0.72%                | 1.44%              | 0.75%                   | 0.09                | 0.19              | 1.19                | 2.37              | 0.94                  | 3.77                   |
| 21.9                                    | 1.73                              | 12.99                             | 258                              | 0.72%                | 1.44%              | 0.68%                   | 0.09                | 0.17              | 1.08                | 2.15              | 0.91                  | 3.65                   |
| 21.9                                    | 1.73                              | 12.99                             | 242                              | 0.72%                | 1.44%              | 0.63%                   | 0.08                | 0.16              | 1.01                | 2.02              | 0.92                  | 3.67                   |
| 27.6                                    | 2.18                              | 12.99                             | 261                              | 0.72%                | 1.44%              | 0.69%                   | 0.07                | 0.14              | 0.87                | 1.73              | 0.77                  | 3.08                   |
| 24.5                                    | 1.95                              | 12.99                             | 261                              | 0.72%                | 1.44%              | 0.69%                   | 0.08                | 0.15              | 0.97                | 1.94              | 0.80                  | 3.20                   |
| 27.6                                    | 2.18                              | 12.99                             | 261                              | 0.72%                | 1.44%              | 0.69%                   | 0.07                | 0.14              | 0.87                | 1.73              | 0.79                  | 3.16                   |
| 29.2                                    | 2.30                              | 5.11                              | 332                              | 0.64%                | 1.28%              | 0.77%                   | 0.07                | 0.15              | 0.92                | 1.85              | 0.74                  | 2.94                   |
| 29.2                                    | 2.30                              | 5.11                              | 262                              | 0.64%                | 1.28%              | 0.61%                   | 0.06                | 0.11              | 0.73                | 1.46              | 0.74                  | 2.94                   |
| 29.2                                    | 2.30                              | 5.11                              | 338                              | 0.64%                | 1.28%              | 0.78%                   | 0.07                | 0.15              | 0.94                | 1.88              | 0.76                  | 3.03                   |
| 30.8                                    | 2.41                              | 5.11                              | 334                              | 0.64%                | 1.28%              | 0.78%                   | 0.07                | 0.14              | 0.88                | 1.77              | 0.71                  | 2.81                   |
| 30.8                                    | 2.41                              | 5.11                              | 332                              | 0.64%                | 1.28%              | 0.77%                   | 0.07                | 0.14              | 0.88                | 1.76              | 0.72                  | 2.88                   |
| 30.8                                    | 2.41                              | 5.11                              | 329                              | 0.64%                | 1.28%              | 0.76%                   | 0.07                | 0.14              | 0.87                | 1.74              | 0.73                  | 2.89                   |
| 27.6                                    | 2.18                              | 13.29                             | 295                              | 0.74%                | 1.48%              | 0.79%                   | 0.08                | 0.16              | 1.00                | 2.00              | 0.75                  | 3.02                   |
| 27.6                                    | 2.18                              | 13.29                             | 249                              | 0.74%                | 1.48%              | 0.67%                   | 0.07                | 0.13              | 0.84                | 1.69              | 0.68                  | 2.70                   |
| 27.6                                    | 2.18                              | 13.29                             | 258                              | 0.74%                | 1.48%              | 0.69%                   | 0.07                | 0.14              | 0.87                | 1.75              | 0.74                  | 2.95                   |
| 25.0                                    | 1.98                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | 0.33                  | 1.31                   |
| 25.0                                    | 1.98                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | 0.34                  | 1.36                   |
| 24.8                                    | 1.97                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                | 0.00              | 0.00                | 0.00              | 0.34                  | 1.37                   |
| 23.7                                    | 1.88                              | 32.86                             | 357                              | 0.66%                | 3.09%              | 2.01%                   | 0.10                | 0.47              | 1.25                | 5.87              | 0.52                  | 2.08                   |
| 25.4                                    | 2.02                              | 32.86                             | 357                              | 0.66%                | 3.09%              | 2.01%                   | 0.09                | 0.43              | 1.16                | 5.47              | 0.51                  | 2.04                   |
| 26.2                                    | 2.07                              | 32.86                             | 357                              | 0.66%                | 3.09%              | 2.01%                   | 0.09                | 0.42              | 1.13                | 5.32              | 0.52                  | 2.10                   |
| 23.7                                    | 1.88                              | 31.54                             | 357                              | 0.63%                | 2.95%              | 1.91%                   | 0.10                | 0.44              | 1.20                | 5.59              | 0.53                  | 2.10                   |
| 27.3                                    | 2.16                              | 31.54                             | 357                              | 0.63%                | 2.95%              | 1.91%                   | 0.08                | 0.39              | 1.04                | 4.88              | 0.50                  | 2.00                   |
| 27.3                                    | 2.16                              | 31.54                             | 357                              | 0.63%                | 2.95%              | 1.91%                   | 0.08                | 0.39              | 1.04                | 4.88              | 0.46                  | 1.86                   |
| 27.8                                    | 2.20                              | 31.60                             | 390                              | 0.63%                | 2.95%              | 2.09%                   | 0.09                | 0.41              | 1.12                | 5.23              | 0.46                  | 1.85                   |
| 26.9                                    | 2.13                              | 31.60                             | 390                              | 0.63%                | 2.95%              | 2.09%                   | 0.09                | 0.43              | 1.16                | 5.40              | 0.51                  | 2.04                   |
| 26.2                                    | 2.07                              | 31.60                             | 390                              | 0.63%                | 2.95%              | 2.09%                   | 0.09                | 0.44              | 1.19                | 5.55              | 0.52                  | 2.08                   |
| 27.3                                    | 2.16                              | 31.54                             | 357                              | 0.63%                | 2.95%              | 1.91%                   | 0.08                | 0.39              | 1.04                | 4.88              | 0.46                  | 1.82                   |
| 26.9                                    | 2.13                              | 31.54                             | 357                              | 0.63%                | 2.95%              | 1.91%                   | 0.08                | 0.39              | 1.06                | 4.94              | 0.44                  | 1.75                   |
| 26.8                                    | 2.12                              | 31.54                             | 357                              | 0.63%                | 2.95%              | 1.91%                   | 0.08                | 0.39              | 1.06                | 4.97              | 0.47                  | 1.87                   |
| 23.0                                    | 1.83                              | 10.56                             | 357                              | 0.59%                | 1.17%              | 0.76%                   | 0.09                | 0.18              | 1.15                | 2.29              | 0.72                  | 2.86                   |
| 26.5                                    | 2.10                              | 10.56                             | 357                              | 0.59%                | 1.17%              | 0.76%                   | 0.08                | 0.16              | 1.00                | 1.99              | 0.65                  | 2.60                   |
| 26.8                                    | 2.12                              | 10.56                             | 357                              | 0.59%                | 1.17%              | 0.76%                   | 0.08                | 0.16              | 0.99                | 1.97              | 0.69                  | 2.76                   |
| 22.6                                    | 1.79                              | 11.78                             | 357                              | 0.65%                | 1.31%              | 0.85%                   | 0.10                | 0.21              | 1.30                | 2.61              | 0.73                  | 2.91                   |
| 27.3                                    | 2.16                              | 11.78                             | 357                              | 0.65%                | 1.31%              | 0.85%                   | 0.09                | 0.17              | 1.08                | 2.17              | 0.69                  | 2.75                   |
| 26.2                                    | 2.07                              | 11.78                             | 357                              | 0.65%                | 1.31%              | 0.85%                   | 0.09                | 0.18              | 1.13                | 2.25              | 0.69                  | 2.76                   |
| 22.6                                    | 1.79                              | 9.42                              | 357                              | 0.52%                | 1.05%              | 0.68%                   | 0.10                | 0.17              | 1.04                | 2.09              | 0.75                  | 3.01                   |
| 26.5                                    | 2.10                              | 9.42                              | 357                              | 0.52%                | 1.05%              | 0.68%                   | 0.07                | 0.14              | 0.89                | 1.78              | 0.71                  | 2.86                   |
| 26.2                                    | 2.07                              | 9.42                              | 357                              | 0.52%                | 1.05%              | 0.68%                   | 0.07                | 0.14              | 0.90                | 1.80              | 0.71                  | 2.85                   |
| 23.0                                    | 1.83                              | 9.05                              | 357                              | 0.50%                | 1.01%              | 0.65%                   | 0.08                | 0.16              | 0.98                | 1.96              | 0.89                  | 3.56                   |
| 27.3                                    | 2.16                              | 9.05                              | 357                              | 0.50%                | 1.01%              | 0.65%                   | 0.07                | 0.13              | 0.83                | 1.66              | 0.74                  | 2.96                   |
| 26.8                                    | 2.12                              | 9.05                              | 357                              | 0.50%                | 1.01%              | 0.65%                   | 0.07                | 0.13              | 0.84                | 1.69              | 0.70                  | 2.81                   |
| 28.2                                    | 2.22                              | 10.56                             | 494                              | 0.59%                | 1.17%              | 1.05%                   | 0.10                | 0.21              | 1.30                | 2.60              | 0.73                  | 2.91                   |
| 25.9                                    | 2.06                              | 10.56                             | 494                              | 0.59%                | 1.17%              | 1.05%                   | 0.11                | 0.22              | 1.41                | 2.82              | 0.78                  | 3.11                   |
| 25.8                                    | 2.05                              | 10.56                             | 494                              | 0.59%                | 1.17%              | 1.05%                   | 0.11                | 0.22              | 1.41                | 2.83              | 0.73                  | 2.92                   |
| 28.2                                    | 2.22                              | 11.78                             | 472                              | 0.65%                | 1.31%              | 1.12%                   | 0.11                | 0.22              | 1.39                | 2.78              | 0.72                  | 2.86                   |
| 25.9                                    | 2.06                              | 11.78                             | 472                              | 0.65%                | 1.31%              | 1.12%                   | 0.12                | 0.24              | 1.50                | 3.01              | 0.71                  | 2.86                   |
| 25.8                                    | 2.05                              | 11.78                             | 472                              | 0.65%                | 1.31%              | 1.12%                   | 0.12                | 0.24              | 1.51                | 3.02              | 0.69                  | 2.78                   |
| 28.2                                    | 2.22                              | 9.42                              | 472                              | 0.52%                | 1.05%              | 0.90%                   | 0.09                | 0.18              | 1.11                | 2.22              | 0.73                  | 2.94                   |
| 25.9                                    | 2.06                              | 9.42                              | 472                              | 0.52%                | 1.05%              | 0.90%                   | 0.10                | 0.19              | 1.20                | 2.41              | 0.78                  | 3.11                   |
| 25.8                                    | 2.05                              | 9.42                              | 472                              | 0.52%                | 1.05%              | 0.90%                   | 0.10                | 0.19              | 1.21                | 2.41              | 0.75                  | 3.00                   |
| 28.2                                    | 2.22                              | 10.18                             | 574                              | 0.57%                | 1.13%              | 1.18%                   | 0.12                | 0.23              | 1.46                | 2.92              | 0.80                  | 3.20                   |
| 25.9                                    | 2.06                              | 10.18                             | 574                              | 0.57%                | 1.13%              | 1.18%                   | 0.13                | 0.25              | 1.58                | 3.16              | 0.83                  | 3.33                   |
| 25.8                                    | 2.05                              | 10.18                             | 574                              | 0.57%                | 1.13%              | 1.18%                   | 0.13                | 0.25              | 1.58                | 3.17              | 0.81                  | 3.26                   |
| 26.7                                    | 2.11                              | 14.89                             | 506                              | 0.83%                | 0.83%              | 0.76%                   | 0.16                | 0.16              | 1.98                | 1.98              | 0.72                  | 2.87                   |
| 32.0                                    | 2.50                              | 14.89                             | 506                              | 0.83%                | 0.83%              | 0.76%                   | 0.13                | 0.13              | 1.68                | 1.68              | 0.58                  | 2.33                   |
| 32.2                                    | 2.51                              | 14.89                             | 506                              | 0.83%                | 0.83%              | 0.76%                   | 0.13                | 0.13              | 1.66                | 1.66              | 0.63                  | 2.52                   |
| 26.7                                    | 2.11                              | 23.26                             | 515                              | 1.29%                | 1.29%              | 1.21%                   | 0.25                | 0.25              | 3.15                | 3.15              | 0.81                  | 3.25                   |
| 32.0                                    | 2.50                              | 23.26                             | 515                              | 1.29%                | 1.29%              | 1.21%                   | 0.21                | 0.21              | 2.67                | 2.67              | 0.78                  | 3.10                   |
| 32.2                                    | 2.51                              | 23.26                             | 515                              | 1.29%                | 1.29%              | 1.21%                   | 0.21                | 0.21              | 2.65                | 2.65              | 0.76                  | 3.03                   |
| 26.7                                    | 2.11                              | 33.50                             | 535                              | 1.86%                | 1.86%              | 1.81%                   | 0.37                | 0.37              | 4.72                | 4.72              | 1.05                  | 4.20                   |
| 32.0                                    | 2.50                              | 33.50                             | 535                              | 1.86%                | 1.86%              | 1.81%                   | 0.31                | 0.31              | 3.99                | 3.99              | 0.88                  | 3.53                   |
| 32.2                                    | 2.51                              | 33.50                             | 535                              | 1.86%                | 1.86%              | 1.81%                   | 0.31                | 0.31              | 3.96                | 3.96              | 0.85                  | 3.41                   |
| 26.7                                    | 2.11                              | 45.59                             | 480                              | 2.53%                | 2.53%              | 2.21%                   | 0.46                | 0.46              | 5.76                | 5.76              | 1.10                  | 4.40                   |
| 32.0                                    | 2.50                              | 45.59                             | 480                              | 2.53%                | 2.53%              | 2.21%                   | 0.38                | 0.38              | 4.87                | 4.87              | 0.85                  | 3.39                   |
| 32.2                                    | 2.51                              | 45.59                             | 480                              | 2.53%                | 2.53%              | 2.21%                   | 0.38                | 0.38              | 4.84                | 4.84              | 0.92                  | 3.72                   |
| 31.5                                    | 2.46                              | 14.89                             | 506                              | 0.83%                | 0.83%              | 0.76%                   | 0.13                | 0.13              | 1.70                | 1.70              | 0.44                  | 3.99                   |

# Anhang B

| 1    | 2             | 3                | 4           | 5                       | 6                          |                     |        | 9    | 10    |   | 12   | 13       | 14                          | 15 |              |                       |
|------|---------------|------------------|-------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|--------|------|-------|---|------|----------|-----------------------------|----|--------------|-----------------------|
|      |               |                  |             |                         | b <sub>1</sub> bzw. d [mm] | b <sub>2</sub> [mm] | h [mm] |      | λ     | Lasplattenabmessungen                       |      |          |                             |    | Fall der FTB |                       |
|      |               |                  |             |                         |                            |                     |        |      |       | b <sub>1,0</sub> bzw. d <sub>1,0</sub> [mm] |      |          |                             |    |              | b <sub>1,0</sub> [mm] |
| Nr.  | Author        | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper Bezeichnung |                            |                     |        |      |       | Laszkonzentration                           |      |          | Exzentrizität der Lasplatte |    |              |                       |
| 981  | WURM/DASCHNER | [Wur-1977]       | Tab. 3+5    | 122                     | 300,0                      | 300,0               | 600,0  | 2,00 | 100,0 | 100,0                                       | 9,00 | räumlich | 0,0                         |    |              |                       |
| 982  |               |                  | Tab. 3+5    | 126                     | 300,0                      | 300,0               | 600,0  | 2,00 | 100,0 | 100,0                                       | 9,00 | räumlich | 0,0                         |    |              |                       |
| 983  |               |                  | Tab. 3+5    | 130                     | 300,0                      | 300,0               | 600,0  | 2,00 | 100,0 | 100,0                                       | 9,00 | räumlich | 0,0                         |    |              |                       |
| 984  |               |                  | Tab. 11     | 3                       | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 985  |               |                  | Tab. 11     | 4                       | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 986  |               |                  | Tab. 11     | 5                       | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 987  |               |                  | Tab. 11     | 6                       | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 988  |               |                  | Tab. 11     | 7                       | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 989  |               |                  | Tab. 11     | 8                       | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 990  |               |                  | Tab. 11     | 9                       | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 991  |               |                  | Tab. 11     | 10                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 992  |               |                  | Tab. 11     | 11                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 5,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 993  |               |                  | Tab. 11     | 12                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 994  |               |                  | Tab. 11     | 13                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 995  |               |                  | Tab. 11     | 14                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 996  |               |                  | Tab. 11     | 15                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 997  |               |                  | Tab. 11     | 16                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 998  |               |                  | Tab. 11     | 17                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 999  |               |                  | Tab. 11     | 18                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1000 |               |                  | Tab. 11     | 19                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1001 |               |                  | Tab. 11     | 20                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1002 |               |                  | Tab. 11     | 21                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1003 |               |                  | Tab. 11     | 22                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1004 |               |                  | Tab. 11     | 23                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1005 |               |                  | Tab. 11     | 24                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 5,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1006 |               |                  | Tab. 11     | 25                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1007 |               |                  | Tab. 11     | 26                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1008 |               |                  | Tab. 11     | 27                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1009 |               |                  | Tab. 11     | 28                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1010 |               |                  | Tab. 11     | 29                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1011 |               |                  | Tab. 11     | 30                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1012 |               |                  | Tab. 11     | 31                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1013 |               |                  | Tab. 11     | 32                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1014 |               |                  | Tab. 11     | 33                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1015 |               |                  | Tab. 11     | 34                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1016 |               |                  | Tab. 11     | 35                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1017 |               |                  | Tab. 11     | 36                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1018 |               |                  | Tab. 11     | 37                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1019 |               |                  | Tab. 11     | 38                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1020 |               |                  | Tab. 11     | 39                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1021 |               |                  | Tab. 11     | 40                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1022 |               |                  | Tab. 11     | 41                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1023 |               |                  | Tab. 11     | 42                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1024 |               |                  | Tab. 11     | 43                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1025 |               |                  | Tab. 11     | 44                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1026 |               |                  | Tab. 11     | 45                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1027 |               |                  | Tab. 11     | 46                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1028 |               |                  | Tab. 11     | 47                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1029 |               |                  | Tab. 11     | 48                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1030 |               |                  | Tab. 11     | 49                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1031 |               |                  | Tab. 11     | 50                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1032 |               |                  | Tab. 11     | 51                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1033 |               |                  | Tab. 11     | 52                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1034 |               |                  | Tab. 11     | 53                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1035 |               |                  | Tab. 11     | 54                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1036 |               |                  | Tab. 11     | 55                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1037 |               |                  | Tab. 11     | 56                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1038 |               |                  | Tab. 11     | 58                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1039 |               |                  | Tab. 11     | 59                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1040 |               |                  | Tab. 11     | 60                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1041 |               |                  | Tab. 11     | 61                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1042 |               |                  | Tab. 11     | 62                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 44,4  | 120,0                                       | 9,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1043 |               |                  | Tab. 11     | 63                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 200,0 | 120,0                                       | 2,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1044 |               |                  | Tab. 11     | 64                      | 400,0                      | 120,0               | 800,0  | 2,00 | 100,0 | 120,0                                       | 4,00 | eben     | 0,0                         |    |              |                       |
| 1045 |               |                  | Tab. A40    | 1                       | 150,0                      | 150,0               | 25,0   | 0,17 | 76,0  | 75,0  | 3,95 | räumlich | 0,0                         |    |              |                       |
| 1046 |               |                  | Tab. A40    | 2                       | 150,0                      | 150,0               | 50,0   | 0,33 | 76,0  | 75,0  | 3,95 | räumlich | 0,0                         |    |              |                       |
| 1047 |               |                  | Tab. A40    | 3                       | 150,0                      | 150,0               | 75,0   | 0,50 | 76,0  | 75,0  | 3,95 | räumlich | 0,0                         |    |              |                       |
| 1048 |               |                  | Tab. A40    | 4                       | 150,0                      | 150,0               | 90,0   | 0,60 | 76,0  | 75,0  | 3,95 | räumlich | 0,0                         |    |              |                       |
| 1049 |               |                  | Tab. A40    | 5                       | 150,0                      | 150,0               | 120,0  | 0,80 | 76,0  | 75,0  | 3,95 | räumlich | 0,0                         |    |              |                       |
| 1050 |               |                  | Tab. A40    | 6                       | 152,4                      | 152,4               | 152,4  | 1,00 | 76,0  | 75,0  | 4,05 | räumlich | 0,0                         |    |              |                       |

| 16                                       | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                     | 28                     |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                     | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung  | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,geo,ges}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,ges}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\omega$             | $\omega_{ld}$      | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{per} / f_{ct,ges}$ | $q_{br} / f_{ct,ges}$  |
| 31.5                                     | 2.46                              | 23.26                             | 515                              | 1.29%                | 1.29%              | 1.21%                   | 0.21                 | 0.21               | 2.70                 | 2.70               | 0.54                   | 4.83                   |
| 31.5                                     | 2.46                              | 33.50                             | 535                              | 1.86%                | 1.86%              | 1.81%                   | 0.32                 | 0.32               | 4.05                 | 4.05               | 0.59                   | 5.36                   |
| 31.5                                     | 2.46                              | 45.59                             | 480                              | 2.53%                | 2.53%              | 2.21%                   | 0.39                 | 0.39               | 4.94                 | 4.94               | 0.63                   | 5.64                   |
| 20.8                                     | 2.11                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.50                   | 1.01                   |
| 20.8                                     | 2.11                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.47                   | 0.93                   |
| 21.3                                     | 2.06                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.34                   | 1.37                   |
| 21.3                                     | 2.06                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.34                   | 1.37                   |
| 21.3                                     | 2.06                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.23                   | 2.05                   |
| 21.3                                     | 2.06                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.21                   | 1.93                   |
| 20.5                                     | 2.39                              | 1.70                              | 546                              | 0.05%                | 0.35%              | 0.35%                   | 0.01                 | 0.09               | 0.12                 | 0.81               | 0.60                   | 1.20                   |
| 20.5                                     | 2.39                              | 1.70                              | 546                              | 0.05%                | 0.35%              | 0.35%                   | 0.01                 | 0.09               | 0.12                 | 0.81               | 0.57                   | 1.15                   |
| 20.5                                     | 2.39                              | 1.70                              | 546                              | 0.05%                | 0.35%              | 0.35%                   | 0.01                 | 0.09               | 0.12                 | 0.81               | 0.40                   | 1.58                   |
| 20.4                                     | 2.22                              | 1.70                              | 546                              | 0.05%                | 0.35%              | 0.35%                   | 0.01                 | 0.09               | 0.13                 | 0.87               | 0.38                   | 1.53                   |
| 20.5                                     | 2.39                              | 1.13                              | 546                              | 0.04%                | 0.24%              | 0.23%                   | 0.01                 | 0.06               | 0.08                 | 0.54               | 0.26                   | 2.30                   |
| 20.4                                     | 2.22                              | 1.13                              | 546                              | 0.04%                | 0.24%              | 0.23%                   | 0.01                 | 0.06               | 0.09                 | 0.58               | 0.26                   | 2.32                   |
| 35.6                                     | 2.94                              | 2.14                              | 546                              | 0.07%                | 0.45%              | 0.44%                   | 0.01                 | 0.07               | 0.12                 | 0.83               | 0.58                   | 1.17                   |
| 35.6                                     | 2.94                              | 2.14                              | 546                              | 0.07%                | 0.45%              | 0.44%                   | 0.01                 | 0.07               | 0.12                 | 0.83               | 0.58                   | 1.17                   |
| 35.6                                     | 2.94                              | 2.58                              | 546                              | 0.08%                | 0.54%              | 0.53%                   | 0.01                 | 0.08               | 0.15                 | 1.00               | 0.39                   | 1.55                   |
| 36.4                                     | 3.04                              | 2.58                              | 546                              | 0.08%                | 0.54%              | 0.53%                   | 0.01                 | 0.08               | 0.15                 | 0.97               | 0.39                   | 1.58                   |
| 35.6                                     | 2.94                              | 2.14                              | 546                              | 0.07%                | 0.45%              | 0.44%                   | 0.01                 | 0.07               | 0.12                 | 0.83               | 0.26                   | 2.35                   |
| 36.4                                     | 3.04                              | 2.14                              | 546                              | 0.07%                | 0.45%              | 0.44%                   | 0.01                 | 0.07               | 0.12                 | 0.80               | 0.25                   | 2.22                   |
| 20.9                                     | 2.15                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.40               | 0.58                 | 3.87               | 0.66                   | 1.33                   |
| 20.9                                     | 2.15                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.40               | 0.58                 | 3.87               | 0.63                   | 1.25                   |
| 20.0                                     | 2.18                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.42               | 0.57                 | 3.82               | 0.45                   | 1.80                   |
| 20.0                                     | 2.18                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.42               | 0.57                 | 3.82               | 0.43                   | 1.71                   |
| 20.9                                     | 2.15                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.40               | 0.58                 | 3.87               | 0.29                   | 2.59                   |
| 20.9                                     | 2.15                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.40               | 0.58                 | 3.87               | 0.29                   | 2.58                   |
| 21.4                                     | 2.31                              | 4.15                              | 397                              | 0.13%                | 0.86%              | 0.62%                   | 0.02                 | 0.16               | 0.22                 | 1.48               | 0.66                   | 1.32                   |
| 20.1                                     | 1.95                              | 6.09                              | 397                              | 0.19%                | 1.27%              | 0.92%                   | 0.04                 | 0.25               | 0.39                 | 2.58               | 0.70                   | 1.41                   |
| 21.4                                     | 2.31                              | 4.15                              | 397                              | 0.13%                | 0.86%              | 0.62%                   | 0.02                 | 0.16               | 0.22                 | 1.48               | 0.41                   | 1.66                   |
| 20.1                                     | 1.95                              | 6.09                              | 397                              | 0.19%                | 1.27%              | 0.92%                   | 0.04                 | 0.25               | 0.39                 | 2.58               | 0.45                   | 1.79                   |
| 21.4                                     | 2.31                              | 4.15                              | 397                              | 0.13%                | 0.86%              | 0.62%                   | 0.02                 | 0.16               | 0.22                 | 1.48               | 0.29                   | 2.61                   |
| 20.1                                     | 1.95                              | 6.09                              | 397                              | 0.19%                | 1.27%              | 0.92%                   | 0.04                 | 0.25               | 0.39                 | 2.58               | 0.31                   | 2.79                   |
| 35.9                                     | 2.68                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.03                 | 0.23               | 0.47                 | 3.10               | 0.67                   | 1.33                   |
| 35.9                                     | 2.68                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.03                 | 0.23               | 0.47                 | 3.10               | 0.69                   | 1.38                   |
| 35.9                                     | 2.68                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.03                 | 0.23               | 0.47                 | 3.10               | 0.43                   | 1.73                   |
| 36.4                                     | 3.04                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.03                 | 0.23               | 0.41                 | 2.74               | 0.41                   | 1.63                   |
| 35.9                                     | 2.68                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.03                 | 0.23               | 0.47                 | 3.10               | 0.28                   | 2.55                   |
| 36.4                                     | 3.83                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.03                 | 0.23               | 0.33                 | 2.17               | 0.28                   | 2.56                   |
| 36.5                                     | 2.98                              | 4.15                              | 397                              | 0.13%                | 0.86%              | 0.62%                   | 0.01                 | 0.09               | 0.17                 | 1.15               | 0.63                   | 1.26                   |
| 35.4                                     | 3.13                              | 6.09                              | 397                              | 0.19%                | 1.27%              | 0.92%                   | 0.02                 | 0.14               | 0.24                 | 1.61               | 0.67                   | 1.34                   |
| 36.5                                     | 2.98                              | 4.15                              | 397                              | 0.13%                | 0.86%              | 0.62%                   | 0.01                 | 0.09               | 0.17                 | 1.15               | 0.40                   | 1.60                   |
| 35.4                                     | 3.13                              | 6.09                              | 397                              | 0.19%                | 1.27%              | 0.92%                   | 0.02                 | 0.14               | 0.24                 | 1.61               | 0.41                   | 1.64                   |
| 36.5                                     | 2.98                              | 4.15                              | 397                              | 0.13%                | 0.86%              | 0.62%                   | 0.01                 | 0.09               | 0.17                 | 1.15               | 0.28                   | 2.51                   |
| 35.4                                     | 3.13                              | 6.09                              | 397                              | 0.19%                | 1.27%              | 0.92%                   | 0.02                 | 0.14               | 0.24                 | 1.61               | 0.28                   | 2.48                   |
| 20.0                                     | 2.18                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.42               | 0.57                 | 3.82               | 0.44                   | 1.75                   |
| 20.0                                     | 2.18                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.42               | 0.57                 | 3.82               | 0.45                   | 1.79                   |
| 20.3                                     | 1.99                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.41               | 0.63                 | 4.17               | 0.42                   | 1.70                   |
| 20.3                                     | 1.99                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.41               | 0.63                 | 4.17               | 0.43                   | 1.72                   |
| 20.3                                     | 1.99                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.41               | 0.63                 | 4.17               | 0.43                   | 1.71                   |
| 20.3                                     | 1.99                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.41               | 0.63                 | 4.17               | 0.44                   | 1.76                   |
| 20.4                                     | 2.22                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.41               | 0.56                 | 3.74               | 0.44                   | 1.77                   |
| 20.6                                     | 1.98                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.40               | 0.63                 | 4.21               | 0.42                   | 1.68                   |
| 20.4                                     | 2.22                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.41               | 0.56                 | 3.74               | 0.45                   | 1.91                   |
| 20.6                                     | 1.98                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.40               | 0.63                 | 4.21               | 0.47                   | 1.89                   |
| 20.6                                     | 1.98                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.40               | 0.63                 | 4.21               | 0.40                   | 1.61                   |
| 20.6                                     | 1.98                              | 9.05                              | 442                              | 0.28%                | 1.89%              | 1.51%                   | 0.06                 | 0.40               | 0.63                 | 4.21               | 0.40                   | 1.61                   |
| 37.1                                     | 2.82                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.50                   | 1.01                   |
| 37.1                                     | 2.82                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.31                   | 1.24                   |
| 37.1                                     | 2.82                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.20                   | 1.82                   |
| 21.4                                     | 2.31                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.48                   | 0.97                   |
| 20.1                                     | 1.95                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.24                   | 2.17                   |
| 36.5                                     | 2.98                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.44                   | 0.88                   |
| 35.4                                     | 2.96                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.31                   | 1.25                   |
| 23.5                                     | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                   | 5.31                   |
| 27.6                                     | 3.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                   | 2.57                   |
| 23.5                                     | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                   | 2.87                   |
| 29.8                                     | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                   | 2.01                   |
| 22.2                                     | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                   | 2.54                   |
| 26.7                                     | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                   | 2.13                   |

# Anhang B

| 1    | 2     | 3                | 4           | 5                          | 6                          | 7          | 8        | 9         | 10                               | 11             | 12                               | 13                                     | 14              | 15   |
|------|-------|------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|------------|----------|-----------|----------------------------------|----------------|----------------------------------|--|-----------------|--|
| Nr.  | Autor | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper<br>Bezeichnung | Prüfkörperab-<br>messungen |            |          | $\lambda$ | Lasplattenab-<br>messungen       |                |                                  | Lastkonzentration<br>$A_{s1} / A_{s0}$ | Fall der<br>TFB | Exzentrität<br>der Lasplatte<br>$e_{p,x} [mm]$<br>$e_{p,y} [mm]$ |
|      |       |                  |             |                            | $b_p$ bzw.<br>$d [mm]$     | $b_y [mm]$ | $h [mm]$ |           | $b_{p,x}$ bzw.<br>$d_{p,x} [mm]$ | $b_{p,y} [mm]$ | $e_{p,x} [mm]$<br>$e_{p,y} [mm]$ |  |                 |  |
| 1051 |       |                  | Tab. A40    | 7                          | 150,0                      | 150,0      | 217,0    | 1,45      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1052 |       |                  | Tab. A40    | 8                          | 150,0                      | 150,0      | 300,0    | 2,00      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1053 |       |                  | Tab. A40    | 9                          | 150,0                      | 150,0      | 350,0    | 2,33      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1054 |       |                  | Tab. A40    | 10                         | 150,0                      | 150,0      | 400,0    | 2,67      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1055 |       |                  | Tab. A40    | 11                         | 150,0                      | 150,0      | 25,0     | 0,17      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1056 |       |                  | Tab. A40    | 12                         | 150,0                      | 150,0      | 38,0     | 0,25      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1057 |       |                  | Tab. A40    | 13                         | 150,0                      | 150,0      | 50,0     | 0,33      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1058 |       |                  | Tab. A40    | 14                         | 150,0                      | 150,0      | 63,0     | 0,42      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1059 |       |                  | Tab. A40    | 15                         | 150,0                      | 150,0      | 75,0     | 0,50      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1060 |       |                  | Tab. A40    | 16                         | 150,0                      | 150,0      | 90,0     | 0,60      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1061 |       |                  | Tab. A40    | 17                         | 150,0                      | 150,0      | 120,0    | 0,80      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1062 |       |                  | Tab. A40    | 18                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 76,0                             | 75,0           | 4,07                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1063 |       |                  | Tab. A40    | 19                         | 150,0                      | 150,0      | 217,0    | 1,45      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1064 |       |                  | Tab. A40    | 20                         | 150,0                      | 150,0      | 300,0    | 2,00      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1065 |       |                  | Tab. A40    | 21                         | 150,0                      | 150,0      | 350,0    | 2,33      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1066 |       |                  | Tab. A40    | 22                         | 150,0                      | 150,0      | 400,0    | 2,67      | 76,0                             | 75,0           | 3,95                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1067 |       |                  | Tab. A41    | 1                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6    | 1,00      | 10,0                             | 10,0           | 103,23                           | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1068 |       |                  | Tab. A41    | 2                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6    | 1,00      | 20,0                             | 20,0           | 25,81                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1069 |       |                  | Tab. A41    | 3                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6    | 1,00      | 25,4                             | 25,4           | 16,00                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1070 |       |                  | Tab. A41    | 4                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6    | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 10,08                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1071 |       |                  | Tab. A41    | 5                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6    | 1,00      | 50,8                             | 50,8           | 4,00                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1072 |       |                  | Tab. A41    | 6                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6    | 1,00      | 75,0                             | 75,0           | 1,84                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1073 |       |                  | Tab. A41    | 7                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6    | 1,00      | 92,0                             | 92,0           | 1,22                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1074 |       |                  | Tab. A41    | 11                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 22,68                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1075 |       |                  | Tab. A41    | 12                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 75,0                             | 75,0           | 4,13                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1076 |       |                  | Tab. A41    | 13                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 120,0                            | 120,0          | 1,61                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1077 |       |                  | Tab. A41    | 14                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 20,0                             | 20,0           | 58,06                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1078 |       |                  | Tab. A41    | 15                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 22,68                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1079 |       |                  | Tab. A41    | 16                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 75,0                             | 75,0           | 4,13                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1080 |       |                  | Tab. A41    | 17                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 120,0                            | 120,0          | 1,61                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1081 |       |                  | Tab. A41    | 18                         | 150,0                      | 150,0      | 350,0    | 2,33      | 75,0                             | 75,0           | 4,00                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1082 |       |                  | Tab. A41    | 19                         | 150,0                      | 150,0      | 350,0    | 2,33      | 75,0                             | 75,0           | 4,00                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1083 |       |                  | Tab. A41    | 20                         | 101,6                      | 101,6      | 101,6    | 1,00      | 50,0                             | 25,0           | 8,26                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1084 |       |                  | Tab. A41    | 21                         | 101,6                      | 101,6      | 101,6    | 1,00      | 50,0                             | 25,0           | 8,26                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1085 |       |                  | Tab. A41    | 22                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 10,0           | 15,24                            | eben                                   | 0               | 0  |
| 1086 |       |                  | Tab. A41    | 23                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 25,0           | 6,10                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1087 |       |                  | Tab. A41    | 24                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 31,0           | 4,92                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1088 |       |                  | Tab. A41    | 25                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 50,0           | 3,05                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1089 |       |                  | Tab. A41    | 26                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 75,0           | 2,03                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1090 |       |                  | Tab. A41    | 27                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 93,0           | 1,64                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1091 |       |                  | Tab. A41    | 28                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 118,0          | 1,29                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1092 |       |                  | Tab. A41    | 29                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 10,0           | 15,24                            | eben                                   | 0               | 0  |
| 1093 |       |                  | Tab. A41    | 30                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 25,0           | 6,10                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1094 |       |                  | Tab. A41    | 31                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 31,0           | 4,92                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1095 |       |                  | Tab. A41    | 32                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 50,0           | 3,05                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1096 |       |                  | Tab. A41    | 33                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 75,0           | 2,03                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1097 |       |                  | Tab. A41    | 34                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 93,0           | 1,64                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1098 |       |                  | Tab. A41    | 35                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 152,4                            | 118,0          | 1,29                             | eben                                   | 0               | 0  |
| 1099 |       |                  | Tab. A41    | 36                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 120,0                            | 25,0           | 7,74                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1100 |       |                  | Tab. A41    | 37                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 92,0                             | 25,0           | 10,10                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1101 |       |                  | Tab. A41    | 38                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 75,0                             | 25,0           | 12,39                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1102 |       |                  | Tab. A41    | 39                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 63,0                             | 25,0           | 14,75                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1103 |       |                  | Tab. A41    | 40                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 50,0                             | 25,0           | 18,58                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1104 |       |                  | Tab. A41    | 41                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 37,0                             | 25,0           | 25,11                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1105 |       |                  | Tab. A41    | 42                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 120,0                            | 25,0           | 7,74                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1106 |       |                  | Tab. A41    | 43                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 92,0                             | 25,0           | 10,10                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1107 |       |                  | Tab. A41    | 44                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 75,0                             | 25,0           | 12,39                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1108 |       |                  | Tab. A41    | 45                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 63,0                             | 25,0           | 14,75                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1109 |       |                  | Tab. A41    | 46                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 50,0                             | 25,0           | 18,58                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1110 |       |                  | Tab. A41    | 47                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 37,0                             | 25,0           | 25,11                            | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1111 |       |                  | Tab. A41    | 48                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 120,0                            | 50,0           | 3,87                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1112 |       |                  | Tab. A41    | 49                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 91,0                             | 50,0           | 5,10                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1113 |       |                  | Tab. A41    | 50                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 75,0                             | 50,0           | 6,19                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1114 |       |                  | Tab. A41    | 51                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 62,0                             | 50,0           | 7,49                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1115 |       |                  | Tab. A41    | 52                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 120,0                            | 50,0           | 3,87                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1116 |       |                  | Tab. A41    | 53                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 91,0                             | 50,0           | 5,10                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1117 |       |                  | Tab. A41    | 54                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 75,0                             | 50,0           | 6,19                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1118 |       |                  | Tab. A41    | 55                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 62,0                             | 50,0           | 7,49                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1119 |       |                  | Tab. A41    | 56                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4    | 1,00      | 75,0                             | 75,0           | 4,13                             | räumlich                               | 0               | 0  |
| 1120 |       |                  | Tab. A41    | 57                         | 150,0                      | 150,0      | 350,0    | 2,33      | 150,0                            | 31,0           | 4,84                             | eben                                   | 0               | 0  |

WILLIAMS

[Wil-1979]

| 16                                     | 17                                | 18                                  | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                   | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.              | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,ges}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,1,ges}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{ym}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,sp}$  | $q_{br} / f_{ct,sp}$   |
| 26,6                                   | 3,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,74                   |
| 28,2                                   | 3,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,78                   |
| 27,4                                   | 3,30                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,37                   |
| 25,8                                   | 2,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,79                   |
| 56,5                                   | 5,30                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,90                   |
| 63,1                                   | 4,70                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,85                   |
| 55,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,46                   |
| 55,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,77                   |
| 56,5                                   | 5,30                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,58                   |
| 56,5                                   | 5,30                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,75                   |
| 54,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,89                   |
| 56,7                                   | 5,10                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,97                   |
| 55,4                                   | 4,80                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,67                   |
| 59,3                                   | 5,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,39                   |
| 54,2                                   | 4,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,55                   |
| 52,9                                   | 5,10                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,57                   |
| 27,8                                   | 2,80                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 9,95                   |
| 26,6                                   | 3,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 4,86                   |
| 42,6                                   | 3,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,40                   |
| 27,8                                   | 2,80                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,32                   |
| 26,6                                   | 3,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,78                   |
| 26,6                                   | 3,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,51                   |
| 27,8                                   | 2,80                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,45                   |
| 24,2                                   | 3,00                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 5,24                   |
| 26,7                                   | 3,20                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,13                   |
| 24,2                                   | 3,00                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,55                   |
| 56,7                                   | 5,10                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 6,65                   |
| 63,1                                   | 4,70                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,98                   |
| 56,7                                   | 5,10                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,97                   |
| 56,7                                   | 5,10                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,42                   |
| 27,4                                   | 3,30                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,37                   |
| 54,2                                   | 4,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,55                   |
| 24,8                                   | 3,20                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,06                   |
| 55,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,78                   |
| 28,2                                   | 3,20                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,69                   |
| 29,8                                   | 3,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,42                   |
| 28,2                                   | 3,20                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,17                   |
| 29,8                                   | 3,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,70                   |
| 28,2                                   | 3,20                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,55                   |
| 29,8                                   | 3,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,41                   |
| 29,8                                   | 3,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,34                   |
| 55,4                                   | 4,80                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,07                   |
| 54,6                                   | 4,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,29                   |
| 54,6                                   | 4,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,01                   |
| 55,4                                   | 4,80                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,67                   |
| 54,6                                   | 4,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,48                   |
| 55,4                                   | 4,80                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,32                   |
| 55,4                                   | 4,80                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,37                   |
| 29,5                                   | 3,00                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,86                   |
| 28,2                                   | 3,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,34                   |
| 29,5                                   | 3,00                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,42                   |
| 28,2                                   | 3,40                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,91                   |
| 29,5                                   | 3,00                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 4,54                   |
| 29,0                                   | 2,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 5,32                   |
| 54,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,59                   |
| 54,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,92                   |
| 55,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,49                   |
| 54,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,47                   |
| 55,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,58                   |
| 54,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 4,58                   |
| 29,0                                   | 2,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,96                   |
| 29,0                                   | 2,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,22                   |
| 27,5                                   | 2,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,60                   |
| 29,0                                   | 2,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,75                   |
| 56,5                                   | 5,30                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,93                   |
| 55,4                                   | 4,60                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,26                   |
| 54,2                                   | 4,90                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,44                   |
| 56,5                                   | 5,30                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,62                   |
| 29,2                                   | 3,50                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,97                   |
| 28,2                                   | 3,20                              | 0,00                                | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,43                   |

# Anhang B

| 1    | 2     | 3                | 4           | 5                           | 6                             | 7                          | 8                   | 9      | 10    | 11   | 12                    | 13   | 14              | 15  |                       |
|------|-------|------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------|--------|-------|--|-----------------------|--|-----------------|---|-----------------------|
| Nr.  | Autor | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper-<br>Bezeichnung | b <sub>1</sub> bzw.<br>d [mm] | Prüfkörperab-<br>messungen |                     |        | λ     | Lasplattenab-<br>messungen                     |                       | Lastkonzentration<br>A <sub>31</sub> / A <sub>30</sub> | Fall der<br>TFB | Exzentrität<br>der Lasplatte<br>e <sub>1,2</sub> [mm] | e <sub>1,2</sub> [mm] |
|      |       |                  |             |                             |                               | b <sub>2</sub> [mm]        | b <sub>3</sub> [mm] | h [mm] |       | b <sub>1,2</sub> bzw.<br>d <sub>1,2</sub> [mm] | b <sub>1,3</sub> [mm] |  |                 |   |                       |
| 1121 |       |                  | Tab. A41    | 58                          | 150,0                         | 150,0                      | 350,0               | 2,33   | 150,0 | 75,0   | 2,00                  | eben   | 0               | 0   |                       |
| 1122 |       |                  | Tab. A41    | 59                          | 150,0                         | 150,0                      | 350,0               | 2,33   | 150,0 | 31,0   | 4,84                  | eben   | 0               | 0   |                       |
| 1123 |       |                  | Tab. A41    | 60                          | 150,0                         | 150,0                      | 350,0               | 2,33   | 150,0 | 75,0   | 2,00                  | eben   | 0               | 0   |                       |
| 1124 |       |                  | Tab. A41    | 61                          | 150,0                         | 150,0                      | 350,0               | 2,33   | 75,0  | 25,0   | 12,00                 | räumlich   | 0               | 0   |                       |
| 1125 |       |                  | Tab. A41    | 62                          | 150,0                         | 150,0                      | 350,0               | 2,33   | 50,0  | 25,0   | 18,00                 | räumlich   | 0               | 0   |                       |
| 1126 |       |                  | Tab. A41    | 63                          | 150,0                         | 150,0                      | 350,0               | 2,33   | 75,0  | 25,0   | 12,00                 | räumlich   | 0               | 0   |                       |
| 1127 |       |                  | Tab. A41    | 64                          | 150,0                         | 150,0                      | 350,0               | 2,33   | 50,0  | 25,0   | 18,00                 | räumlich   | 0               | 0   |                       |
| 1128 |       |                  | Tab. A41    | 65                          | 150,0                         | 150,0                      | 350,0               | 2,33   | 75,0  | 50,0   | 6,00                  | räumlich   | 0               | 0   |                       |
| 1129 |       |                  | Tab. A41    | 66                          | 150,0                         | 150,0                      | 350,0               | 2,33   | 75,0  | 50,0   | 6,00                  | räumlich   | 0               | 0   |                       |
| 1130 |       |                  | Tab. A42    | 1                           | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 50,0  | 25,0   | 8,26                  | räumlich   | 0               | 0   |                       |
| 1131 |       |                  | Tab. A42    | 2                           | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 50,0  | 25,0   | 8,26                  | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1132 |       |                  | Tab. A42    | 3                           | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 25,4  | 50,0   | 8,13                  | räumlich   | 0               | 26  |                       |
| 1133 |       |                  | Tab. A42    | 4                           | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 50,0  | 25,0   | 8,26                  | räumlich   | 26              | 39  |                       |
| 1134 |       |                  | Tab. A42    | 5                           | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 50,0  | 25,0   | 8,26                  | räumlich   | 0               | 0   |                       |
| 1135 |       |                  | Tab. A42    | 6                           | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 50,0  | 25,0   | 8,26                  | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1136 |       |                  | Tab. A42    | 7                           | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 25,4  | 50,0   | 8,13                  | räumlich   | 0               | 26  |                       |
| 1137 |       |                  | Tab. A42    | 8                           | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 50,0  | 25,0   | 8,26                  | räumlich   | 26              | 39  |                       |
| 1138 |       |                  | Tab. A42    | 9                           | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 25,4  | 25,4   | 16,00                 | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1139 |       |                  | Tab. A42    | 10                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 37,0  | 25,0   | 11,16                 | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1140 |       |                  | Tab. A42    | 11                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 50,0  | 25,0   | 8,26                  | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1141 |       |                  | Tab. A42    | 12                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 63,0  | 25,0   | 6,55                  | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1142 |       |                  | Tab. A42    | 13                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 75,0  | 25,0   | 5,51                  | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1143 |       |                  | Tab. A42    | 14                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 92,0  | 25,0   | 4,49                  | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1144 |       |                  | Tab. A42    | 15                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 101,6 | 25,0   | 4,06                  | eben   | 0               | 39  |                       |
| 1145 |       |                  | Tab. A42    | 16                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 12,0  | 25,0   | 34,41                 | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1146 |       |                  | Tab. A42    | 17                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 20,0  | 25,0   | 20,65                 | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1147 |       |                  | Tab. A42    | 18                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 25,4  | 25,4   | 16,00                 | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1148 |       |                  | Tab. A42    | 19                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 37,0  | 25,0   | 11,16                 | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1149 |       |                  | Tab. A42    | 20                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 50,0  | 25,0   | 8,26                  | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1150 |       |                  | Tab. A42    | 21                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 63,0  | 25,0   | 6,55                  | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1151 |       |                  | Tab. A42    | 22                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 75,0  | 25,0   | 5,51                  | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1152 |       |                  | Tab. A42    | 23                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 92,0  | 25,0   | 4,49                  | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1153 |       |                  | Tab. A42    | 24                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 101,6 | 25,0   | 4,06                  | eben   | 0               | 39  |                       |
| 1154 |       |                  | Tab. A42    | 25                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 12,0  | 25,0   | 34,41                 | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1155 |       |                  | Tab. A42    | 26                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 20,0  | 25,0   | 20,65                 | räumlich   | 0               | 39  |                       |
| 1156 |       |                  | Tab. A42    | 27                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 0   |                       |
| 1157 |       |                  | Tab. A42    | 28                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 35  |                       |
| 1158 |       |                  | Tab. A42    | 29                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 35              | 35  |                       |
| 1159 |       |                  | Tab. A42    | 30                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 0   |                       |
| 1160 |       |                  | Tab. A42    | 31                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 35  |                       |
| 1161 |       |                  | Tab. A42    | 32                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 35              | 35  |                       |
| 1162 |       |                  | Tab. A42    | 33                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 10  |                       |
| 1163 |       |                  | Tab. A42    | 34                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 20  |                       |
| 1164 |       |                  | Tab. A42    | 35                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 30  |                       |
| 1165 |       |                  | Tab. A42    | 36                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 11              | 11  |                       |
| 1166 |       |                  | Tab. A42    | 37                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 22              | 22  |                       |
| 1167 |       |                  | Tab. A42    | 38                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 32              | 32  |                       |
| 1168 |       |                  | Tab. A42    | 39                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 10  |                       |
| 1169 |       |                  | Tab. A42    | 40                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 20  |                       |
| 1170 |       |                  | Tab. A42    | 41                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 30  |                       |
| 1171 |       |                  | Tab. A42    | 42                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 11              | 11  |                       |
| 1172 |       |                  | Tab. A42    | 43                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 22              | 22  |                       |
| 1173 |       |                  | Tab. A42    | 44                          | 101,6                         | 101,6                      | 101,6               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 32              | 32  |                       |
| 1174 |       |                  | Tab. A43    | 1                           | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 10  |                       |
| 1175 |       |                  | Tab. A43    | 2                           | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 20  |                       |
| 1176 |       |                  | Tab. A43    | 3                           | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 30  |                       |
| 1177 |       |                  | Tab. A43    | 4                           | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 40  |                       |
| 1178 |       |                  | Tab. A43    | 5                           | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 50  |                       |
| 1179 |       |                  | Tab. A43    | 6                           | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 61  |                       |
| 1180 |       |                  | Tab. A43    | 7                           | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 10  |                       |
| 1181 |       |                  | Tab. A43    | 8                           | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 20  |                       |
| 1182 |       |                  | Tab. A43    | 9                           | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 30  |                       |
| 1183 |       |                  | Tab. A43    | 10                          | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 40  |                       |
| 1184 |       |                  | Tab. A43    | 11                          | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 50  |                       |
| 1185 |       |                  | Tab. A43    | 12                          | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 61  |                       |
| 1186 |       |                  | Tab. A43    | 13                          | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 0   |                       |
| 1187 |       |                  | Tab. A43    | 14                          | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 152,4 | 31,0   | 4,92                  | eben   | 0               | 0   |                       |
| 1188 |       |                  | Tab. A43    | 15                          | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 32,68                 | räumlich   | 0               | 61  |                       |
| 1189 |       |                  | Tab. A43    | 16                          | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 72,0  | 32,0   | 10,08                 | räumlich   | 0               | 61  |                       |
| 1190 |       |                  | Tab. A43    | 17                          | 152,4                         | 152,4                      | 152,4               | 1,00   | 32,0  | 32,0   | 22,68                 | räumlich   | 0               | 0   |                       |

WILLIAMS

[Wil-1979]

| 16                                      | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                    | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,geom}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Spz}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{ym}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,Spz}$ | $q_{br} / f_{ct,Spz}$  |
| 28.2                                    | 3,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,79                   |
| 54.6                                    | 4,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,30                   |
| 54.6                                    | 4,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,94                   |
| 29.5                                    | 3,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,38                   |
| 29.5                                    | 3,00                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,59                   |
| 56.7                                    | 4,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,34                   |
| 56.7                                    | 4,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,21                   |
| 27.5                                    | 2,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,84                   |
| 54.2                                    | 4,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,35                   |
| 24.8                                    | 3,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,06                   |
| 24.8                                    | 3,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,71                   |
| 24.8                                    | 3,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,33                   |
| 24.8                                    | 3,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,21                   |
| 55.4                                    | 4,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,78                   |
| 55.4                                    | 4,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,43                   |
| 55.4                                    | 4,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,20                   |
| 55.4                                    | 4,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,26                   |
| 29.4                                    | 2,32                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,99                   |
| 29.4                                    | 2,32                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,74                   |
| 24.8                                    | 3,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,71                   |
| 30.0                                    | 2,36                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,51                   |
| 29.4                                    | 2,32                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,26                   |
| 29.4                                    | 2,32                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,27                   |
| 30.0                                    | 2,36                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,07                   |
| 28.2                                    | 2,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,05                   |
| 28.2                                    | 2,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,30                   |
| 59.3                                    | 5,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,62                   |
| 59.3                                    | 5,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,45                   |
| 55.4                                    | 4,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,43                   |
| 59.3                                    | 5,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,17                   |
| 63.1                                    | 4,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,87                   |
| 63.1                                    | 4,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,80                   |
| 59.3                                    | 5,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,89                   |
| 63.1                                    | 4,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,92                   |
| 63.1                                    | 4,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,66                   |
| 22.2                                    | 3,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,45                   |
| 22.2                                    | 3,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,79                   |
| 22.2                                    | 3,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,95                   |
| 56.7                                    | 5,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,31                   |
| 56.7                                    | 5,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,99                   |
| 56.7                                    | 5,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,17                   |
| 23.5                                    | 3,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,99                   |
| 23.5                                    | 3,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,98                   |
| 23.5                                    | 3,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,13                   |
| 23.5                                    | 3,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,99                   |
| 23.5                                    | 3,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,12                   |
| 23.5                                    | 3,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,66                   |
| 55.4                                    | 4,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,98                   |
| 55.4                                    | 4,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,44                   |
| 55.4                                    | 4,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,10                   |
| 55.4                                    | 4,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,76                   |
| 54.4                                    | 4,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,99                   |
| 54.4                                    | 4,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,45                   |
| 28.2                                    | 3,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,19                   |
| 28.2                                    | 3,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,10                   |
| 27.5                                    | 2,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,81                   |
| 27.5                                    | 2,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,57                   |
| 25.8                                    | 2,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,32                   |
| 25.8                                    | 2,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,09                   |
| 59.3                                    | 5,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,75                   |
| 59.3                                    | 5,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,84                   |
| 59.3                                    | 5,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,60                   |
| 56.5                                    | 5,30                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,49                   |
| 63.1                                    | 4,70                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,05                   |
| 52.9                                    | 5,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,00                   |
| 28.2                                    | 3,20                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,17                   |
| 54.6                                    | 4,40                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,01                   |
| 25.8                                    | 2,60                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,75                   |
| 52.9                                    | 5,10                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,33                   |
| 24.3                                    | 2,90                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 5,22                   |

# Anhang B

| 1    | 2     | 3                | 4           | 5                          | 6                          | 7          | 8      | 9         | 10                               | 11             | 12              | 13                                   | 14              | 15   |
|------|-------|------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|------------|--------|-----------|----------------------------------|----------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|--|
| Nr.  | Autor | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper<br>Bezeichnung | Prüfkörperab-<br>messungen |            |        | $\lambda$ | Lasplattenab-<br>messungen       |                |                 | Lastkonzentration<br>$A_{91}/A_{90}$ | Fall der<br>TFB | Exzentrität<br>der Lasplatte<br>$e_{p,ex}$ [mm]<br>$e_{p,ex}$ [mm] |
|      |       |                  |             |                            | $b_p$ bzw.<br>d [mm]       | $b_y$ [mm] | h [mm] |           | $b_{p,1}$ bzw.<br>$d_{p,1}$ [mm] | $b_{p,2}$ [mm] | $A_{91}/A_{90}$ |                                      |                 |  |
| 1191 |       |                  | Tab. A43    | 18                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 0 10   |
| 1192 |       |                  | Tab. A43    | 19                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 0 30   |
| 1193 |       |                  | Tab. A43    | 20                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 0 40   |
| 1194 |       |                  | Tab. A43    | 21                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 0 50   |
| 1195 |       |                  | Tab. A43    | 22                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 22,68                                | räumlich        | 0 60   |
| 1196 |       |                  | Tab. A43    | 23                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 11,0           | 63,92           | räumlich                             | 0 70            |  |
| 1197 |       |                  | Tab. A43    | 24                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 10 10  |
| 1198 |       |                  | Tab. A43    | 25                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 20 20  |
| 1199 |       |                  | Tab. A43    | 26                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 30 30  |
| 1200 |       |                  | Tab. A43    | 27                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 40 40  |
| 1201 |       |                  | Tab. A43    | 28                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 50 50  |
| 1202 |       |                  | Tab. A43    | 29                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 60 60  |
| 1203 |       |                  | Tab. A43    | 30                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 21,0                             | 21,0           | 51,02           | räumlich                             | 55 55           |  |
| 1204 |       |                  | Tab. A43    | 31                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 11,0                             | 11,0           | 185,93          | räumlich                             | 70 70           |  |
| 1205 |       |                  | Tab. A43    | 32                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 35 70  |
| 1206 |       |                  | Tab. A43    | 33                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 5 20   |
| 1207 |       |                  | Tab. A43    | 34                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 15 60  |
| 1208 |       |                  | Tab. A43    | 35                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 11,0           | 63,92           | räumlich                             | 20 70           |  |
| 1209 |       |                  | Tab. A43    | 36                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 0 0  |
| 1210 |       |                  | Tab. A43    | 37                         | 150,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 32,0            | 21,97                                | räumlich        | 0 60   |
| 1211 |       |                  | Tab. A44    | 1                          | 38,1                       | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 5,58            | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1212 |       |                  | Tab. A44    | 2                          | 50,0                       | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 7,32            | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1213 |       |                  | Tab. A44    | 3                          | 58,0                       | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 8,50            | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1214 |       |                  | Tab. A44    | 4                          | 75,0                       | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 10,99           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1215 |       |                  | Tab. A44    | 5                          | 93,0                       | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 13,62           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1216 |       |                  | Tab. A44    | 6                          | 114,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 16,70           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1217 |       |                  | Tab. A44    | 7                          | 152,4                      | 152,4      | 152,4  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 22,68           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1218 |       |                  | Tab. A44    | 8                          | 217,0                      | 150,0      | 150,0  | 0,69      | 32,0                             | 32,0           | 31,79           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1219 |       |                  | Tab. A44    | 9                          | 300,0                      | 150,0      | 150,0  | 0,50      | 32,0                             | 32,0           | 43,95           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1220 |       |                  | Tab. A44    | 10                         | 36,0                       | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 5,27            | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1221 |       |                  | Tab. A44    | 11                         | 50,0                       | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 7,32            | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1222 |       |                  | Tab. A44    | 12                         | 66,0                       | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 9,67            | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1223 |       |                  | Tab. A44    | 13                         | 75,0                       | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 10,99           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1224 |       |                  | Tab. A44    | 14                         | 92,0                       | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 13,48           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1225 |       |                  | Tab. A44    | 15                         | 114,0                      | 150,0      | 150,0  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 16,70           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1226 |       |                  | Tab. A44    | 16                         | 152,4                      | 152,4      | 152,4  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 22,68           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1227 |       |                  | Tab. A44    | 17                         | 217,0                      | 150,0      | 150,0  | 0,69      | 32,0                             | 32,0           | 31,79           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1228 |       |                  | Tab. A44    | 18                         | 300,0                      | 150,0      | 150,0  | 0,50      | 32,0                             | 32,0           | 43,95           | räumlich                             | 0 61            |  |
| 1229 |       |                  | Tab. A45    | 1                          | 150,0                      | 150,0      | 25,0   | 0,17      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1230 |       |                  | Tab. A45    | 2                          | 150,0                      | 150,0      | 38,0   | 0,25      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1231 |       |                  | Tab. A45    | 3                          | 150,0                      | 150,0      | 50,0   | 0,33      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1232 |       |                  | Tab. A45    | 4                          | 150,0                      | 150,0      | 63,0   | 0,42      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1233 |       |                  | Tab. A45    | 5                          | 150,0                      | 150,0      | 75,0   | 0,50      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1234 |       |                  | Tab. A45    | 6                          | 150,0                      | 150,0      | 90,0   | 0,60      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1235 |       |                  | Tab. A45    | 7                          | 150,0                      | 150,0      | 120,0  | 0,80      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1236 |       |                  | Tab. A45    | 8                          | 152,4                      | 152,4      | 152,4  | 1,00      | 76,0                             | 75,0           | 4,07            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1237 |       |                  | Tab. A45    | 9                          | 150,0                      | 150,0      | 225,0  | 1,50      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1238 |       |                  | Tab. A45    | 10                         | 150,0                      | 150,0      | 225,0  | 1,50      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1239 |       |                  | Tab. A45    | 11                         | 150,0                      | 150,0      | 240,0  | 1,60      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1240 |       |                  | Tab. A45    | 12                         | 150,0                      | 150,0      | 300,0  | 2,00      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1241 |       |                  | Tab. A45    | 13                         | 150,0                      | 150,0      | 330,0  | 2,20      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1242 |       |                  | Tab. A45    | 14                         | 150,0                      | 150,0      | 350,0  | 2,33      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1243 |       |                  | Tab. A45    | 15                         | 150,0                      | 150,0      | 400,0  | 2,67      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1244 |       |                  | Tab. A45    | 16                         | 150,0                      | 150,0      | 475,0  | 3,17      | 76,0                             | 75,0           | 3,95            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1245 |       |                  | Tab. A46    | 1                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 10,0                             | 10,0           | 103,23          | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1246 |       |                  | Tab. A46    | 2                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 20,0                             | 20,0           | 25,81           | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1247 |       |                  | Tab. A46    | 3                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 25,4                             | 25,4           | 16,00           | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1248 |       |                  | Tab. A46    | 4                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 10,08           | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1249 |       |                  | Tab. A46    | 5                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 50,8                             | 50,8           | 4,00            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1250 |       |                  | Tab. A46    | 6                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 75,0                             | 75,0           | 1,84            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1251 |       |                  | Tab. A46    | 7                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 92,0                             | 92,0           | 1,22            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1252 |       |                  | Tab. A46    | 9                          | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 10,0                             | 10,0           | 103,23          | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1253 |       |                  | Tab. A46    | 10                         | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 20,0                             | 20,0           | 25,81           | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1254 |       |                  | Tab. A46    | 11                         | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 25,4                             | 25,4           | 16,00           | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1255 |       |                  | Tab. A46    | 12                         | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 32,0                             | 32,0           | 10,08           | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1256 |       |                  | Tab. A46    | 13                         | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 50,8                             | 50,8           | 4,00            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1257 |       |                  | Tab. A46    | 14                         | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 75,0                             | 75,0           | 1,84            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1258 |       |                  | Tab. A46    | 15                         | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 92,0                             | 92,0           | 1,22            | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1259 |       |                  | Tab. A46    | 17                         | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 10,0                             | 10,0           | 103,23          | räumlich                             | 0 0             |  |
| 1260 |       |                  | Tab. A46    | 18                         | 101,6                      | 101,6      | 101,6  | 1,00      | 20,0                             | 20,0           | 25,81           | räumlich                             | 0 0             |  |

WILLIAMS

[Wil-1979]

| 16                                     | 17                             | 18                            | 19                            | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|--|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                   | Betonzugfestigkeit             | Spaltzugbewehrung ges.        | Streckgrenze Bew.stahl        | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{cm,1,20,200}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,sp}$ [cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\omega$             | $\omega_{ld}$      | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{per}/f_{ct,sp}$   | $q_{br}/f_{ct,sp}$     |
| 26,7                                   | 3,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,98                   |
| 26,7                                   | 3,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,04                   |
| 27,2                                   | 3,30                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,28                   |
| 26,7                                   | 3,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,08                   |
| 25,8                                   | 2,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,75                   |
| 26,7                                   | 3,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,19                   |
| 23,7                                   | 2,50                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,84                   |
| 27,2                                   | 3,30                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,72                   |
| 23,7                                   | 2,50                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,77                   |
| 23,7                                   | 2,50                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,38                   |
| 23,7                                   | 2,50                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,77                   |
| 27,4                                   | 3,30                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,79                   |
| 23,7                                   | 2,50                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,29                   |
| 23,7                                   | 2,50                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,35                   |
| 28,8                                   | 3,40                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,97                   |
| 28,6                                   | 3,40                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,83                   |
| 28,6                                   | 3,40                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,01                   |
| 35,3                                   | 3,40                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,32                   |
| 62,1                                   | 4,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,04                   |
| 52,8                                   | 5,00                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,52                   |
| 28,2                                   | 2,90                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,66                   |
| 24,8                                   | 3,20                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,26                   |
| 24,8                                   | 3,20                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,81                   |
| 24,8                                   | 3,20                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,77                   |
| 24,2                                   | 3,00                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,16                   |
| 24,2                                   | 3,00                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,43                   |
| 25,8                                   | 2,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,75                   |
| 24,2                                   | 3,00                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,13                   |
| 25,8                                   | 2,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,23                   |
| 56,5                                   | 5,30                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,00                   |
| 63,1                                   | 4,70                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,18                   |
| 56,5                                   | 5,30                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,40                   |
| 59,3                                   | 5,40                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,43                   |
| 52,9                                   | 5,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,81                   |
| 52,9                                   | 5,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,99                   |
| 52,9                                   | 5,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,33                   |
| 55,4                                   | 4,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,57                   |
| 52,9                                   | 5,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,72                   |
| 27,6                                   | 3,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,43                   |
| 31,4                                   | 3,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,26                   |
| 27,6                                   | 3,80                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,18                   |
| 31,4                                   | 3,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,97                   |
| 27,6                                   | 5,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,88                   |
| 27,5                                   | 3,00                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,20                   |
| 27,3                                   | 3,20                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,21                   |
| 27,0                                   | 3,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,66                   |
| 29,2                                   | 3,50                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,87                   |
| 29,1                                   | 5,40                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,77                   |
| 27,3                                   | 3,20                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,70                   |
| 27,3                                   | 2,80                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,72                   |
| 27,5                                   | 5,00                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,55                   |
| 30,2                                   | 3,20                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,79                   |
| 27,3                                   | 2,80                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,84                   |
| 29,1                                   | 3,40                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,73                   |
| 18,0                                   | 2,90                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 4,82                   |
| 19,4                                   | 2,30                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,04                   |
| 16,7                                   | 2,60                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,61                   |
| 18,0                                   | 2,90                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,66                   |
| 19,4                                   | 2,30                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,48                   |
| 19,4                                   | 2,30                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,18                   |
| 18,0                                   | 2,90                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,17                   |
| 27,0                                   | 3,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 12,43                  |
| 27,0                                   | 3,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 5,03                   |
| 27,3                                   | 3,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 3,64                   |
| 30,7                                   | 3,30                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 2,38                   |
| 30,7                                   | 3,30                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,46                   |
| 27,0                                   | 3,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 1,27                   |
| 30,7                                   | 3,80                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 0,97                   |
| 46,6                                   | 4,40                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 9,65                   |
| 56,7                                   | 5,10                           | 0,00                          | -                             | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k. A.                 | 5,02                   |

# Anhang B

| 1    | 2     | 3                | 4           | 5                          | 6                      |            |          |               | 9                                | 10             |                                       | 12              | 13                | 14                | 15                             |
|------|-------|------------------|-------------|----------------------------|------------------------|------------|----------|---------------|----------------------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|
|      |       |                  |             |                            | 7                      | 8          | 11       | Lasplattenab- |                                  |                |                                       |                 |                   |                   |                                |
|      |       |                  |             |                            |                        |            |          | messungen     |                                  |                |                                       |                 |                   |                   |                                |
| Nr.  | Autor | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper<br>Bezeichnung | $b_1$ bzw.<br>$d$ [mm] | $b_2$ [mm] | $h$ [mm] | $\lambda$     | $b_{p,1}$ bzw.<br>$d_{p,1}$ [mm] | $b_{p,2}$ [mm] | Lasstanzkontrast<br>$A_{s1} / A_{s0}$ | Fall der<br>TFB | $\phi_{p,1}$ [mm] | $\phi_{p,2}$ [mm] | Exzentrizität<br>der Lasplatte |
| 1261 |       |                  | Tab. A46    | 19                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 25,4                             | 25,4           | 16,00                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1262 |       |                  | Tab. A46    | 20                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1263 |       |                  | Tab. A46    | 21                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 50,8                             | 50,8           | 4,00                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1264 |       |                  | Tab. A46    | 22                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 75,0                             | 75,0           | 1,84                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1265 |       |                  | Tab. A46    | 23                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 92,0                             | 92,0           | 1,22                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1266 |       |                  | Tab. A46    | 25                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 20,0                             | 20,0           | 58,06                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1267 |       |                  | Tab. A46    | 26                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 25,0                             | 25,0           | 37,16                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1268 |       |                  | Tab. A46    | 27                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 22,68                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1269 |       |                  | Tab. A46    | 28                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 51,0                             | 51,0           | 8,93                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1270 |       |                  | Tab. A46    | 29                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 75,0                             | 75,0           | 4,13                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1271 |       |                  | Tab. A46    | 30                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 92,0                             | 92,0           | 2,74                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1272 |       |                  | Tab. A46    | 31                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 120,0                            | 120,0          | 1,61                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1273 |       |                  | Tab. A46    | 32                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 10,0                             | 10,0           | 232,36                                | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1274 |       |                  | Tab. A46    | 33                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 20,0                             | 20,0           | 58,06                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1275 |       |                  | Tab. A46    | 34                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 25,0                             | 25,0           | 37,16                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1276 |       |                  | Tab. A46    | 35                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 22,68                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1277 |       |                  | Tab. A46    | 36                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 40,0                             | 38,0           | 15,28                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1278 |       |                  | Tab. A46    | 37                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 51,0                             | 51,0           | 8,93                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1279 |       |                  | Tab. A46    | 38                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 75,0                             | 75,0           | 4,13                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1280 |       |                  | Tab. A46    | 39                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 92,0                             | 92,0           | 2,74                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1281 |       |                  | Tab. A46    | 40                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 120,0                            | 120,0          | 1,61                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1282 |       |                  | Tab. A46    | 41                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 20,0                             | 20,0           | 58,06                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1283 |       |                  | Tab. A46    | 42                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 25,0                             | 25,0           | 37,16                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1284 |       |                  | Tab. A46    | 43                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 22,68                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1285 |       |                  | Tab. A46    | 44                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 51,0                             | 51,0           | 8,93                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1286 |       |                  | Tab. A46    | 45                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 75,0                             | 75,0           | 4,13                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1287 |       |                  | Tab. A46    | 46                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 92,0                             | 92,0           | 2,74                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1288 |       |                  | Tab. A46    | 47                         | 152,4                  | 152,4      | 152,4    | 1,00          | 120,0                            | 120,0          | 1,61                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1289 |       |                  | Tab. A46    | 48                         | 150,0                  | 150,0      | 350,0    | 2,33          | 75,0                             | 75,0           | 4,00                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1290 |       |                  | Tab. A47    | 1                          | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1291 |       |                  | Tab. A47    | 2                          | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1292 |       |                  | Tab. A47    | 3                          | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1293 |       |                  | Tab. A47    | 4                          | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1294 |       |                  | Tab. A47    | 5                          | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1295 |       |                  | Tab. A47    | 6                          | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1296 |       |                  | Tab. A47    | 7                          | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1297 |       |                  | Tab. A47    | 8                          | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1298 |       |                  | Tab. A47    | 9                          | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1299 |       |                  | Tab. A47    | 10                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1300 |       |                  | Tab. A47    | 11                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1301 |       |                  | Tab. A47    | 12                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1302 |       |                  | Tab. A47    | 13                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1303 |       |                  | Tab. A47    | 14                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1304 |       |                  | Tab. A47    | 15                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1305 |       |                  | Tab. A47    | 16                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1306 |       |                  | Tab. A47    | 17                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1307 |       |                  | Tab. A47    | 18                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1308 |       |                  | Tab. A47    | 19                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1309 |       |                  | Tab. A47    | 20                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 32,0                             | 32,0           | 10,08                                 | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1310 |       |                  | Tab. A47    | 21                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 10,0                             | 10,0           | 103,23                                | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1311 |       |                  | Tab. A47    | 22                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 10,0                             | 10,0           | 103,23                                | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1312 |       |                  | Tab. A47    | 23                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 10,0                             | 10,0           | 103,23                                | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1313 |       |                  | Tab. A47    | 24                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 10,0                             | 10,0           | 103,23                                | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1314 |       |                  | Tab. A47    | 25                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 10,0                             | 10,0           | 103,23                                | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1315 |       |                  | Tab. A47    | 26                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 10,0                             | 10,0           | 103,23                                | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1316 |       |                  | Tab. A47    | 27                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 92,0                             | 92,0           | 1,22                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1317 |       |                  | Tab. A47    | 28                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 92,0                             | 92,0           | 1,22                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1318 |       |                  | Tab. A47    | 29                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 92,0                             | 92,0           | 1,22                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1319 |       |                  | Tab. A47    | 30                         | 101,6                  | 101,6      | 101,6    | 1,00          | 92,0                             | 92,0           | 1,22                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1320 |       |                  | Tab. A48    | 1                          | 150,0                  | 150,0      | 125,0    | 0,83          | 48,0                             | 48,0           | 9,77                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1321 |       |                  | Tab. A48    | 2                          | 150,0                  | 150,0      | 125,0    | 0,83          | 68,0                             | 68,0           | 4,87                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1322 |       |                  | Tab. A48    | 3                          | 150,0                  | 150,0      | 125,0    | 0,83          | 84,0                             | 84,0           | 3,19                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1323 |       |                  | Tab. A48    | 4                          | 150,0                  | 150,0      | 125,0    | 0,83          | 108,0                            | 108,0          | 1,93                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1324 |       |                  | Tab. A48    | 5                          | 150,0                  | 150,0      | 125,0    | 0,83          | 128,0                            | 128,0          | 1,37                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1325 |       |                  | Tab. A48    | 6                          | 150,0                  | 150,0      | 125,0    | 0,83          | 145,0                            | 145,0          | 1,07                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1326 |       |                  | Tab. A48    | 8                          | 150,0                  | 150,0      | 217,0    | 1,45          | 48,0                             | 48,0           | 9,77                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1327 |       |                  | Tab. A48    | 9                          | 150,0                  | 150,0      | 217,0    | 1,45          | 68,0                             | 68,0           | 4,87                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1328 |       |                  | Tab. A48    | 10                         | 150,0                  | 150,0      | 217,0    | 1,45          | 84,0                             | 84,0           | 3,19                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1329 |       |                  | Tab. A48    | 11                         | 150,0                  | 150,0      | 217,0    | 1,45          | 108,0                            | 108,0          | 1,93                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |
| 1330 |       |                  | Tab. A48    | 12                         | 150,0                  | 150,0      | 217,0    | 1,45          | 128,0                            | 128,0          | 1,37                                  | räumlich        | 0,0               | 0,0               |                                |

| 16  | 17                                | 18                                   | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                      | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.               | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,ges,90}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Sp,zug}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma_0$           | $\sigma_{0ld}$     | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,90}$  | $q_{br} / f_{ct,90}$   |
| 46,6                                      | 4,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,24                   |
| 46,6                                      | 4,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,25                   |
| 46,6                                      | 4,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,07                   |
| 56,7                                      | 5,10                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 0,97                   |
| 46,6                                      | 4,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,11                   |
| 18,0                                      | 2,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 8,11                   |
| 16,7                                      | 2,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 6,40                   |
| 16,7                                      | 2,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 5,49                   |
| 16,7                                      | 2,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,83                   |
| 18,0                                      | 2,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,67                   |
| 16,7                                      | 2,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,61                   |
| 18,0                                      | 2,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,10                   |
| 31,4                                      | 3,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 14,63                  |
| 27,3                                      | 3,10                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 7,73                   |
| 31,0                                      | 3,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 5,59                   |
| 31,0                                      | 3,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 4,43                   |
| 27,6                                      | 3,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,36                   |
| 31,0                                      | 3,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,40                   |
| 27,0                                      | 3,10                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,66                   |
| 30,7                                      | 3,30                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,84                   |
| 30,7                                      | 3,30                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,36                   |
| 55,6                                      | 5,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 7,34                   |
| 46,6                                      | 4,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 6,65                   |
| 56,7                                      | 5,10                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,39                   |
| 46,6                                      | 4,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,68                   |
| 55,5                                      | 5,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,10                   |
| 46,6                                      | 4,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,26                   |
| 46,6                                      | 4,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,04                   |
| 30,2                                      | 3,20                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,79                   |
| 27,8                                      | 2,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,32                   |
| 26,6                                      | 3,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,00                   |
| 22,2                                      | 3,50                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,45                   |
| 56,7                                      | 5,10                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,31                   |
| 30,7                                      | 3,30                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,38                   |
| 18,0                                      | 2,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,66                   |
| 46,6                                      | 4,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,25                   |
| 26,7                                      | 3,20                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,25                   |
| 29,0                                      | 2,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,29                   |
| 54,2                                      | 4,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,03                   |
| 29,0                                      | 2,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,72                   |
| 54,2                                      | 4,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,10                   |
| 29,8                                      | 3,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,66                   |
| 54,4                                      | 4,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,00                   |
| 45,8                                      | 3,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,29                   |
| 54,2                                      | 4,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,33                   |
| 29,8                                      | 3,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,80                   |
| 54,4                                      | 4,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,63                   |
| 29,8                                      | 3,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,14                   |
| 54,2                                      | 4,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,97                   |
| 27,8                                      | 2,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 9,95                   |
| 22,2                                      | 3,50                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 14,25                  |
| 27,0                                      | 3,10                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 12,43                  |
| 18,0                                      | 2,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 4,82                   |
| 46,6                                      | 4,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 9,65                   |
| 26,7                                      | 3,20                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 7,22                   |
| 27,8                                      | 2,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,45                   |
| 30,7                                      | 3,30                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 0,97                   |
| 22,2                                      | 3,50                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,55                   |
| 26,7                                      | 3,20                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,17                   |
| 28,2                                      | 2,90                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 3,00                   |
| 29,1                                      | 2,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,14                   |
| 29,1                                      | 2,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,77                   |
| 31,8                                      | 3,40                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,49                   |
| 29,1                                      | 2,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,30                   |
| 29,1                                      | 2,80                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,12                   |
| 22,2                                      | 3,10                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 2,78                   |
| 22,2                                      | 3,10                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,98                   |
| 19,3                                      | 2,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,60                   |
| 22,2                                      | 3,10                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,30                   |
| 19,3                                      | 2,60                              | 0,00                                 | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00               | k.A.                  | 1,15                   |

# Anhang B

| 1    | 2     | 3                | 4           | 5                          | 6     |       |       | 9                      | 10       |       | 12         | 13       | 14        | 15                               |
|------|-------|------------------|-------------|----------------------------|-------|-------|-------|------------------------|----------|-------|------------|----------|-----------|----------------------------------|
|      |       |                  |             |                            | 7     | 8     | 11    |                        | 10       | 11    |            |          |           |                                  |
| Nr.  | Autor | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper<br>Bezeichnung |       |       |       | $b_1$ bzw.<br>$d$ [mm] |          |       | $b_2$ [mm] | $h$ [mm] | $\lambda$ | $d_{p,2}$ bzw.<br>$d_{q,1}$ [mm] |
|      |       |                  |             |                            | 1331  |       |       |                        | Tab. A48 | 13    |            |          |           |                                  |
| 1332 |       |                  | Tab. A48    | 14                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 68,0     | 68,0  | 5,02       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1333 |       |                  | Tab. A48    | 15                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 102,0    | 102,0 | 2,23       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1334 |       |                  | Tab. A48    | 16                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 84,0     | 84,0  | 3,29       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1335 |       |                  | Tab. A48    | 17                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 108,0    | 108,0 | 1,99       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1336 |       |                  | Tab. A48    | 18                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 128,0    | 128,0 | 1,42       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1337 |       |                  | Tab. A49    | 1                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 92,0     | 92,0  | 2,74       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1338 |       |                  | Tab. A49    | 2                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1339 |       |                  | Tab. A49    | 3                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 25,0     | 25,0  | 37,16      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1340 |       |                  | Tab. A49    | 4                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 75,0  | 4,13       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1341 |       |                  | Tab. A49    | 5                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1342 |       |                  | Tab. A49    | 6                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 19,0     | 20,0  | 61,12      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1343 |       |                  | Tab. A49    | 7                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 32,0     | 32,0  | 22,68      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1344 |       |                  | Tab. A49    | 8                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 52,0     | 52,0  | 8,59       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1345 |       |                  | Tab. A49    | 9                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 75,0  | 4,13       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1346 |       |                  | Tab. A49    | 10                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 92,0     | 92,0  | 2,74       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1347 |       |                  | Tab. A49    | 11                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1348 |       |                  | Tab. A49    | 12                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 25,0     | 25,0  | 37,16      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1349 |       |                  | Tab. A49    | 13                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 75,0  | 4,13       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1350 |       |                  | Tab. A49    | 14                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1351 |       |                  | Tab. A49    | 15                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 32,0     | 32,0  | 22,68      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1352 |       |                  | Tab. A49    | 16                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 51,0     | 51,0  | 8,93       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1353 |       |                  | Tab. A49    | 17                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 76,0  | 4,07       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1354 |       |                  | Tab. A49    | 18                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 92,0     | 92,0  | 2,74       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1355 |       |                  | Tab. A49    | 19                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1356 |       |                  | Tab. A49    | 20                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 19,0     | 20,0  | 61,12      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1357 |       |                  | Tab. A49    | 21                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 25,0     | 25,0  | 37,16      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1358 |       |                  | Tab. A49    | 22                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 51,0     | 51,0  | 8,93       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1359 |       |                  | Tab. A49    | 23                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 92,0     | 92,0  | 2,74       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1360 |       |                  | Tab. A49    | 24                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1361 |       |                  | Tab. A49    | 25                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 32,0     | 32,0  | 22,68      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1362 |       |                  | Tab. A49    | 26                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 76,0  | 4,07       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1363 |       |                  | Tab. A49    | 27                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 92,0     | 92,0  | 2,74       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1364 |       |                  | Tab. A49    | 28                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1365 |       |                  | Tab. A49    | 29                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 32,0     | 32,0  | 22,68      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1366 |       |                  | Tab. A49    | 30                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 52,0     | 52,0  | 8,59       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1367 |       |                  | Tab. A49    | 31                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 75,0  | 4,13       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1368 |       |                  | Tab. A49    | 32                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 92,0     | 92,0  | 2,74       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1369 |       |                  | Tab. A49    | 33                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1370 |       |                  | Tab. A49    | 34                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 25,0     | 25,0  | 37,16      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1371 |       |                  | Tab. A49    | 35                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 75,0  | 4,13       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1372 |       |                  | Tab. A49    | 36                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 19,0     | 20,0  | 61,12      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1373 |       |                  | Tab. A49    | 37                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 25,0     | 25,0  | 37,16      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1374 |       |                  | Tab. A49    | 38                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 32,0     | 32,0  | 22,68      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1375 |       |                  | Tab. A49    | 39                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 52,0     | 52,0  | 8,59       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1376 |       |                  | Tab. A49    | 40                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 75,0  | 4,13       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1377 |       |                  | Tab. A49    | 41                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 20,0     | 19,0  | 61,12      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1378 |       |                  | Tab. A49    | 42                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 25,0     | 25,0  | 37,16      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1379 |       |                  | Tab. A49    | 43                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 32,0     | 32,0  | 22,68      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1380 |       |                  | Tab. A49    | 44                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 52,0     | 52,0  | 8,59       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1381 |       |                  | Tab. A49    | 45                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 75,0  | 4,13       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1382 |       |                  | Tab. A49    | 46                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 92,0     | 92,0  | 2,74       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1383 |       |                  | Tab. A49    | 47                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1384 |       |                  | Tab. A49    | 48                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 19,0     | 20,0  | 61,12      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1385 |       |                  | Tab. A49    | 49                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 25,0     | 25,0  | 37,16      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1386 |       |                  | Tab. A49    | 50                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 32,0     | 32,0  | 22,68      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1387 |       |                  | Tab. A49    | 51                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 52,0     | 52,0  | 8,59       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1388 |       |                  | Tab. A49    | 52                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 75,0  | 4,13       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1389 |       |                  | Tab. A49    | 53                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 92,0     | 92,0  | 2,74       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1390 |       |                  | Tab. A49    | 54                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1391 |       |                  | Tab. A49    | 55                         | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 75,0  | 4,13       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1392 |       |                  | Tab. A50    | 1                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 25,0     | 25,0  | 37,16      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1393 |       |                  | Tab. A50    | 2                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 51,0     | 51,0  | 8,93       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1394 |       |                  | Tab. A50    | 3                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 120,0    | 120,0 | 1,61       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1395 |       |                  | Tab. A50    | 4                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 32,0     | 32,0  | 22,68      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1396 |       |                  | Tab. A50    | 5                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 75,0     | 75,0  | 4,13       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1397 |       |                  | Tab. A50    | 6                          | 152,4 | 152,4 | 152,4 | 1,00                   | 92,0     | 92,0  | 2,74       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1398 |       |                  | Tab. A50    | 7                          | 150,0 | 150,0 | 217,0 | 1,45                   | 32,0     | 32,0  | 21,97      | räumlich | 0         | 0                                |
| 1399 |       |                  | Tab. A50    | 8                          | 150,0 | 150,0 | 217,0 | 1,45                   | 75,0     | 75,0  | 4,00       | räumlich | 0         | 0                                |
| 1400 |       |                  | Tab. A50    | 9                          | 150,0 | 150,0 | 217,0 | 1,45                   | 92,0     | 92,0  | 2,66       | räumlich | 0         | 0                                |

| 16                                     | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                   | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,ges}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,ges}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\sigma$             | $\sigma_{ld}$      | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,sp}$  | $q_{br} / f_{ct,sp}$   |
| 22.2                                   | 3.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.08                   |
| 19.3                                   | 2.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.43                   |
| 19.4                                   | 2.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.58                   |
| 19.3                                   | 2.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.78                   |
| 22.2                                   | 3.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.33                   |
| 19.3                                   | 2.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.49                   |
| 28.3                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.84                   |
| 27.5                                   | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.52                   |
| 23.7                                   | 2.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 6.71                   |
| 23.7                                   | 2.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.59                   |
| 23.7                                   | 2.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.36                   |
| 27.2                                   | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 8.79                   |
| 31.0                                   | 2.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.83                   |
| 28.3                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.60                   |
| 27.5                                   | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.65                   |
| 29.8                                   | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.17                   |
| 27.5                                   | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.78                   |
| 35.3                                   | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 6.01                   |
| 32.5                                   | 3.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.14                   |
| 35.3                                   | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.16                   |
| 28.6                                   | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.40                   |
| 26.7                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.93                   |
| 28.6                                   | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.83                   |
| 27.2                                   | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.96                   |
| 27.4                                   | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.77                   |
| 35.9                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 8.27                   |
| 35.9                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 6.40                   |
| 35.9                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.80                   |
| 35.9                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.38                   |
| 28.6                                   | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.77                   |
| 35.9                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.59                   |
| 29.8                                   | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.89                   |
| 29.8                                   | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.61                   |
| 28.6                                   | 3.40                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.04                   |
| 32.5                                   | 3.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.80                   |
| 27.5                                   | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.02                   |
| 32.5                                   | 3.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.05                   |
| 27.2                                   | 3.30                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.79                   |
| 27.5                                   | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.51                   |
| 26.7                                   | 2.12                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 8.05                   |
| 26.7                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.25                   |
| 35.2                                   | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 8.44                   |
| 35.2                                   | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.85                   |
| 31.0                                   | 2.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.51                   |
| 28.3                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.51                   |
| 31.0                                   | 2.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.31                   |
| 26.7                                   | 3.20                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 8.50                   |
| 23.5                                   | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 7.44                   |
| 26.6                                   | 3.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 4.10                   |
| 22.2                                   | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.34                   |
| 27.6                                   | 3.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.43                   |
| 31.4                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.29                   |
| 27.6                                   | 3.80                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.19                   |
| 29.7                                   | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 7.51                   |
| 23.5                                   | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 6.76                   |
| 26.6                                   | 3.90                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.70                   |
| 22.2                                   | 3.50                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.17                   |
| 27.5                                   | 3.00                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.42                   |
| 31.4                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.24                   |
| 27.6                                   | 3.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.07                   |
| 27.3                                   | 3.10                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.55                   |
| 34.2                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 5.15                   |
| 34.2                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.94                   |
| 34.2                                   | 3.60                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.49                   |
| 37.1                                   | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.36                   |
| 37.1                                   | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.08                   |
| 37.1                                   | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.66                   |
| 37.1                                   | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.59                   |
| 37.1                                   | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.74                   |
| 37.1                                   | 3.70                              | 0.00                              | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.49                   |

# Anhang B

| 1    | 2        | 3                | 4           | 5                       | 6                     |            |          | 7         | 8                             | 9              | 10                    |              | 11              | 12             | 13                          | 14 | 15 |
|------|----------|------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|------------|----------|-----------|-------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------------------|----|----|
|      |          |                  |             |                         | Prüfkörperabmessungen |            |          |           |                               |                | Lasplattenabmessungen |              |                 |                |                             |    |    |
| Nr.  | Autor    | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper Bezeichnung | $b_1$ bzw. $d$ [mm]   | $b_2$ [mm] | $h$ [mm] | $\lambda$ | $b_{p_1}$ bzw. $d_{p_1}$ [mm] | $b_{p_2}$ [mm] | $A_{s1} / A_{s0}$     | Fall der IFB | $e_{p,ex}$ [mm] | $e_{p,y}$ [mm] | Exzentrizität der Lasplatte |    |    |
| 1401 | WILLIAMS | [Wil-1979]       | Tab. A50    | 10                      | 150.0                 | 150.0      | 217.0    | 1.45      | 25.0                          | 25.0           | 36.00                 | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1402 |          |                  | Tab. A50    | 11                      | 150.0                 | 150.0      | 217.0    | 1.45      | 51.0                          | 51.0           | 8.65                  | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1403 |          |                  | Tab. A50    | 12                      | 150.0                 | 150.0      | 217.0    | 1.45      | 120.0                         | 120.0          | 1.56                  | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1404 |          |                  | Tab. A51    | 1                       | 152.4                 | 152.4      | 152.4    | 1.00      | 32.0                          | 32.0           | 22.68                 | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1405 |          |                  | Tab. A51    | 2                       | 152.4                 | 152.4      | 152.4    | 1.00      | 75.0                          | 75.0           | 4.13                  | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1406 |          |                  | Tab. A51    | 3                       | 152.4                 | 152.4      | 152.4    | 1.00      | 92.0                          | 92.0           | 2.74                  | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1407 |          |                  | Tab. A51    | 4                       | 152.4                 | 152.4      | 152.4    | 1.00      | 25.0                          | 25.0           | 37.16                 | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1408 |          |                  | Tab. A51    | 5                       | 152.4                 | 152.4      | 152.4    | 1.00      | 51.0                          | 51.0           | 8.93                  | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1409 |          |                  | Tab. A51    | 6                       | 152.4                 | 152.4      | 152.4    | 1.00      | 120.0                         | 120.0          | 1.61                  | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1410 |          |                  | Tab. A51    | 7                       | 150.0                 | 150.0      | 217.0    | 1.45      | 32.0                          | 32.0           | 21.97                 | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1411 |          |                  | Tab. A51    | 8                       | 150.0                 | 150.0      | 217.0    | 1.45      | 75.0                          | 75.0           | 4.00                  | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1412 |          |                  | Tab. A51    | 9                       | 150.0                 | 150.0      | 217.0    | 1.45      | 92.0                          | 92.0           | 2.66                  | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1413 |          |                  | Tab. A51    | 10                      | 150.0                 | 150.0      | 217.0    | 1.45      | 25.0                          | 25.0           | 36.00                 | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1414 |          |                  | Tab. A51    | 11                      | 150.0                 | 150.0      | 217.0    | 1.45      | 120.0                         | 120.0          | 1.56                  | räumlich     | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1415 |          |                  | Tab. 1      | 1                       | 250.0                 | 125.0      | 750.0    | 3.00      | 25.0                          | 125.0          | 10.00                 | eben         | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1416 |          |                  | Tab. 1      | 3                       | 250.0                 | 125.0      | 750.0    | 3.00      | 75.0                          | 125.0          | 3.33                  | eben         | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1417 |          |                  | Tab. 1      | 5                       | 250.0                 | 125.0      | 750.0    | 3.00      | 125.0                         | 125.0          | 2.00                  | eben         | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1418 |          |                  | Tab. 1      | 7                       | 250.0                 | 125.0      | 750.0    | 3.00      | 175.0                         | 125.0          | 1.43                  | eben         | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1419 |          |                  | Tab. 1      | 0503-4                  | 250.0                 | 125.0      | 750.0    | 3.00      | 75.0                          | 125.0          | 3.33                  | eben         | 0               | 0              |                             |    |    |
| 1420 | Tab. 1   | 1003-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1421 | Tab. 1   | 1503-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1422 | Tab. 1   | 0505-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1423 | Tab. 1   | 1005-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1424 | Tab. 1   | 1505-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1425 | Tab. 1   | 0507-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1426 | Tab. 1   | 1007-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1427 | Tab. 1   | 1507-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1428 | Tab. 1   | 0501-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 25.0     | 125.0     | 10.00                         | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1429 | Tab. 1   | 1001-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 25.0     | 125.0     | 10.00                         | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1430 | Tab. 1   | 0503-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1431 | Tab. 1   | 1003-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1432 | Tab. 1   | 0503-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1433 | Tab. 1   | 1003-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1434 | Tab. 1   | 1503-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1435 | Tab. 1   | 2003-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1436 | Tab. 1   | 0503-2           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1437 | Tab. 1   | 0505-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1438 | Tab. 1   | 0805-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1439 | Tab. 1   | 1005-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1440 | Tab. 1   | 1505-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1441 | Tab. 1   | 0505-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1442 | Tab. 1   | 1005-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1443 | Tab. 1   | 0405-2           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1444 | Tab. 1   | 0307-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1445 | Tab. 1   | 0507-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1446 | Tab. 1   | 0807-4           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1447 | Tab. 1   | 0507-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1448 | Tab. 1   | 1007-6           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1449 | Tab. 1   | 0307-2           | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1450 | Tab. 1   | 0503C-4          | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1451 | Tab. 1   | 0505C-4          | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1452 | Tab. 1   | 0507C-4          | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1453 | Tab. 1   | 0003D            | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1454 | Tab. 1   | 0005D            | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1455 | Tab. 1   | 0007D            | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1456 | Tab. 1   | 1003D-4          | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1457 | Tab. 1   | 0805D-4          | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1458 | Tab. 1   | 0507D-4          | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1459 | Tab. 1   | 100316aE-4       | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1460 | Tab. 1   | 080516aE-4       | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1461 | Tab. 1   | 050716aE-4       | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1462 | Tab. 1   | 10033aE-4        | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1463 | Tab. 1   | 08053aE-4        | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1464 | Tab. 1   | 05073aE-4        | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1465 | Tab. 1   | 10033aE-4        | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1466 | Tab. 1   | 08053aE-4        | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1467 | Tab. 1   | 05073aE-4        | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1468 | Tab. 1   | 10034aE-4        | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 75.0     | 125.0     | 3.33                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1469 | Tab. 1   | 08054aE-4        | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 125.0    | 125.0     | 2.00                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |
| 1470 | Tab. 1   | 05074aE-4        | 250.0       | 125.0                   | 750.0                 | 3.00       | 175.0    | 125.0     | 1.43                          | eben           | 0                     | 0            |                 |                |                             |    |    |

| 16                                       | 17                               | 18                                   | 19                               | 20                      | 21                    | 22                        | 23                      | 24                    | 25                      | 26                    | 27                         | 28                          |
|--|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Betondeck-<br>festigkeit                 | Betonzug-<br>festigkeit          | Spaltzug-<br>bewehrung ges.          | Streckgrenze<br>Bew.stahl        | geom.<br>Bew.-Grad ges. | geom.<br>Bew.-Grad ld | bez.geom.<br>Bew.-Grad ld | mech.<br>Bew.-Grad ges. | mech.<br>Bew.-Grad ld | mech.<br>Bew.-Grad ges. | mech.<br>Bew.-Grad ld | bez. Risslast-<br>spannung | bez. Bruch-<br>lastspannung |
| $f_{ct,150/200}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{cm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,sp,ges}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{ym}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$                  | $\rho_{ld}$           | $\rho_{ld}^*$             | $\omega$                | $\omega_{ld}$         | $\mu$                   | $\mu_{ld}$            | $q_{l,cr} / f_{ct,crf}$    | $q_{l,u} / f_{ct,crf}$      |
| 34,2                                     | 3,60                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 5,28                        |
| 34,2                                     | 3,60                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 2,47                        |
| 34,2                                     | 3,60                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 1,25                        |
| 28,0                                     | 2,40                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 4,80                        |
| 28,0                                     | 2,40                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 2,09                        |
| 28,0                                     | 2,40                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 1,86                        |
| 29,7                                     | 2,70                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 5,20                        |
| 29,7                                     | 2,70                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 2,87                        |
| 29,7                                     | 2,70                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 1,36                        |
| 28,0                                     | 2,40                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 4,24                        |
| 28,0                                     | 2,40                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 1,76                        |
| 28,0                                     | 2,40                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 1,49                        |
| 29,7                                     | 2,70                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 5,62                        |
| 29,7                                     | 2,70                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | k. A.                      | 1,23                        |
| 45,7                                     | 3,49                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | 2,06                       | 2,06                        |
| 47,8                                     | 3,71                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | 0,99                       | 1,09                        |
| 47,2                                     | 3,18                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | 0,88                       | 0,96                        |
| 47,8                                     | 3,95                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | 0,84                       | 0,90                        |
| 42,2                                     | 3,66                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,06                  | 0,11                    | 0,64                  | 1,46                       | 1,71                        |
| 46,3                                     | 3,89                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,02                    | 0,09                  | 0,19                    | 1,12                  | 1,58                       | 1,72                        |
| 42,6                                     | 3,35                             | 4,68                                 | 438                              | 0,25%                   | 1,50%                 | 1,19%                     | 0,03                    | 0,15                  | 0,33                    | 1,96                  | 1,72                       | 1,92                        |
| 45,2                                     | 3,84                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,10                    | 0,61                  | 1,21                       | 1,28                        |
| 49,2                                     | 3,82                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,01                    | 0,09                  | 0,19                    | 1,14                  | 1,29                       | 1,42                        |
| 42,9                                     | 3,33                             | 4,68                                 | 438                              | 0,25%                   | 1,50%                 | 1,19%                     | 0,03                    | 0,15                  | 0,33                    | 1,97                  | 1,49                       | 1,58                        |
| 47,0                                     | 3,92                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,10                    | 0,60                  | 1,19                       | 1,19                        |
| 46,6                                     | 3,51                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,02                    | 0,09                  | 0,21                    | 1,24                  | 1,23                       | 1,28                        |
| 47,0                                     | 4,10                             | 4,68                                 | 438                              | 0,25%                   | 1,50%                 | 1,19%                     | 0,02                    | 0,14                  | 0,27                    | 1,60                  | 1,29                       | 1,29                        |
| 45,7                                     | 3,49                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,11                    | 0,67                  | 2,06                       | 2,54                        |
| 45,7                                     | 3,49                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,02                    | 0,10                  | 0,21                    | 1,25                  | 2,20                       | 2,89                        |
| 45,5                                     | 3,80                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,10                    | 0,62                  | 1,38                       | 1,62                        |
| 45,6                                     | 3,62                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,02                    | 0,10                  | 0,20                    | 1,21                  | 1,77                       | 2,03                        |
| 45,1                                     | 3,62                             | 1,75                                 | 438                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,45%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,11                    | 0,68                  | 1,51                       | 1,73                        |
| 41,8                                     | 3,39                             | 3,51                                 | 438                              | 0,19%                   | 1,12%                 | 0,89%                     | 0,02                    | 0,12                  | 0,24                    | 1,45                  | 1,85                       | 2,05                        |
| 45,2                                     | 3,70                             | 4,68                                 | 438                              | 0,25%                   | 1,50%                 | 1,19%                     | 0,02                    | 0,15                  | 0,30                    | 1,77                  | 1,85                       | 2,09                        |
| 46,3                                     | 3,61                             | 6,43                                 | 438                              | 0,34%                   | 2,06%                 | 1,64%                     | 0,03                    | 0,19                  | 0,42                    | 2,50                  | 1,85                       | 2,28                        |
| 45,5                                     | 3,56                             | 1,81                                 | 429                              | 0,10%                   | 0,58%                 | 0,45%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,12                    | 0,70                  | 1,50                       | 1,63                        |
| 45,5                                     | 3,80                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,10                    | 0,62                  | 1,12                       | 1,26                        |
| 45,1                                     | 3,62                             | 2,51                                 | 417                              | 0,13%                   | 0,80%                 | 0,61%                     | 0,01                    | 0,07                  | 0,15                    | 0,93                  | 1,34                       | 1,43                        |
| 45,6                                     | 3,62                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,02                    | 0,10                  | 0,20                    | 1,21                  | 1,45                       | 1,58                        |
| 46,3                                     | 3,61                             | 4,68                                 | 438                              | 0,25%                   | 1,50%                 | 1,19%                     | 0,02                    | 0,14                  | 0,30                    | 1,82                  | 1,61                       | 1,74                        |
| 45,1                                     | 3,62                             | 1,75                                 | 438                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,45%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,11                    | 0,68                  | 1,26                       | 1,39                        |
| 41,8                                     | 3,39                             | 3,51                                 | 438                              | 0,19%                   | 1,12%                 | 0,89%                     | 0,02                    | 0,12                  | 0,24                    | 1,45                  | 1,52                       | 1,61                        |
| 45,5                                     | 3,56                             | 1,36                                 | 429                              | 0,07%                   | 0,43%                 | 0,34%                     | 0,01                    | 0,04                  | 0,09                    | 0,52                  | 1,09                       | 1,20                        |
| 45,1                                     | 3,62                             | 0,75                                 | 417                              | 0,04%                   | 0,24%                 | 0,18%                     | 0,00                    | 0,02                  | 0,05                    | 0,28                  | 0,97                       | 1,03                        |
| 45,5                                     | 3,80                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,10                    | 0,62                  | 1,19                       | 1,23                        |
| 46,3                                     | 3,61                             | 2,51                                 | 417                              | 0,13%                   | 0,80%                 | 0,61%                     | 0,01                    | 0,07                  | 0,15                    | 0,93                  | 1,23                       | 1,28                        |
| 45,1                                     | 3,62                             | 1,75                                 | 438                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,45%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,11                    | 0,68                  | 1,17                       | 1,27                        |
| 41,8                                     | 3,39                             | 3,51                                 | 438                              | 0,19%                   | 1,12%                 | 0,89%                     | 0,02                    | 0,12                  | 0,24                    | 1,45                  | 1,40                       | 1,40                        |
| 45,5                                     | 3,56                             | 0,90                                 | 429                              | 0,05%                   | 0,29%                 | 0,23%                     | 0,00                    | 0,03                  | 0,06                    | 0,35                  | 1,04                       | 1,07                        |
| 44,2                                     | 3,73                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,11                    | 0,63                  | 1,34                       | 1,43                        |
| 44,2                                     | 3,73                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,11                    | 0,63                  | 1,07                       | 1,20                        |
| 44,2                                     | 3,73                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,11                    | 0,63                  | 1,06                       | 1,12                        |
| 45,0                                     | 3,88                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | 0,92                       | 1,14                        |
| 45,0                                     | 3,88                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | 0,82                       | 0,98                        |
| 45,0                                     | 3,88                             | 0,00                                 | -                                | 0,00%                   | 0,00%                 | 0,00%                     | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | 0,85                       | 0,91                        |
| 46,5                                     | 3,66                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,02                    | 0,09                  | 0,20                    | 1,19                  | 1,62                       | 1,91                        |
| 52,3                                     | 3,56                             | 2,51                                 | 417                              | 0,13%                   | 0,80%                 | 0,61%                     | 0,01                    | 0,06                  | 0,16                    | 0,94                  | 1,10                       | 1,21                        |
| 52,3                                     | 3,56                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,04                  | 0,11                    | 0,66                  | 0,98                       | 1,02                        |
| 44,3                                     | 3,80                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,02                    | 0,10                  | 0,19                    | 1,15                  | 1,66                       | 1,72                        |
| 44,3                                     | 3,80                             | 2,51                                 | 417                              | 0,13%                   | 0,80%                 | 0,61%                     | 0,01                    | 0,08                  | 0,15                    | 0,88                  | 1,18                       | 1,27                        |
| 44,3                                     | 3,80                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,10                    | 0,62                  | 1,01                       | 1,09                        |
| 46,1                                     | 3,85                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,02                    | 0,09                  | 0,19                    | 1,13                  | 1,77                       | 1,91                        |
| 46,1                                     | 3,85                             | 2,51                                 | 417                              | 0,13%                   | 0,80%                 | 0,61%                     | 0,01                    | 0,07                  | 0,15                    | 0,87                  | 1,27                       | 1,44                        |
| 46,1                                     | 3,85                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,10                    | 0,61                  | 1,27                       | 1,29                        |
| 46,1                                     | 3,97                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,02                    | 0,09                  | 0,18                    | 1,10                  | 1,70                       | 1,89                        |
| 46,1                                     | 3,97                             | 2,51                                 | 417                              | 0,13%                   | 0,80%                 | 0,61%                     | 0,01                    | 0,07                  | 0,14                    | 0,84                  | 1,30                       | 1,38                        |
| 46,1                                     | 3,97                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,05                  | 0,10                    | 0,59                  | 1,10                       | 1,14                        |
| 45,4                                     | 3,57                             | 3,27                                 | 417                              | 0,17%                   | 1,05%                 | 0,79%                     | 0,02                    | 0,05                  | 0,20                    | 0,61                  | 1,27                       | 1,60                        |
| 45,4                                     | 3,57                             | 2,51                                 | 417                              | 0,13%                   | 0,80%                 | 0,61%                     | 0,01                    | 0,04                  | 0,16                    | 0,47                  | 1,04                       | 1,30                        |
| 45,4                                     | 3,57                             | 1,76                                 | 417                              | 0,09%                   | 0,56%                 | 0,43%                     | 0,01                    | 0,03                  | 0,11                    | 0,33                  | 0,93                       | 1,13                        |

# Anhang B

| 1    | 2        | 3                | 4           | 5                          | 6                          | 7          | 8      | 9         | 10                         | 11            | 12            | 13                                   | 14              | 15  |                |
|------|----------|------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|------------|--------|-----------|----------------------------|---------------|---------------|--------------------------------------|-----------------|---|----------------|
| Nr.  | Autor    | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper<br>Bezeichnung | Prüfkörperab-<br>messungen |            |        | $\lambda$ | Lasplattenab-<br>messungen |               |               | Lastkonzentration<br>$A_{31}/A_{30}$ | Fall der<br>TFB | Exzentrität<br>der Lasplatte<br>$e_{p,ex}$ [mm] | $e_{p,y}$ [mm] |
|      |          |                  |             |                            | $b_p$ bzw.<br>d [mm]       | $b_y$ [mm] | h [mm] |           | $d_{p1}$ [mm]              | $d_{p2}$ [mm] | $d_{p3}$ [mm] |                                      |                 |   |                |
| 1471 | IBELL    | [Ibe-1993]       | Tab. 1      | 10034aS-4                  | 250.0                      | 125.0      | 750.0  | 3.00      | 75.0                       | 125.0         | 3.33          | eben                                 | 0               | 0   |                |
| 1472 |          |                  | Tab. 1      | 08054aS-4                  | 250.0                      | 125.0      | 750.0  | 3.00      | 125.0                      | 125.0         | 2.00          | eben                                 | 0               | 0   |                |
| 1473 |          |                  | Tab. 1      | 05074aS-4                  | 250.0                      | 125.0      | 750.0  | 3.00      | 175.0                      | 125.0         | 1.43          | eben                                 | 0               | 0   |                |
| 1474 |          |                  | Tab. 1      | 00011                      | 250.0                      | 125.0      | 750.0  | 3.00      | 25.0                       | 125.0         | 10.00         | eben                                 | 0               | 0   |                |
| 1475 |          |                  | Tab. 1      | 00031                      | 250.0                      | 125.0      | 750.0  | 3.00      | 75.0                       | 125.0         | 3.33          | eben                                 | 0               | 0   |                |
| 1476 |          |                  | Tab. 1      | 00051                      | 250.0                      | 125.0      | 750.0  | 3.00      | 125.0                      | 125.0         | 2.00          | eben                                 | 0               | 0   |                |
| 1477 |          |                  | Tab. 3      | R1-C                       | 200.0                      | 200.0      | 300.0  | 1.50      | 50.0                       | 50.0          | 16.00         | räumlich                             | 0               | 0   |                |
| 1478 |          |                  | Tab. 3      | R2-C                       | 200.0                      | 200.0      | 300.0  | 1.50      | 50.0                       | 50.0          | 16.00         | räumlich                             | 0               | 0   |                |
| 1479 |          |                  | Tab. 3      | R3a-C                      | 200.0                      | 200.0      | 300.0  | 1.50      | 50.0                       | 50.0          | 16.00         | räumlich                             | 0               | 0   |                |
| 1480 |          |                  | Tab. 3      | R3b-C                      | 200.0                      | 200.0      | 300.0  | 1.50      | 50.0                       | 50.0          | 16.00         | räumlich                             | 0               | 0   |                |
| 1481 | Tab. 3   | Plain-C          | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1482 | Tab. 4   | R1-C             | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1483 | Tab. 4   | R2-C             | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1484 | Tab. 4   | R3a-C            | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1485 | Tab. 4   | R3b-C            | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1486 | Tab. 4   | Plain-C          | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1487 | Tab. 5   | R1-C             | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 25            | 25                                   |                 |   |                |
| 1488 | Tab. 5   | R2-C             | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 25            | 25                                   |                 |   |                |
| 1489 | Tab. 5   | R3a-C            | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 25            | 25                                   |                 |   |                |
| 1490 | Tab. 5   | R3b-C            | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 25            | 25                                   |                 |   |                |
| 1491 | Tab. 5   | Plain-C          | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 50.0   | 50.0      | 16.00                      | räumlich      | 25            | 25                                   |                 |   |                |
| 1492 | Tab. 6   | R1-C             | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 100.0  | 50.0      | 8.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1493 | Tab. 6   | R2-C             | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 100.0  | 50.0      | 8.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1494 | Tab. 6   | R3a-C            | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 100.0  | 50.0      | 8.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1495 | Tab. 6   | R3b-C            | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 100.0  | 50.0      | 8.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1496 | Tab. 6   | Plain-C          | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 100.0  | 50.0      | 8.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1497 | Tab. 7   | R1-C             | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 100.0  | 50.0      | 8.00                       | räumlich      | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1498 | Tab. 7   | R2-C             | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 100.0  | 50.0      | 8.00                       | räumlich      | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1499 | Tab. 7   | R3a-C            | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 100.0  | 50.0      | 8.00                       | räumlich      | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1500 | Tab. 7   | R3b-C            | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 100.0  | 50.0      | 8.00                       | räumlich      | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1501 | Tab. 7   | Plain-C          | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 100.0  | 50.0      | 8.00                       | räumlich      | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1502 | Tab. 9   | R1-C             | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 200.0  | 50.0      | 4.00                       | eben          | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1503 | Tab. 9   | R2-C             | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 200.0  | 50.0      | 4.00                       | eben          | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1504 | Tab. 9   | R3a-C            | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 200.0  | 50.0      | 4.00                       | eben          | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1505 | Tab. 9   | R3b-C            | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 200.0  | 50.0      | 4.00                       | eben          | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1506 | Tab. 9   | Plain-C          | 200.0       | 200.0                      | 300.0                      | 1.50       | 200.0  | 50.0      | 4.00                       | eben          | 0             | 25                                   |                 |   |                |
| 1507 | Tab. 10  | R2-C             | 400.0       | 400.0                      | 600.0                      | 1.50       | 100.0  | 100.0     | 16.00                      | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1508 | Tab. 10  | Plain-C          | 400.0       | 400.0                      | 600.0                      | 1.50       | 100.0  | 100.0     | 16.00                      | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1509 | Tab. 10  | R2-C             | 400.0       | 400.0                      | 600.0                      | 1.50       | 100.0  | 100.0     | 16.00                      | räumlich      | 0             | 50                                   |                 |   |                |
| 1510 | Tab. 10  | Plain-C          | 400.0       | 400.0                      | 600.0                      | 1.50       | 100.0  | 100.0     | 16.00                      | räumlich      | 0             | 50                                   |                 |   |                |
| 1511 | Tab. 2   | 1 (C50)          | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1512 | Tab. 2   | 2 (C50)          | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1513 | Tab. 2   | 3 (C50)          | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1514 | Tab. 2   | 4 (C70)          | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1515 | Tab. 2   | 5 (C70)          | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1516 | Tab. 2   | 6 (C70)          | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1517 | Tab. 2   | 7 (C105)         | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1518 | Tab. 2   | 8 (C105)         | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1519 | Tab. 2   | 9 (C105)         | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1520 | Tab. 2   | 10 (C110)        | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1521 | Tab. 2   | 11 (C110)        | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1522 | Tab. 2   | 12 (C110)        | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1523 | Tab. 2   | 13               | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1524 | Tab. 2   | 14               | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1525 | Tab. 2   | 15               | 200.0       | 200.0                      | 600.0                      | 3.00       | 100.0  | 100.0     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1526 | Tab. 5.1 | 1                | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 144.0  | 144.0     | 1.99                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1527 | Tab. 5.1 | 2                | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 101.6  | 101.6     | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1528 | Tab. 5.1 | 3                | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 83.0   | 83.0      | 5.99                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1529 | Tab. 5.1 | 4                | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 72.0   | 72.0      | 7.96                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1530 | Tab. 5.1 | 5                | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 59.0   | 59.0      | 11.86                      | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1531 | Tab. 5.1 | 6                | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 51.0   | 51.0      | 15.87                      | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1532 | Tab. 5.1 | 7                | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 162.0  | -         | 2.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1533 | Tab. 5.1 | 8                | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 115.0  | -         | 3.98                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1534 | Tab. 5.1 | 9                | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 94.0   | -         | 5.95                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1535 | Tab. 5.1 | 10               | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 81.0   | -         | 8.01                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1536 | Tab. 5.1 | 11               | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 66.0   | -         | 12.07                      | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1537 | Tab. 5.1 | 12               | 203.2       | 203.2                      | 406.4                      | 2.00       | 57.0   | -         | 16.18                      | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1538 | Tab. 5.1 | 13               | 152.4       | -                          | 304.8                      | 2.00       | 108.0  | -         | 1.99                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1539 | Tab. 5.1 | 14               | 152.4       | -                          | 304.8                      | 2.00       | 76.2   | -         | 4.00                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |
| 1540 | Tab. 5.1 | 15               | 152.4       | -                          | 304.8                      | 2.00       | 62.0   | -         | 6.04                       | räumlich      | 0             | 0                                    |                 |   |                |

| 16  | 17                                | 18                                   | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                      | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.               | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,geo,90}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,St,zug}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\omega$             | $\omega_{ld}$      | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{cr} / f_{ct,90}$  | $q_{br} / f_{ct,90}$   |
| 42.3                                      | 3.56                              | 3.27                                 | 417                              | 0.17%                | 0.64%              | 0.49%                   | 0.02                 | 0.06               | 0.20                 | 0.75               | 1.42                  | 1.75                   |
| 42.3                                      | 3.56                              | 2.51                                 | 417                              | 0.13%                | 0.48%              | 0.37%                   | 0.01                 | 0.05               | 0.16                 | 0.56               | 1.10                  | 1.36                   |
| 42.3                                      | 3.56                              | 1.76                                 | 417                              | 0.09%                | 0.32%              | 0.24%                   | 0.01                 | 0.03               | 0.11                 | 0.38               | 0.97                  | 1.13                   |
| 46.2                                      | 3.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.49                   |
| 46.2                                      | 3.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.27                   |
| 46.2                                      | 3.70                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.95                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.81                  | 3.57                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.71                  | 3.05                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.60                  | 2.98                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.53                  | 2.92                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.36                  | 2.81                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.76                  | 3.40                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.37                  | 2.98                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.42                  | 2.53                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.48                  | 2.48                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.30                  | 2.36                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.97                  | 3.02                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.89                  | 2.95                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.30                  | 2.42                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 2.19                  | 2.28                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.13                  | 2.21                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 1.69                  | 2.13                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 1.79                  | 1.95                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 1.76                  | 1.79                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 1.72                  | 1.73                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.10                  | 1.66                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 1.86                  | 1.96                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 1.80                  | 1.87                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 1.59                  | 1.78                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 1.36                  | 1.70                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 1.55                  | 1.58                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 0.87                  | 1.18                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 0.57                  | 1.04                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 0.55                  | 1.02                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.49                                 | 290                              | 0.08%                | 0.10%              | 0.05%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.05                 | 0.06               | 0.85                  | 0.90                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.69                  | 0.85                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 2.83                                 | 290                              | 0.12%                | 0.14%              | 0.07%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.07                 | 0.08               | 1.89                  | 2.70                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.00                                 | 290                              | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.17                  | 2.56                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 2.83                                 | 290                              | 0.12%                | 0.14%              | 0.07%                   | 0.01                 | 0.01               | 0.07                 | 0.08               | 1.89                  | 2.06                   |
| 47.0                                      | 5.11                              | 0.00                                 | 290                              | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 2.01                  | 2.01                   |
| 56.6                                      | 4.00                              | 5.00                                 | 550                              | 0.42%                | 1.25%              | 1.25%                   | 0.04                 | 0.12               | 0.57                 | 1.72               | 1.06                  | 2.19                   |
| 54.5                                      | 3.88                              | 5.00                                 | 550                              | 0.42%                | 1.25%              | 1.25%                   | 0.04                 | 0.13               | 0.59                 | 1.77               | 1.12                  | 2.22                   |
| 61.4                                      | 4.17                              | 5.00                                 | 550                              | 0.42%                | 1.25%              | 1.25%                   | 0.04                 | 0.11               | 0.55                 | 1.65               | 1.19                  | 2.03                   |
| 81.2                                      | 4.69                              | 7.85                                 | 550                              | 0.65%                | 1.96%              | 1.96%                   | 0.04                 | 0.13               | 0.77                 | 2.30               | 1.29                  | 2.70                   |
| 81.4                                      | 4.69                              | 7.85                                 | 550                              | 0.65%                | 1.96%              | 1.96%                   | 0.04                 | 0.13               | 0.77                 | 2.30               | 1.18                  | 2.62                   |
| 81.8                                      | 4.70                              | 7.85                                 | 550                              | 0.65%                | 1.96%              | 1.96%                   | 0.04                 | 0.13               | 0.77                 | 2.30               | 1.31                  | 2.67                   |
| 114.9                                     | 5.35                              | 9.04                                 | 550                              | 0.75%                | 2.26%              | 2.26%                   | 0.04                 | 0.11               | 0.77                 | 2.32               | 0.96                  | 2.35                   |
| 116.1                                     | 5.37                              | 9.04                                 | 550                              | 0.75%                | 2.26%              | 2.26%                   | 0.04                 | 0.11               | 0.77                 | 2.31               | 0.96                  | 2.46                   |
| 121.0                                     | 5.45                              | 9.04                                 | 550                              | 0.75%                | 2.26%              | 2.26%                   | 0.03                 | 0.10               | 0.76                 | 2.28               | 1.03                  | 2.49                   |
| 129.0                                     | 5.58                              | 11.30                                | 550                              | 0.94%                | 2.83%              | 2.83%                   | 0.04                 | 0.12               | 0.93                 | 2.78               | 0.86                  | 2.30                   |
| 125.5                                     | 5.53                              | 11.30                                | 550                              | 0.94%                | 2.83%              | 2.83%                   | 0.04                 | 0.12               | 0.94                 | 2.81               | 0.90                  | 2.31                   |
| 118.0                                     | 5.40                              | 11.30                                | 550                              | 0.94%                | 2.83%              | 2.83%                   | 0.04                 | 0.13               | 0.96                 | 2.87               | 0.93                  | 1.50                   |
| 240.0                                     | 6.82                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.65                  | 1.50                   |
| 240.0                                     | 6.82                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.65                  | 1.41                   |
| 240.0                                     | 6.82                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | 0.76                  | 1.54                   |
| 27.9                                      | 2.20                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.10                   |
| 27.9                                      | 2.20                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.44                   |
| 27.9                                      | 2.20                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.71                   |
| 30.1                                      | 2.36                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.87                   |
| 30.1                                      | 2.36                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.41                   |
| 30.1                                      | 2.36                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.84                   |
| 30.1                                      | 2.36                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.98                   |
| 30.1                                      | 2.36                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.45                   |
| 30.1                                      | 2.36                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.67                   |
| 30.1                                      | 2.36                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.84                   |
| 30.1                                      | 2.36                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 2.58                   |
| 30.1                                      | 2.36                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 3.04                   |
| 29.0                                      | 2.29                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 0.91                   |
| 29.0                                      | 2.29                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.40                   |
| 29.0                                      | 2.29                              | 0.00                                 | -                                | 0.00%                | 0.00%              | 0.00%                   | 0.00                 | 0.00               | 0.00                 | 0.00               | k.A.                  | 1.83                   |

# Anhang B

| 1    | 2            | 3                | 4           | 5                           | 6                          | 7          | 8      | 9         | 10                               | 11             | 12                | 13              | 14                             | 15             |                |
|------|--------------|------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------|------------|--------|-----------|----------------------------------|----------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| Nr.  | Autor        | Veröffentlichung | Datenquelle | Probekörper-<br>Bezeichnung | Prüfkörperab-<br>messungen |            |        | $\lambda$ | Lasplattenab-<br>messungen       |                | Lastkonzentration | Fall der<br>TFB | Exzentrizität<br>der Lasplatte | $e_{p,x}$ [mm] | $e_{p,y}$ [mm] |
|      |              |                  |             |                             | $b_p$ bzw.<br>d [mm]       | $b_y$ [mm] | h [mm] |           | $b_{p,x}$ bzw.<br>$d_{p,x}$ [mm] | $b_{p,y}$ [mm] |                   |                 |                                |                |                |
| 1541 | BOULAY       | [Bou-2004]       | Tab. 5.1    | 16                          | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 54,0                             | -              | 7,96              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1542 |              |                  | Tab. 5.1    | 17                          | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 44,0                             | -              | 11,99             | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1543 |              |                  | Tab. 5.1    | 18                          | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 38,1                             | -              | 16,00             | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1544 |              |                  | Tab. 5.1    | 19                          | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 96,0                             | 96,0           | 1,98              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1545 |              |                  | Tab. 5.1    | 20                          | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 68,0                             | 68,0           | 3,94              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1546 |              |                  | Tab. 5.1    | 21                          | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 55,0                             | 55,0           | 6,03              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1547 |              |                  | Tab. 5.1    | 22                          | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 48,0                             | 48,0           | 7,92              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1548 |              |                  | Tab. 5.1    | 23                          | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 39,0                             | 39,0           | 11,99             | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1549 |              |                  | Tab. 5.1    | 24                          | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 34,0                             | 34,0           | 15,78             | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1550 |              |                  | Tab. 5.2    | 1                           | 203,2                      | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 166,0                            | 166,0          | 1,50              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1551 |              |                  | Tab. 5.2    | 2                           | 203,2                      | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 144,0                            | 144,0          | 1,99              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1552 |              |                  | Tab. 5.2    | 3                           | 203,2                      | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 129,0                            | 129,0          | 2,48              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1553 |              |                  | Tab. 5.2    | 4                           | 203,2                      | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 117,0                            | 117,0          | 3,02              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1554 |              |                  | Tab. 5.2    | 5                           | 203,2                      | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 101,6                            | 101,6          | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1555 |              |                  | Tab. 5.2    | 6                           | 203,2                      | 203,2      | 406,4  | 2,00      | 83,0                             | 83,0           | 5,99              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1556 |              |                  | Tab. 5.2    | 7                           | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 110,0                            | 110,0          | 1,51              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1557 |              |                  | Tab. 5.2    | 8                           | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 96,0                             | 96,0           | 1,98              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1558 |              |                  | Tab. 5.2    | 9                           | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 85,0                             | 85,0           | 2,52              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1559 |              |                  | Tab. 5.2    | 10                          | 152,4                      | -          | 304,8  | 2,00      | 78,0                             | 78,0           | 3,00              | räumlich        | 0                              | 0              |                |
| 1560 | Tab. 5.2     | 11               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 68,0   | 68,0      | 3,94                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1561 | Tab. 5.2     | 12               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 55,0   | 55,0      | 6,03                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1562 | Tab. 5.3     | 1                | 152,4       | -                           | 76,2                       | 0,50       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1563 | Tab. 5.3     | 2                | 152,4       | -                           | 76,2                       | 0,50       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1564 | Tab. 5.3     | 3                | 152,4       | -                           | 101,6                      | 0,67       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1565 | Tab. 5.3     | 4                | 152,4       | -                           | 101,6                      | 0,67       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1566 | Tab. 5.3     | 5                | 152,4       | -                           | 152,4                      | 1,00       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1567 | Tab. 5.3     | 6                | 152,4       | -                           | 152,4                      | 1,00       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1568 | Tab. 5.3     | 7                | 152,4       | -                           | 203,2                      | 1,33       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1569 | Tab. 5.3     | 8                | 152,4       | -                           | 203,2                      | 1,33       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1570 | Tab. 5.3     | 9                | 152,4       | -                           | 228,6                      | 1,50       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1571 | Tab. 5.3     | 10               | 152,4       | -                           | 228,6                      | 1,50       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1572 | Tab. 5.3     | 11               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1573 | Tab. 5.3     | 12               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1574 | Tab. 5.3     | 13               | 152,4       | -                           | 457,2                      | 3,00       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1575 | Tab. 5.3     | 14               | 152,4       | -                           | 457,2                      | 3,00       | 50,0   | -         | 9,29                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1576 | Tab. 5.4     | 1                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 110,0  | 110,0     | 1,51                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1577 | Tab. 5.4     | 2                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 96,0   | 96,0      | 1,98                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1578 | Tab. 5.4     | 3                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 85,0   | 85,0      | 2,52                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1579 | Tab. 5.4     | 4                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 78,0   | 78,0      | 3,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1580 | Tab. 5.4     | 5                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 68,0   | 68,0      | 3,94                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1581 | Tab. 5.4     | 6                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 55,0   | 55,0      | 6,03                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1582 | Tab. 5.4     | 7                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 54,0   | -         | 7,96                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1583 | Tab. 5.4     | 8                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 44,0   | -         | 11,99                            | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1584 | Tab. 5.4     | 9                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 38,1   | -         | 16,00                            | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1585 | Tab. 5.5     | 1                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 110,0  | 110,0     | 1,51                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1586 | Tab. 5.5     | 2                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 96,0   | 96,0      | 1,98                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1587 | Tab. 5.5     | 3                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 85,0   | 85,0      | 2,52                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1588 | Tab. 5.5     | 4                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 78,0   | 78,0      | 3,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1589 | Tab. 5.5     | 5                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 68,0   | 68,0      | 3,94                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1590 | Tab. 5.5     | 6                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 55,0   | 55,0      | 6,03                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1591 | Tab. 5.5     | 7                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 54,0   | -         | 7,96                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1592 | Tab. 5.5     | 8                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 44,0   | -         | 11,99                            | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1593 | Tab. 5.5     | 9                | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 38,1   | -         | 16,00                            | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1594 | Tab. 5.5     | 10               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 96,0   | hexagonal | hexagonal                        | 1,98           | räumlich          | 0               | 0                              |                |                |
| 1595 | Tab. 5.5     | 11               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 96,0   | hexagonal | hexagonal                        | 1,98           | räumlich          | 0               | 0                              |                |                |
| 1596 | Tab. 5.5     | 12               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 85,0   | 85,0      | 2,52                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1597 | Tab. 5.5     | 13               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 78,0   | 78,0      | 3,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1598 | Tab. 5.5     | 14               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 68,0   | 68,0      | 3,94                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1599 | Tab. 5.5     | 15               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 55,0   | 55,0      | 6,03                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1600 | Tab. 5.5     | 16               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 54,0   | -         | 7,96                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1601 | Tab. 5.5     | 17               | 152,4       | -                           | 304,8                      | 2,00       | 38,1   | -         | 16,00                            | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1602 | Tab. 5.12a/b | 1                | 203,2       | 203,2                       | 406,4                      | 2,00       | 101,6  | 101,6     | 4,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1603 | Tab. 5.12a/b | 2                | 203,2       | 203,2                       | 406,4                      | 2,00       | 101,6  | 101,6     | 4,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1604 | Tab. 5.12a/b | 3                | 203,2       | 203,2                       | 406,4                      | 2,00       | 101,6  | 101,6     | 4,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1605 | Tab. 5.12a/b | 4                | 203,2       | 203,2                       | 406,4                      | 2,00       | 101,6  | 101,6     | 4,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1606 | Tab. 5.12a/b | 5                | 203,2       | 203,2                       | 406,4                      | 2,00       | 101,6  | 101,6     | 4,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1607 | Tab. 5.12a/b | 6                | 203,2       | 203,2                       | 406,4                      | 2,00       | 101,6  | 101,6     | 4,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1608 | Tab. 5.12a/b | 7                | 203,2       | 203,2                       | 406,4                      | 2,00       | 101,6  | 101,6     | 4,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1609 | Tab. 5.12a/b | 8                | 203,2       | 203,2                       | 406,4                      | 2,00       | 101,6  | 101,6     | 4,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |
| 1610 | Tab. 5.12a/b | 9                | 203,2       | 203,2                       | 406,4                      | 2,00       | 101,6  | 101,6     | 4,00                             | räumlich       | 0                 | 0               |                                |                |                |

| 16                                      | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                  | 24                | 25                  | 26                | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                    | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | meh. Bew.-Grad ges. | meh. Bew.-Grad ld | meh. Bew.-Grad ges. | meh. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ct,1,geom}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{s,Spz}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{ym}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\omega$            | $\omega_{ld}$     | $\mu$               | $\mu_{ld}$        | $q_{cr}/f_{ct,sp}$    | $q_{br}/f_{ct,sp}$     |
| 29,0                                    | 2,29                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 2,29                   |
| 29,0                                    | 2,29                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 2,66                   |
| 29,0                                    | 2,29                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 3,70                   |
| 29,0                                    | 2,29                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,98                   |
| 29,0                                    | 2,29                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,60                   |
| 29,0                                    | 2,29                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,99                   |
| 29,0                                    | 2,29                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 2,32                   |
| 29,0                                    | 2,29                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 2,82                   |
| 29,0                                    | 2,29                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 3,50                   |
| 31,0                                    | 2,43                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,85                   |
| 31,0                                    | 2,43                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,12                   |
| 31,0                                    | 2,43                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,17                   |
| 31,0                                    | 2,43                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,25                   |
| 31,0                                    | 2,43                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,46                   |
| 31,0                                    | 2,43                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,76                   |
| 32,1                                    | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,94                   |
| 32,1                                    | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,03                   |
| 32,1                                    | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,24                   |
| 32,1                                    | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,18                   |
| 32,1                                    | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,48                   |
| 32,1                                    | 2,50                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,84                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,42                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,48                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,98                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,03                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,99                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,12                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,21                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,26                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,28                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,25                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,23                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,26                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,34                   |
| 28,5                                    | 2,25                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,29                   |
| 53,5                                    | 3,82                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,80                   |
| 53,5                                    | 3,82                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,89                   |
| 53,5                                    | 3,82                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,86                   |
| 53,5                                    | 3,82                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,91                   |
| 53,5                                    | 3,82                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,20                   |
| 53,5                                    | 3,82                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,58                   |
| 53,5                                    | 3,82                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,89                   |
| 53,5                                    | 3,82                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 2,20                   |
| 53,5                                    | 3,82                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 2,70                   |
| 53,2                                    | 3,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,81                   |
| 53,2                                    | 3,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,00                   |
| 53,2                                    | 3,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,06                   |
| 53,2                                    | 3,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,16                   |
| 53,2                                    | 3,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,17                   |
| 53,2                                    | 3,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,61                   |
| 53,2                                    | 3,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,73                   |
| 53,2                                    | 3,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 2,30                   |
| 53,2                                    | 3,80                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 2,81                   |
| 75,5                                    | 4,55                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,78                   |
| 75,5                                    | 4,55                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,81                   |
| 75,5                                    | 4,55                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 0,89                   |
| 75,5                                    | 4,55                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,01                   |
| 75,5                                    | 4,55                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,13                   |
| 75,5                                    | 4,55                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,58                   |
| 75,5                                    | 4,55                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 1,78                   |
| 75,5                                    | 4,55                              | 0,00                              | -                                | 0,00%                | 0,00%              | 0,00%                   | 0,00                | 0,00              | 0,00                | 0,00              | k.A.                  | 2,23                   |
| 43,8                                    | 4,83                              | 11,35                             | 414                              | 1,38%                | 1,38%              | 1,04%                   | 0,13                | 0,13              | 1,18                | 1,18              | k.A.                  | 2,58                   |
| 43,8                                    | 4,83                              | 11,35                             | 414                              | 1,38%                | 1,38%              | 1,04%                   | 0,13                | 0,13              | 1,18                | 1,18              | k.A.                  | 2,72                   |
| 42,4                                    | 4,67                              | 11,35                             | 414                              | 1,38%                | 1,38%              | 1,04%                   | 0,13                | 0,13              | 1,22                | 1,22              | k.A.                  | 2,47                   |
| 42,4                                    | 4,67                              | 11,35                             | 414                              | 1,38%                | 1,38%              | 1,04%                   | 0,13                | 0,13              | 1,22                | 1,22              | k.A.                  | 2,77                   |
| 44,5                                    | 4,92                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,16                | 0,16              | 1,45                | 1,45              | k.A.                  | 2,77                   |
| 42,4                                    | 4,67                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,17                | 0,17              | 1,52                | 1,52              | k.A.                  | 2,91                   |
| 44,5                                    | 4,92                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,16                | 0,16              | 1,45                | 1,45              | k.A.                  | 2,48                   |
| 40,5                                    | 4,52                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,18                | 0,18              | 1,57                | 1,57              | k.A.                  | 2,61                   |
| 40,5                                    | 4,52                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,18                | 0,18              | 1,57                | 1,57              | k.A.                  | 3,46                   |

# Anhang B

| 1    | 2       | 3                | 4            | 5                           | 6                          |                     |        | 7         | 8  | 9                      | 10                |                 | 11                             | 12                                | 13   | 14 | 15 |
|------|---------|------------------|--------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|--------|-----------|--|------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|----|----|
| Nr.  | Autor   | Veröffentlichung | Datenquelle  | Probekörper-<br>Bezeichnung | Prüfkörperab-<br>messungen |                     |        | $\lambda$ | Lastplattenab-<br>messungen                    |                        | Lastkonzentration | Fall der<br>TFB | Exzentrizität<br>der Lasplatte |                                   |  |    |    |
|      |         |                  |              |                             | b, bzw.<br>d [mm]          | b <sub>y</sub> [mm] | h [mm] |           | b <sub>pr</sub> , bzw.<br>d <sub>pr</sub> [mm] | b <sub>pr,y</sub> [mm] |                   |                 |                                | A <sub>31</sub> / A <sub>30</sub> | e <sub>pr,x</sub> [mm]<br>e <sub>pr,y</sub> [mm] |    |    |
| 1611 | BONETTI | [Bon-2005]       | Tab. 5.12a/b | 10                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1612 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 11                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1613 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 12                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1614 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 13                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1615 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 14                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1616 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 15                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1617 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 16                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1618 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 17                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1619 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 18                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1620 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 19                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1621 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 20                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1622 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 21                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1623 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 22                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1624 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 23                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1625 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 24                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1626 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 25                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1627 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 26                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1628 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 27                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1629 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 28                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1630 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 29                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1631 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 30                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1632 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 31                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1633 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 32                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1634 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 33                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1635 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 34                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1636 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 35                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |
| 1637 |         |                  | Tab. 5.12a/b | 36                          | 203,2                      | 203,2               | 406,4  | 2,00      | 101,6  | 101,6                  | 4,00              | räumlich        | 0                              | 0                                 |  |    |    |

| 16  | 17                                | 18                                | 19                               | 20                   | 21                 | 22                      | 23                   | 24                 | 25                   | 26                 | 27                    | 28                     |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Betondruckfestigkeit                        | Betonzugfestigkeit                | Spaltzugbewehrung ges.            | Streckgrenze Bew.stahl           | geom. Bew.-Grad ges. | geom. Bew.-Grad ld | bez. geom. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | mech. Bew.-Grad ges. | mech. Bew.-Grad ld | bez. Risslastspannung | bez. Bruchlastspannung |
| $f_{ctd}(1/30,300)$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $f_{ctm}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $A_{st,sg}$<br>[cm <sup>2</sup> ] | $f_{yk}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $\rho$               | $\rho_{ld}$        | $\rho_{ld}^*$           | $\omega$             | $\omega_{ld}$      | $\mu$                | $\mu_{ld}$         | $q_{res} / f_{ctd}$   | $q_{br} / f_{ctd}$     |
| 42,4  | 4,67                              | 18,45                             | 414                              | 2,23%                | 2,23%              | 1,68%                   | 0,22                 | 0,22               | 1,98                 | 1,98               | k. A.                 | 2,86                   |
| 40,5  | 4,52                              | 17,03                             | 414                              | 2,06%                | 2,06%              | 1,55%                   | 0,21                 | 0,21               | 1,89                 | 1,89               | k. A.                 | 3,17                   |
| 40,5  | 4,52                              | 17,03                             | 414                              | 2,06%                | 2,06%              | 1,55%                   | 0,21                 | 0,21               | 1,89                 | 1,89               | k. A.                 | 3,12                   |
| 42,4  | 4,67                              | 18,45                             | 414                              | 2,23%                | 2,23%              | 1,68%                   | 0,22                 | 0,22               | 1,98                 | 1,98               | k. A.                 | 3,13                   |
| 42,4  | 4,67                              | 21,29                             | 414                              | 2,58%                | 2,58%              | 1,94%                   | 0,25                 | 0,25               | 2,28                 | 2,28               | k. A.                 | 3,09                   |
| 43,8  | 4,83                              | 8,52                              | 414                              | 1,03%                | 1,03%              | 0,78%                   | 0,10                 | 0,10               | 0,88                 | 0,88               | k. A.                 | 2,26                   |
| 43,8  | 4,83                              | 9,94                              | 414                              | 1,20%                | 1,20%              | 0,91%                   | 0,11                 | 0,11               | 1,03                 | 1,03               | k. A.                 | 2,16                   |
| 43,8  | 4,83                              | 11,35                             | 414                              | 1,38%                | 1,38%              | 1,04%                   | 0,13                 | 0,13               | 1,18                 | 1,18               | k. A.                 | 2,34                   |
| 43,8  | 4,83                              | 11,35                             | 414                              | 1,38%                | 1,38%              | 1,04%                   | 0,13                 | 0,13               | 1,18                 | 1,18               | k. A.                 | 2,48                   |
| 44,5  | 4,92                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,16                 | 0,16               | 1,45                 | 1,45               | k. A.                 | 2,65                   |
| 44,5  | 4,92                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,16                 | 0,16               | 1,45                 | 1,45               | k. A.                 | 2,83                   |
| 42,4  | 4,67                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,17                 | 0,17               | 1,47                 | 1,47               | k. A.                 | 2,60                   |
| 43,8  | 4,83                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,16                 | 0,16               | 1,47                 | 1,47               | k. A.                 | 2,73                   |
| 40,5  | 4,52                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,18                 | 0,18               | 1,57                 | 1,57               | k. A.                 | 2,71                   |
| 43,8  | 4,83                              | 17,03                             | 414                              | 2,06%                | 2,06%              | 1,55%                   | 0,20                 | 0,20               | 1,77                 | 1,77               | k. A.                 | 2,91                   |
| 43,8  | 4,83                              | 17,03                             | 414                              | 2,06%                | 2,06%              | 1,55%                   | 0,20                 | 0,20               | 1,77                 | 1,77               | k. A.                 | 3,00                   |
| 42,4  | 4,67                              | 17,03                             | 414                              | 2,06%                | 2,06%              | 1,55%                   | 0,20                 | 0,20               | 1,83                 | 1,83               | k. A.                 | 2,34                   |
| 42,4  | 4,67                              | 17,03                             | 414                              | 2,06%                | 2,06%              | 1,55%                   | 0,20                 | 0,20               | 1,83                 | 1,83               | k. A.                 | 2,84                   |
| 42,4  | 4,67                              | 17,03                             | 414                              | 2,06%                | 2,06%              | 1,55%                   | 0,20                 | 0,20               | 1,83                 | 1,83               | k. A.                 | 2,79                   |
| 42,4  | 4,67                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,17                 | 0,17               | 1,52                 | 1,52               | k. A.                 | 3,12                   |
| 42,4  | 4,67                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,17                 | 0,17               | 1,52                 | 1,52               | k. A.                 | 3,62                   |
| 42,4  | 4,67                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,17                 | 0,17               | 1,52                 | 1,52               | k. A.                 | 2,84                   |
| 42,4  | 4,67                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,17                 | 0,17               | 1,52                 | 1,52               | k. A.                 | 2,98                   |
| 40,5  | 4,52                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,18                 | 0,18               | 1,57                 | 1,57               | k. A.                 | 3,03                   |
| 40,5  | 4,52                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,18                 | 0,18               | 1,57                 | 1,57               | k. A.                 | 3,27                   |
| 40,5  | 4,52                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,18                 | 0,18               | 1,57                 | 1,57               | k. A.                 | 2,91                   |
| 42,4  | 4,67                              | 14,19                             | 414                              | 1,72%                | 1,72%              | 1,29%                   | 0,17                 | 0,17               | 1,52                 | 1,52               | k. A.                 | 3,08                   |



## Anhang C:

## Parameter der numerischen Berechnungen zum Einfluss der Steifigkeitsabnahmen infolge der Rissbildung (Kapitel 5.4)

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Programm</b>          | TNO DIANA   |
| <b>Modell</b>            | 2D-Modell, ebener Spannungszustand; 3D-Modell   |
| <b>Elemente</b>          | Scheiben-Elemente CQ16M, Volumen-Elemente CHX60, Kantenlänge 2,5 cm   |
| <b>Berechnungsart</b>    | nichtlinear (Federlagerung), kraftgesteuert   |
| <b>Materialansatz</b>    | Scheiben- / Volumen-Elemente (Beton) linear-elastisch   |
| <b>Materialparameter</b> | <u>Beton</u><br>Elastizitätsmodul: $E = 28.300 \text{ N/mm}^2$<br>Querdehnzahl: $\nu = 0,2$   |
| <b>Lagerung</b>          | vertikal: Unterkante starr<br>horizontal: Symmetrieachsen Federlagerung mit starrer Druckseite  |
| <b>Belastung</b>         | vertikal wirkende Knotenkräfte auf Lastlinie bzw. -fläche   |
| <b>Modellbild</b>        | <p>Scheiben-Elemente (CQ16M, plane stress)      Volumen-Elemente (CHX60)</p> <p><math>d_1/2</math>      Federlagerung der Schnittlinie      <math>d_1/2</math>      <math>b_1/2 = d_1/2</math>      Federlagerung der Schnittflächen</p> <p><math>q_1</math>      <math>q_1</math></p> <p>3,00      3,00</p> <p>50      50      1,00      1,00</p> <p>Federsteifigkeit</p> <p><math>c</math></p> <p><math>c_{fed,d} \approx \infty</math> (starr)</p> <p><math>c_{fed,z}</math></p> <p>Druck      Zug      <math>u</math></p> |



## Anhang D: Parameter der numerischen Berechnungen zur Modellierung des Betonverhaltens (Kapitel 6.3)

Nachrechnung Versuche KUPFER

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Programm</b>          | TNO DIANA  |
| <b>Modell</b>            | 2D-Modell, ebener Spannungszustand, 1-Element-Modell   |
| <b>Elemente</b>          | Scheiben-Element CQ16M, Kantenlänge 20 cm  |
| <b>Berechnungsart</b>    | nichtlinear (Materialmodellierung), kraftgesteuert   |
| <b>Materialansatz</b>    | Scheiben-Elemente (Beton) elasto-plastischer Ansatz nach<br>DRUCKER / PRAGER   |
| <b>Materialparameter</b> | <u>Beton</u><br>Ableitung des Kohäsionsverlaufs aus den Versuchsdaten der einaxial beanspruchten Probekörper<br>Elastizitätsmodul:           entsprechend Versuchsergebnis<br>Querdehnzahl: $\nu = 0,2$<br>Innerer Reibwinkel: $\phi$ unterschiedlich<br>Dilatationswinkel: $\psi$ unterschiedlich |
| <b>Lagerung</b>          | vertikal:           ein Seitenmittelpunkt starr<br>horizontal:       ein Seitenmittelpunkt starr   |
| <b>Belastung</b>         | gleichmäßige Spannung auf den Elementkanten  |
| <b>Modellbild</b>        |  |

### Nachrechnung Versuche ROGGE

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Programm</b>          | TNO DIANA   |
| <b>Modell</b>            | 3D-Modell, 1-Element-Modell   |
| <b>Elemente</b>          | Volumen-Element CHX60, Kantenlänge 15 cm  |
| <b>Berechnungsart</b>    | nichtlinear (Materialmodellierung), kraftgesteuert  |
| <b>Materialansatz</b>    | Volumen-Elemente (Beton)                      elasto-plastischer Ansatz nach<br>DRUCKER / PRAGER  |
| <b>Materialparameter</b> | <u>Beton</u><br>Ableitung des Kohäsionsverlaufs aus den Versuchsdaten der einaxial beanspruchten Probekörper<br>Elastizitätsmodul:                      entsprechend Versuchsergebnis<br>Querdehnzahl: $\nu = 0,2$<br>Innerer Reibwinkel: $\phi$ unterschiedlich<br>Dilatationswinkel: $\psi$ unterschiedlich |
| <b>Lagerung</b>          | jede Raumrichtung:                      unverschiebliche Lagerung einer Elementfläche   |
| <b>Belastung</b>         | jede Raumrichtung:                      gleichmäßige Spannung auf nicht gelagerter<br>Elementfläche   |
| <b>Modellbild</b>        | -   |

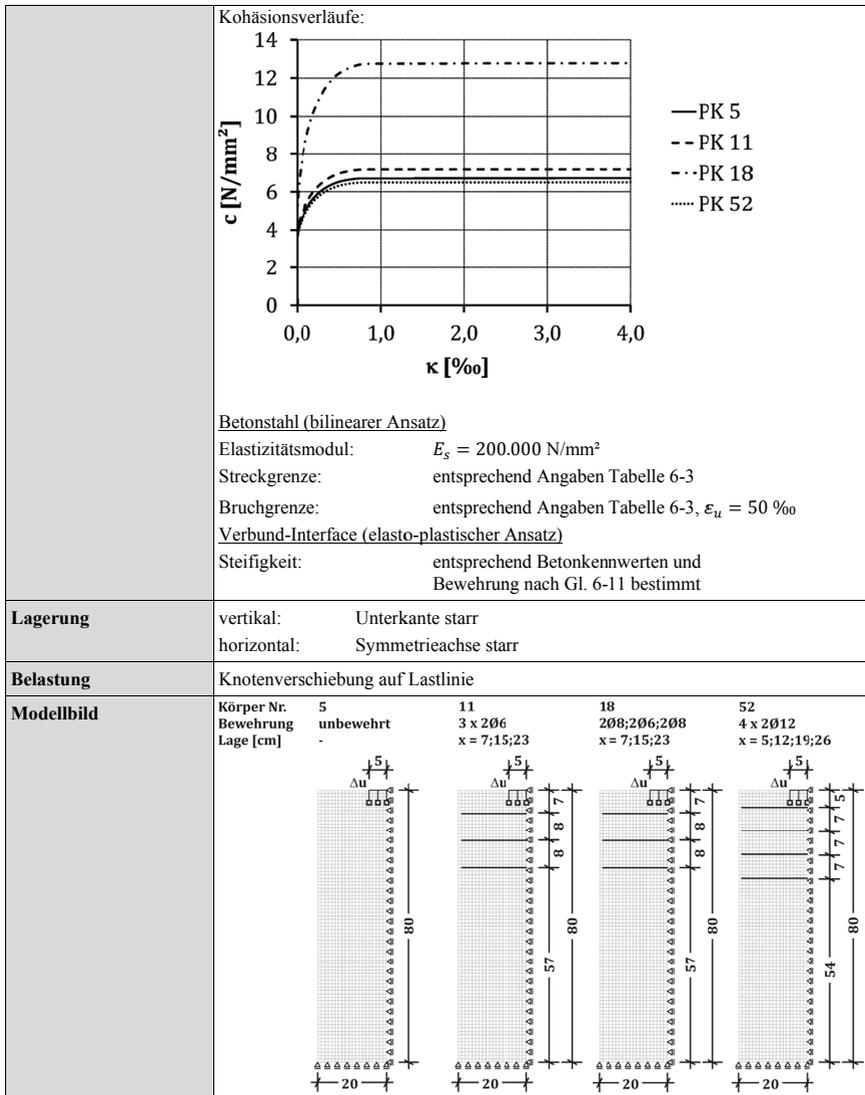
## Angang E: Parameter der numerischen Berechnungen zur Modellierung des Verbundverhaltens zwischen Betonstahlbewehrung und Betonmatrix (Kapitel 6.5)

|                          |   |  |
|--------------------------|---|--|
| <b>Programm</b>          | TNO DIANA   |  |
| <b>Modell</b>            | 2D-Modell, ebener Spannungszustand  |  |
| <b>Elemente</b>          | Scheiben-Elemente CQ16M, Kantenlänge $\leq 10$ cm<br>Stab-Elemente CL6TR<br>Interface-Elemente CL12I  |  |
| <b>Berechnungsart</b>    | nichtlinear (Materialmodellierung), weggesteuert  |  |
| <b>Materialansatz</b>    | Interface-Elemente (Verbund)<br>Stab-Elemente (Bewehrung)<br>Scheiben-Elemente (Beton)  | starr-plastischer Ansatz<br>bilinearer Ansatz<br>linear-elastischer Ansatz |
| <b>Materialparameter</b> | <u>Beton (linear-elastisch)</u><br>Elastizitätsmodul:           entsprechend Angaben Tabelle 6-1<br>Querdehnzahl: $\nu = 0,2$<br><u>Betonstahl (bilinearer Ansatz)</u><br>Elastizitätsmodul:           entsprechend Angaben Tabelle 6-1<br>Streckgrenze:               entsprechend Angaben Tabelle 6-1<br>Bruchgrenze:               entsprechend Angaben Tabelle 6-1<br><u>Verbund-Interface (elasto-plastischer Ansatz)</u><br>Steifigkeit:                 VK 2: 154 N/mm, VK 23: 317 N/mm <sup>2</sup> |  |
| <b>Lagerung</b>          | vertikal:           2 Knoten der Scheiben-Elemente in Mittellinie starr<br>horizontal:       Linien beidseitig der Lasteinleitung starr   |  |
| <b>Belastung</b>         | Knotenverschiebung Stab-Elementende   |  |
| <b>Modellbild</b>        | <p>Scheiben-Elemente (CQ16M)</p> <p>Interface-Elemente (CL12I)</p> <p>Stab-Elemente (CL6TR)</p> <p>Dicke 200</p> <p><math>\Delta u</math></p> <p>600    200    [mm]</p> <p>150<br/>200<br/>150</p>  |  |



## Anhang F: Parameter der numerischen Berechnungen zur Kalibrierung und Verifizierung des Modells zum ebenen Fall (Kapitel 6.6)

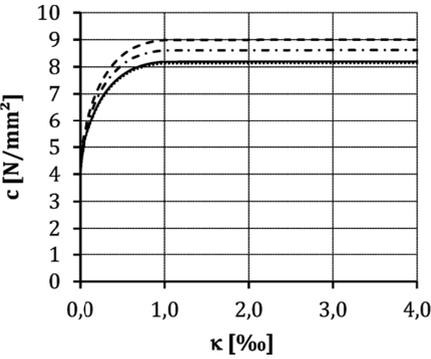
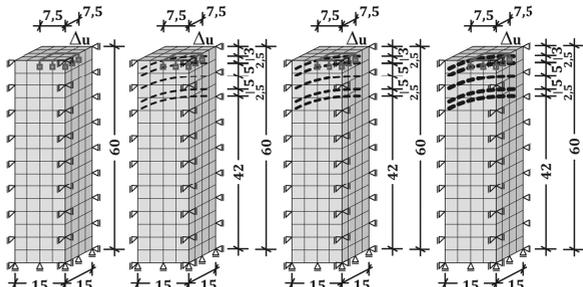
|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Programm</b>          | TNO DIANA  |
| <b>Modell</b>            | 2D-Modell, ebener Spannungszustand   |
| <b>Elemente</b>          | Scheiben-Elemente CQ16M, Kantenlänge 1 cm<br>Stab-Elemente CL6TR<br>Interface-Elemente CL12I   |
| <b>Berechnungsart</b>    | nichtlinear (Materialmodellierung), weggesteuert   |
| <b>Materialansatz</b>    | Interface-Elemente (Verbund)      starr-plastischer Ansatz<br>Stab-Elemente (Bewehrung)      bilinearer Ansatz<br>Scheiben-Elemente (Beton)      elasto-plastischer Ansatz nach<br>DRUCKER / PRAGER  |
| <b>Materialparameter</b> | <p><u>Beton (Ansatz nach DRUCKER / PRAGER)</u></p> <p>Elastizitätsmodul:            entsprechend Druckfestigkeit aus Tabelle 6-2 berechnet</p> <p>Querdehnzahl:                <math>\nu = 0,2</math></p> <p>Innerer Reibwinkel:         <math>\phi = 20^\circ</math></p> <p>Dilatationswinkel:         <math>\psi = 10^\circ</math></p> <p>Spannungs-Dehnungs-Linie Beton nach DIN 1045-1, Kapitel 9.1.5</p> <p>Druckfestigkeit:              entsprechend Angaben Tabelle 6-3<br/>mit Anpassungen:          PK 5: 90 %, PK11 100 %, PK18 100 %,<br/>PK 52 90 %</p> <p>Zugfestigkeit:                entsprechend Angaben Tabelle 6-3<br/>mit Anpassungen:          PK 5: 125 %, PK11 80 %, PK18 110 %,<br/>PK 52 90 %</p> <p>Arbeitslinien:</p> <p style="text-align: center;"><math>\sigma_c</math> [N/mm<sup>2</sup>]</p> <p style="text-align: center;"><math>\epsilon_c</math> [‰]</p> <p style="text-align: right;">— PK 5<br/>-- PK 11<br/>- · - PK 18<br/>..... PK 52</p> |



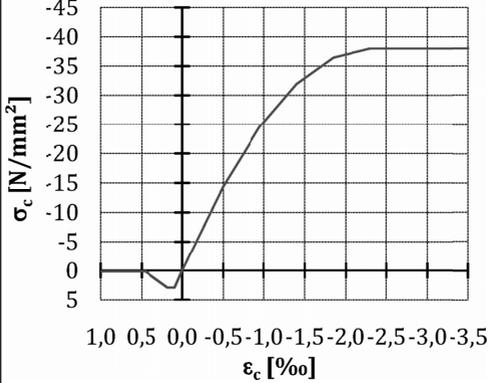
## Anhang G: Parameter der numerischen Berechnungen zur Kalibrierung und Verifizierung des Modells für den räumlichen Fall (Kapitel 6.6)

|                          |   |   |
|--------------------------|---|---|
| <b>Programm</b>          | TNO DIANA   |   |
| <b>Modell</b>            | 3D-Modell   |   |
| <b>Elemente</b>          | Volumen-Elemente CHX60, Kantenlänge 3,75 cm<br>Stab-Elemente (embedded reinforcement)   |   |
| <b>Berechnungsart</b>    | nichtlinear (Materialmodellierung), weggesteuert  |   |
| <b>Materialansatz</b>    | Stab-Elemente (Bewehrung)<br>Scheiben-Elemente (Beton)  | bilinearer Ansatz<br>elasto-plastischer Ansatz nach<br>DRUCKER / PRAGER |
| <b>Materialparameter</b> | <p>Beton (Ansatz nach DRUCKER / PRAGER)</p> <p>Elastizitätsmodul:           entsprechend Druckfestigkeit aus Tabelle 6-4 berechnet</p> <p>Querdehnzahl:               <math>\nu = 0,2</math></p> <p>Innerer Reibwinkel:         <math>\phi = 20^\circ</math></p> <p>Dilatationswinkel:         <math>\psi = 20^\circ</math></p> <p>Spannungs-Dehnungs-Linie Beton nach DIN 1045-1, Kapitel 9.1.5</p> <p>Druckfestigkeit:             entsprechend Angaben Tabelle 6-4</p> <p>mit Anpassungen:         PK 3: 85 %, PK38 85 %, PK33 90 %, PK 32 85 %</p> <p>Zugfestigkeit:             entsprechend Angaben Tabelle 6-4</p> <p>mit Anpassungen:         PK 3: 85 %, PK38 100 %, PK33 100 %, PK 32 90 %</p> <p>Arbeitslinien:</p> <p style="text-align: center;"><math>\sigma_c</math> [N/mm<sup>2</sup>]</p> <p style="text-align: center;"><math>\epsilon_c</math> [‰]</p> <p style="text-align: right;">— PK 3<br/>-- PK 38<br/>-·- PK 33<br/>..... PK 32</p> |   |

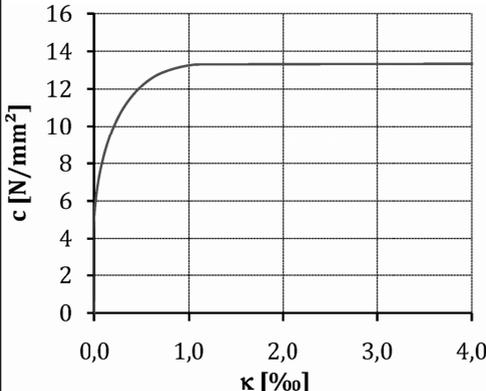
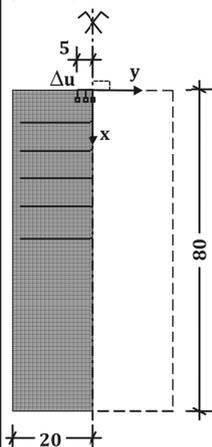
# Anhang G

|                   |   |            |     |     |    |    |           |           |    |     |     |
|-------------------|---|------------|-----|-----|----|----|-----------|-----------|----|-----|-----|
|                   | <p>Kohäsionsverläufe:</p>  <p>— PK 3<br/>         -- PK 38<br/>         -·-· PK 33<br/>         ..... PK 32</p> <p>Betonstahl (bilinearer Ansatz)<br/>         Elastizitätsmodul: <math>E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2</math><br/>         Streckgrenze: entsprechend Angaben Tabelle 6-5<br/>         Bruchgrenze: entsprechend Angaben Tabelle 6-5</p> |            |     |     |    |    |           |           |    |     |     |
| <b>Lagerung</b>   | vertikal: Unterkante starr<br>horizontal: Symmetrieflächen starr  |            |     |     |    |    |           |           |    |     |     |
| <b>Belastung</b>  | Knotenverschiebung auf Lastfläche   |            |     |     |    |    |           |           |    |     |     |
| <b>Modellbild</b> | <table border="0"> <tr> <td>Körper Nr.</td> <td>3</td> <td>38</td> <td>33</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Bewehrung</td> <td>unbewehrt</td> <td>Ø8</td> <td>Ø12</td> <td>Ø16</td> </tr> </table>    | Körper Nr. | 3   | 38  | 33 | 32 | Bewehrung | unbewehrt | Ø8 | Ø12 | Ø16 |
| Körper Nr.        | 3   | 38         | 33  | 32  |    |    |           |           |    |     |     |
| Bewehrung         | unbewehrt   | Ø8         | Ø12 | Ø16 |    |    |           |           |    |     |     |

## Anhang H: Parameter der numerischen Berechnungen zur Untersuchung unterschiedlicher konstruktiver Durchbildungen (Kapitel 7)

| <b>Programm</b>          | TNO DIANA   |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
|--------------------------|---|--|-------------------------|--|-----|---|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|
| <b>Modell</b>            | 2D-Modell, ebener Spannungszustand  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| <b>Elemente</b>          | Scheiben-Elemente CQ16M, Kantenlänge 1 cm<br>Stab-Elemente CL6TR<br>Interface-Elemente CL12I  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| <b>Berechnungsart</b>    | nichtlinear (Materialmodellierung), weggesteuert  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| <b>Materialansatz</b>    | Interface-Elemente (Verbund)<br>Stab-Elemente (Bewehrung)<br>Scheiben-Elemente (Beton)  | elasto-plastischer Ansatz<br>bilinearer Ansatz<br>elasto-plastischer Ansatz nach<br>DRUCKER / PRAGER |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| <b>Materialparameter</b> | <p>Beton (Ansatz nach DRUCKER / PRAGER)</p> <p>Elastizitätsmodul: <math>E_{cm} = 28.300 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Querdehnzahl: <math>\nu = 0,2</math></p> <p>Innerer Reibwinkel: <math>\phi = 20^\circ</math></p> <p>Dilatationswinkel: <math>\psi = 10^\circ</math></p> <p>Spannungs-Dehnungs-Linie Beton nach DIN 1045-1, Kapitel 9.1.5 für einen Beton der Druckfestigkeitsklasse C30/37 (Mittelwertniveau)</p> <p>Arbeitslinie:</p>  <table border="1"> <caption>Data points for the stress-strain curve</caption> <thead> <tr> <th>Strain <math>\epsilon_c</math> [%]</th> <th>Stress <math>\sigma_c</math> [N/mm<sup>2</sup>]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-0,2</td><td>-2</td></tr> <tr><td>-0,5</td><td>15</td></tr> <tr><td>-1,0</td><td>25</td></tr> <tr><td>-1,5</td><td>32</td></tr> <tr><td>-2,0</td><td>36</td></tr> <tr><td>-2,5</td><td>38</td></tr> <tr><td>-3,0</td><td>38</td></tr> <tr><td>-3,5</td><td>38</td></tr> </tbody> </table> |  | Strain $\epsilon_c$ [%] | Stress $\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ] | 0,0 | 0 | -0,2 | -2 | -0,5 | 15 | -1,0 | 25 | -1,5 | 32 | -2,0 | 36 | -2,5 | 38 | -3,0 | 38 | -3,5 | 38 |
| Strain $\epsilon_c$ [%]  | Stress $\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| 0,0                      | 0   |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| -0,2                     | -2  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| -0,5                     | 15  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| -1,0                     | 25  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| -1,5                     | 32  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| -2,0                     | 36  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| -2,5                     | 38  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| -3,0                     | 38  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
| -3,5                     | 38  |  |                         |  |     |   |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |

# Anhang H

|                   |  |
|-------------------|--|
|                   | <p>Kohäsionsverläufe:</p>  <p>Betonstahl (bilinearer Ansatz)</p> <p>Elastizitätsmodul: <math>E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2</math></p> <p>Streckgrenze: <math>f_{ym} = 550 \text{ N/mm}^2, \epsilon_{ym} = 2,75 \text{ ‰}</math></p> <p>Bruchgrenze: <math>f_{tm} = 594 \text{ N/mm}^2, \epsilon_{um} = 50 \text{ ‰}</math></p> <p>Verbund-Interface (elasto-plastischer Ansatz)</p> <p>Grenzspannung: <math>\tau_{max} = 5,8 \text{ N/mm}^2</math></p> |
| <b>Lagerung</b>   | <p>vertikal: Unterkante starr</p> <p>horizontal: Symmetrieachse starr</p>  |
| <b>Belastung</b>  | <p>Knotenverschiebung auf Lastlinie</p>  |
| <b>Modellbild</b> | <p>Grundmodell</p>  <p>Varianten der Bewehrungsanordnung entsprechend Tabelle 7-1,<br/>Modelle der Zusatzuntersuchungen in Anlehnung an Modelle zu Kapitel 6</p>   |





## **VERZEICHNIS DER BISHER IN DER SCHRIFTENREIHE DES IBMB ERSCHIENENEN HEFTE (ISSN 1439-3875)**

In der Schriftenreihe "Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig - ISSN 0178-5796 (Heft 1 bis 16 als "Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig", Heft 17 bis 39 als "Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig") sind bisher die nachfolgend aufgeführten Hefte erschienen.

Sie können bezogen werden von:

Institut für Baustoffe,  
Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig  
Bibliothek  
Beethovenstraße 52  
38106 Braunschweig

Tel. (05 31) 3 91-54 54  
Fax (05 31) 3 91-5900  
E-Mail o.dienelt@tu-bs.de

oder über jede Buchhandlung.

Kosten:  
Je nach Umfang zwischen € 7 und € 30  
(zuzüglich Versandkosten)

Das aktuelle Verzeichnis unter:  
[www.ibmb.tu-bs.de](http://www.ibmb.tu-bs.de) (→ Bibliothek)

Vergriffene Hefte können als Kopien gegen Erstattung der Kopierkosten bezogen werden.

Heft 1:

Deters, R.: Über das Verdunstungsverhalten und den Nachweis öliger Holzschutzmittel. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1962; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1962

Heft 2:

Kordina, K.: Das Verhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen unter Feuerangriff. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1963; Sonderdruck aus: Beton 13(1962), S. 11-18, 81-84

Heft 3:

Eibl, J.: Zur Stabilitätsfrage des Zweigelenkbogens mit biegeweichem Zugband und schlaffen Hängestangen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1963; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1963

Heft 4:

Kordina, K.; Eibl, J.: Ein Verfahren zur Bestimmung des Vorspannverlustes infolge Schlupf in der Verankerung. Zur Frage der Temperaturbeanspruchung von kreiszylindrischen Stahlbetonsilos. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1964; Sonderdruck aus: Beton- und Stahlbetonbau 58(1963), S. 265-268; 59(1964), S. 1-11

Heft 5:

Ertingshausen, H.: Über den Schalungsdruck von Frischbeton. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1965; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Hannover, 1965

#### Heft 6:

Waubke, N.V.: Transportphänomene in Betonporen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1966; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

#### Heft 7:

Ehm, H.: Ein Beitrag zur rechnerischen Bemessung von brandbeanspruchten balkenartigen Stahlbetonbauteilen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1967; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1967

#### Heft 8:

Steinert, J.: Möglichkeiten der Bestimmung der kritischen Last von Stab- und Flächentragwerken mit Hilfe ihrer Eigenfrequenz. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1967; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1967

#### Heft 9:

Lämmke, A.: Untersuchungen an dämmschichtbildenden Feuerschutzmitteln. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1967; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1967

#### Heft 10:

Rafla, K.: Beitrag zur Frage der Kippstabilität aufgehängter Träger. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1968; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

#### Heft 11:

Ivanyi, G.: Die Traglast von offenen, kreisförmigen Stahlbetonquerschnitten: Brazier-Effekt. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1968; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

#### Heft 12:

Meyer-Ottens, C.: Brandverhalten verschiedener Bauplatten aus Baustoffen der Klassen A und B. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1969

#### Heft 13:

Fuchs, G.: Zum Tragverhalten von kreisförmigen Doppelsilos unter Berücksichtigung der Eigensteifigkeit des Füllgutes. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1968; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

#### Heft 14:

Meyer-Ottens, C.: Wände aus Holz und Holzwerkstoffen unter Feuerangriff. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1970; Sonderdruck aus: Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, H.56(1969)

#### Heft 15:

Lewandowski, R.: Beurteilung von Bauwerksfestigkeiten anhand von Betongüteküwürfeln und -bohrproben. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1970; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1970

#### Heft 16:

Neubauer, F.-J.: Untersuchungen zur Frage der Rissesicherung von leichten Trennwänden aus Gips-Wandbauplatten. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1970; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1969

#### Heft 17:

Meyer-Ottens, C.; Kordina, K.: Gutachten über das Brandverhalten von Bauteilen aus dampfgehärtetem Gasbeton: aufgestellt für den Fachverband Gasbetonindustrie. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1970

Heft 17:

Meyer-Ottens, C.; Kordina, K.: Gutachten über das Brandverhalten von Bauteilen aus dampfgehärtetem Gasbeton. Erw. Neuaufl. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974

Heft 18:

Bödeker, W.: Die Stahlblech-Holz-Nagelverbindung und ihre Anwendung: Grundlagen und Bemessungsvorschläge. Braunschweig. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1971; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1971, ISBN 3-89288-057-3

Heft 19:

Meyer-Ottens, C.: Bauaufsichtliche Brandschutzvorschriften: Beispiele für ihre Erfüllung bei Wänden, Brandwänden und Decken. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1971

Heft 20:

Liermann, K.: Das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbrückenpfeilern mit Rollenlagern. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1972; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972, ISBN 3-89288-056-5

Heft 22:

Nürnbergger, U.: Zur Frage des Spannungsrißkorrosionsverhaltens kohlenstoffarmer Betonstähle in Nitratlösungen unter Berücksichtigung praxisnaher Verhältnisse. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1972; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972, ISBN 3-89288-054-9

Heft 23:

Meyer-Ottens, C.: Zur Frage der Abplatzungen an Betonbauteilen aus Normalbeton bei Brandbeanspruchung. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1972; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972

Heft 24:

El-Arousy, T.H.: Über die Steinkohlenflugasche und ihre Wirkung auf die Eigenschaften von Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge im frischen und festen Zustand. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1973; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1973, ISBN 3-89288-053-0

Heft 25:

Rieche, G.: Mechanismen der Spannungs-korrosion von Spannstählen im Hinblick auf ihr Verhalten in Spannbetonkonstruktionen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1973; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1973, ISBN 3-89288-052-2

Heft 26:

Tennstedt, E.: Beitrag zur rechnerischen Ermittlung von Zwangsschnittgrößen unter Berücksichtigung des wirklichen Verformungsverhaltens des Stahlbetons. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-051-4

Heft 27:

Schneider, U.: Zur Kinetik festigkeitsmindernder Reaktionen in Normalbetonen bei hohen Temperaturen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1973; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1973

Heft 28:

Neisecke, J.: Ein dreiparametrisches, komplexes Ultraschall-Prüfverfahren für die zerstörungsfreie Materialprüfung im Bauwesen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-050-6

Heft 29:

Kordina, K.; Maack, P.; Hjorth, O.: Traglastermittlung an Stahlbeton-Druckgliedern. Schlußbericht (AIF-Nr. 956). Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-048-4

Heft 30:

Eibl, J.; Ivanyi, G.: Berücksichtigung der Torsionssteifigkeit von Randbalken bei Stahlbetondecken. Schlußbericht, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974

Heft 31:

Kordina, K.; Janko, B.: Stabilitätsnachweise von Rahmensystemen im Stahlbetonbau. Schlußbericht (AIF-Nr. 1388), Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-049-2

Heft 32:

Hjorth, O.: Ein Beitrag zur Frage der Festigkeiten und des Verbundverhaltens von Stahl und Beton bei hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1976; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1975

Heft 33:

Klingsch, W.: Traglastberechnung instationär thermisch belasteter schlanker Stahlbetondruckglieder mittels zwei- und dreidimensionaler Diskretisierung. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1976; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1976

Heft 34:

Djamous, F.: Thermische Zerstörung natürlicher Zuschlagstoffe im Beton. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977

Heft 35:

Haksever, A.: Zur Frage des Trag- und Verformungsverhaltens ebener Stahlbetonrahmen im Brandfall. Braunschweig. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977

Heft 36:

Storkebaum, K.-H.: Ein Beitrag zur Traglastermittlung von vierseitig gelagerten Stahlbetonwänden. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977, ISBN 3-89288-045-X

Heft 37:

Bechtold, R.: Zur thermischen Beanspruchung von Außenstützen im Brandfall. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977, ISBN 3-89288-046-8

Heft 38:

Steinert, J.: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesbeton aus dem Wassereindringverhalten. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Unveränderter Nachdruck der Erstveröffentlichung Bad Honnef, Osang, 1977 (Zivilschutzforschung, Bd. 7)

Heft 39:

Weiß, R.: Ein haufwerkstheoretisches Modell der Restfestigkeit geschädigter Betone. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1978; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1978, ISBN 3-89288-047-6

Heft 40:

Alda, W.: Zum Schwingkriechen von Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1978; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1978, ISBN 3-89288-035-2

Heft 41:

Teutsch, M.: Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken mit rechteckigem Querschnitt unter kombinierter Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Torsion. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1979, ISBN 3-89288-036-0

Heft 42:

Schneider, U.: Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1979

Heft 43:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Veröffentlichungen 1967 bis 1979. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979, ISBN 3-89288-037-9

Heft 44:

Kordina, K.; Fröning, H.: Druckmessungen in Silozellen mit einer neu entwickelten Sonde. Abschlußbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979, ISBN 3-89288-038-7

Heft 45:

Henke, V.: Ein Beitrag zur Zuverlässigkeit frei gelagerter Stahlbetonstützen unter genormter Brandeinwirkung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1980; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1980

Heft 46:

Schneider, U.; Haksever, A.: Wärmebilanzrechnungen für Brandräume mit unterschiedlichen Randbedingungen (Teil 1). Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1980

Heft 47:

Walter, R.: Partiiell brandbeanspruchte Stahlbetondecken: Berechnung des inneren Zwanges mit einem Scheibenmodell. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1981; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1981, ISBN 3-89288-039-5

Heft 48:

Svensvik, B.: Zum Verformungsverhalten gerissener Stahlbetonbalken unter Einschluß der Mitwirkung des Betons auf Zug in Abhängigkeit von Last und Zeit. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1981; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1981, ISBN 3-89288-040-9

Heft 49:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Veröffentlichungen 1967 bis 1981. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1981, ISBN 3-89288-041-7

Heft 50:

Ojha, S.K.: Die Steifigkeit und das Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter kombinierter Beanspruchung aus Torsion, Biegemoment, Querkraft und Axialkraft. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-042-5

Heft 51:

Henke, V.: Zusammenstellung und Anwendung Bayes'scher Verfahren bei der Stichprobenbeurteilung. Projekt D1 des SFB 148. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-043-3

Heft 52:

Haksever, A.: Stahlbetonstützen mit Rechteckquerschnitten bei natürlichen Bränden. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982; Zugl.: Habil.-Schr., Technische Universität Istanbul, 1982, ISBN 3-89288-044-1

Heft 53:

Weber, V.: Untersuchung des Reiß- und Verformungsverhaltens segmentärer Spannbetonbauteile. Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-017-4

Heft 54:

Ranisch, E.-H.: Zur Tragfähigkeit von Verklebungen zwischen Baustahl und Beton: geklebte Bewehrung. Unveränderter Nachdruck der Ausgabe 1982. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-010-7

Heft 55:

Wiedemann, G.: Zum Einfluß tiefer Temperaturen auf Festigkeit und Verformung von Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1982

Heft 56:

Timm, R.: Ein geometrisch und physikalisch nichtlineares Rechenmodell zur optimalen Biegebemessung ebener Stahlbetonrahmen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-018-2

Heft 57:

Diederichs, U.: Untersuchungen über den Verbund zwischen Stahl und Beton bei hohen Temperaturen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1983; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1983, ISBN 3-89288-019-0

Heft 58:

Schneider, U.: Wärmebilanzrechnungen in Verbindung mit Versuchen in Brandräumen (Teil 2). Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1983, ISBN 3-89288-020-4

Heft 59:

Dobbernack, R.: Wärmebilanzrechnungen in Brandräumen unter Berücksichtigung der Mehrzonenmodellbildung (Teil 3). Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1983, ISBN 3-89288-021-2

Heft 60:

Hillger, W.: Verbesserungen und Erweiterungen von Ultraschallprüfverfahren zur zerstörungsfreien Fehlstellen- und Qualitätskontrolle von Betonbauteilen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1983; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1983, ISBN 3-89288-014-X

Heft 61:

Blume, F.: Zur Wirklichkeitsnähe der Lastannahmen in Silovorschriften für Zellen aus Stahlbeton und Spannbeton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1984; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1984, ISBN 3-89288-013-1

Heft 62:

Nölting, D.: Das Durchstanzen von Platten aus Stahlbeton : Tragverhalten, Berechnung, Bemessung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1984; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1984, ISBN 3-89288-012-3

Heft 63:

Wesche, J.: Brandverhalten von Stahlbetonplatten im baupraktischen Einbauzustand. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-009-3

Heft 64:

Droese, S.: Untersuchungen zur Technologie des Gleitschalungsbaus. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-000-X

Heft 65:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Forschungsarbeiten 1978 - 1983. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1984, ISBN 3-89288-001-8

Heft 66:

Hegger, J.: Einfluß der Verbundart auf die Grenztragfähigkeit von Spannbetonbalken. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-002-6

Heft 67:

Kepp, B.: Zum Tragverhalten von Verankerungen für hochfeste Stäbe aus Glasfaser-verbundwerkstoff als Bewehrung im Spannbetonbau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-003-4

Heft 68:

Sager, H.: Zum Einfluß hoher Temperaturen auf das Verbundverhalten von einbetonierten Bewehrungsstäben. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-004-2

Heft 69:

Haß, R.: Zur praxisgerechten brandschutz-technischen Beurteilung von Stützen aus Stahl und Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-005-0

Heft 70:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: 17. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, März 1986, Kurzfassungen der Beiträge. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-006-9

Heft 71:

Ehm, C.: Versuche zur Festigkeit und Verformung von Beton unter zweiaxialer Beanspruchung und hohen Temperaturen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-007-7

Heft 72:

Hartwich, K.: Zum Riß- und Verformungsverhalten von Stahlfaserverstärkten Stahlbetonstäben unter Längszug. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-008-5

Heft 73:

Scheuermann, J.: Zum Einfluß tiefer Temperaturen auf Verbund und Rißbildung von Stahlbetonbauteilen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-011-5

Heft 74:

Hinrichsmeyer, K.: Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-015-8

Heft 75:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Fachseminar Neue Bemessungsregeln durch Änderung der Stahlbeton- und Spannbetonvorschriften DIN 1045, DIN 4227, Juni 1986, Kurzfassungen der Beiträge. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-022-0

Heft 76:

Budelmann, H.: Zum Einfluß erhöhter Temperaturen auf Festigkeit und Verformung von Beton mit unterschiedlichen Feuchtegehalten. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-016-6

Heft 77:

Großmann, F.: Spannungen und bruchmechanische Vorgänge im Normelbeton unter Zugbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-023-9

Heft 78:

Rohling, A.: Zum Einfluß des Verbundkriechens auf die Rißbreitenentwicklung sowie auf die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-024-7

Heft 79:

Henning, W.: Zwangrißbildung und Bewehrung von Stahlbetonwänden auf steifen Unterbauten. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-025-5

Heft 80:

Richter, E.: Zur Berechnung der Biegetragfähigkeit brandbeanspruchter Spann-betonbauteile unter Berücksichtigung geeigneter Vereinfachungen für die Materialgesetze. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-026-3

Heft 81:

Kiel, M.: Nichtlineare Berechnung ebener Stahlbetonflächentragwerke unter Einschluß von Brandbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-027-1

Heft 82:

Konietzko, A.: Polymerspezifische Auswirkungen auf das Tragverhalten modifizierter zementgebundener Betone (PCC). Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-028-X

Heft 83:

Grzeschkowitz, R.: Zum Trag- und Verformungsverhalten schlanker Stahlbetonstützen unter besonderer Berücksichtigung der schiefen Biegung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-030-1

Heft 84:

Wiese, J.: Zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonplatten unter partieller Brandbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-031-X

Heft 85:

Rudolph, K.: Traglastberechnung zweiachsig biegebeanspruchter Stahlbetonstützen unter Brandeinwirkung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-032-8

Heft 86:

Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.; Noack, I.: Einfluß der Eigenbrandlast auf das Brandverhalten von Bauteilen aus brennbaren Baustoffen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1989, in Vorbereitung, ISBN 3-89288-058-1

Heft 87:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Forschungsarbeiten 1984 - 1989. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1989, ISBN 3-89288-034-4

Heft 88:

Grossert, E.: Untersuchungen zum Tragverhalten von Massivbrücken mit zweizelligem Kastenquerschnitt. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1989; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1989, ISBN 3-89288-059-X

Heft 89:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Weiterbildungsseminar "Bauen in Europa", 15.-16. November 1990 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-063-8

Heft 90:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Claußen, T.; Voß, K.-U.: Vorspannung im Hochbau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1991, ISBN 3-89288-064-6

Heft 91:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachtagung Spannbeton im Hoch- und Industriebau, Kurzreferate, 1991, ISBN 3-89288-065-4

Heft 92:

Heins, T.: Simulationsmodell zur sicherheitstechnischen Beurteilung der Rauchausbreitung in ausgedehnten Räumen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1991; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, ISBN 3-89288-066-2

Heft 93:

Hagen, E.: Zur Prognose des Gefährdungspotentials von Raumbränden. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1992; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1991, ISBN 3-89288-072-7

Heft 94:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachseminar "Instandsetzung und Ertüchtigung von Massivbauten", 14.-15. November 1991 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-068-9

Heft 95:

Qualitätssicherung im Bauwesen, VMPA-Tagung 1992, 25.-26.06.1992, Tagungsbericht, ISBN 3-89288-071-9

Heft 96:

Weiterbildungsseminar "Brandschutz im Industriebau", 30.09.1992 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-070-0

Heft 97:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachseminar "Neue Technologien im Bauwesen", 12.-13.11.1992 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-073-5

Heft 98:

Gunkler, E.: Verstärkung biegebeanspruchter Mauerwerkswände durch bewehrte Ergänzungsschichten. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1992, ISBN 3-89288-074-3

Heft 99:

Dorn, T.: Zur Berechnung des Tragverhaltens brandbeanspruchter Tragwerke in Verbundbauweise unter besonderer Berücksichtigung der Träger-Stützen-Anschlüsse. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1992, ISBN 3-89288-075-1

Heft 100:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachseminar "Stahlfaserbeton", 04.03.1993 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-076-X

Heft 101:

Falkner, H.; Teutsch, M.: Vergleichende Untersuchungen an unbewehrten und stahlfaserbewehrten Industriefußböden. Forschungsbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-077-8

Heft 102:

Falkner, H.; Teutsch, M.: Comparative studies of plain and steel fiber reinforced concrete industrial ground slabs. Forschungsbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-078-6

Heft 103:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1993: Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis. 06.-07.10.1993, Kurzreferate, ISBN 3-89288-079-4

Heft 104:

Thienel, K.-C.: Festigkeit und Verformung von Beton bei hoher Temperatur und biaxialer Beanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-080-8

Heft 105:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Braunschweiger Bauseminar 1993 "Dauerhafte Bauwerke aus Faserbeton", 11.-12.11.1993 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-081-6

Heft 106:

Neuentwicklungen im baulichen Brandschutz. Dr. Meyer-Ottens 60 Jahre; Fachseminar 18.03.1994 in Braunschweig, ISBN 3-89288-085-9

Heft 107:

Bunte, D.: Zum karbonatisierungsbedingten Verlust der Dauerhaftigkeit von Außenbauteilen aus Stahlbeton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-086-7

Heft 108:

Holzenkämpfer, P.: Ingenieurmodell des Verbundes geklebter Bewehrung für Betonbauteile. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1994, ISBN 3-89288-087-5

Heft 109:

Forschungsarbeiten 1990 - 1994. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994, ISBN 3-89288-088-3

Heft 110:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Rohde, S.: Untersuchung der Schubtragfähigkeit und der Wasserundurchlässigkeit von Arbeitsfugen unter Verwendung von Stremaform-Abschalelementen.

Falkner, H.; Teutsch, M.; Claußen, T.: Schubtragfähigkeit des Verußbetons zwischen Köcher-, Block oder Hülsenfundamenten und Stützenfuß bei unterschiedlich profilierten Betonoberflächen.

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994, ISBN 3-89288-089-1

Heft 111:

Voß, K.-U.: Zum Trag- und Verformungsverhalten bei Schwellbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-090-5

Heft 112:

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 05./06.10.1994 in Braunschweig; Kurzreferate, 1994, ISBN 3-89288-092-1

Heft 113:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Aus der Forschung in die Praxis: 10./11.11.1994; Braunschweiger Bauseminar 1994, ISBN 3-89288-091-3

Heft 114:

Warnecke, P.: Tragverhalten und Konsolidierung von historischem Natursteinmauerwerk, 1995

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-094-8

Heft 115:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1995: 6. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 04.-05.10.1995, Kurzreferate, ISBN 3-89288-093-X

Heft 116:

Huang, Z.: Grenzbeanspruchung gebetteter Stahlfaserbetonplatten, 1995

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-095-6

Heft 117:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Huang, Z.: Untersuchung des Trag- und Verformungsverhaltens von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-096-4

Heft 118:

Kubat, B.: Durchstanzverhalten von vorge-spannten, punktförmig gestützten Platten aus Stahlfaserbeton, 1995

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-097-2

Heft 119:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Dichte Bauwerke: 09./10.11.1995; Braunschweiger Bauseminar 1995, ISBN 3-89288-091-3

Heft 120:

Steinert, C.: Bestimmung der Wärmeübergangsbedingungen auf Bauteile im Brandfall, Abschlußbericht, 1995, ISBN 3-89288-099-9

Heft 121:

Schütte, J.; Teutsch, M.; Falkner, H.: Fugenlose Betonbodenplatten, Forschungsbericht, 1996, ISBN 3-89288-100-6

Heft 122:

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 24./25.09.1996 in Braunschweig, Kurzreferate, 1996, ISBN 3-89288-101-4

Heft 123:

Droese, S.; Riese, A.: Belastungsversuche an zwei Durchlauf-Plattenstreifen aus Elementplatten mit Aufbeton aus Stahlfaserbeton, 1996, ISBN 3-89288-102-4

Heft 124:

Hankers, C.: Zum Verbundtragverhalten laschenverstärkter Betonbauteile unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung, 1996

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1996, ISBN 3-89288-103-0

Heft 125:

Schmidt-Döhl, F.: Ein Modell zur Berechnung von kombinierten chemischen Reaktions- und Transportprozessen und seine Anwendung auf die Korrosion mineralischer Baustoffe, 1996

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1996, ISBN 3-89288-104-9

Heft 126:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Ingenieurbauwerke mit neuen Konzepten: 14./15.11.1996, Braunschweiger Bauseminar 1996, ISBN 3-89288-105-7

Heft 127:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1990 - 1993, 1996, ISBN 3-89288-106-5

Heft 128:

Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. F. S. Rostásy: Baustoffe in Praxis, Lehre und Forschung, 1997, ISBN 3-89288-107-3

Heft 129:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1994, 1997, ISBN 3-89288-108-1

Heft 130:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1995, 1997, ISBN 3-89288-109-X

Heft 131:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Klinkert H.: Trag- und Verformungsverhalten dynamisch beanspruchter Fahrbahnen aus Beton- und Stahlfaserbeton, Forschungsbericht, 1997, ISBN 3-89288-110-3

Heft 132:

Schütte, J.: Einfluß der Lagerungsbedingungen auf Zwang in Betonbodenplatten, 1997  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1997, ISBN 3-89288-111-1

Heft 133:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1997: 7. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 01.-02.10.1997, Kurzreferate, ISBN 3-89288-112-X

Heft 134:

Ameler, J.: Betonverhalten bei hohen Temperaturen und triaxialer Beanspruchung - FE-Modell auf der Basis der Betonstruktur, 1997  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1997, ISBN 3-89288-113-8

Heft 135:

Tagung Konsolidierung von historischem Natursteinmauerwerk: 06./07.11.1997 in Braunschweig, ISBN 3-89288-114-6

Heft 136:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Innovatives Bauen: 13./14.11.1997, Braunschweiger Bauseminar 1997, ISBN 3-89288-115-4

Heft 137:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1996 - 1997. 1998.  
ISBN 3-89288-116-2

Heft 138:

Scheibe, M.: Vorhersage des Zeitstandverhaltens unidirektionaler Aramidfaserverbundstäbe in alkalischer Umgebung. 1998.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 1998.  
ISBN 3-89288-117-0

Heft 139:

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten : 29./30.9.1998 in Braunschweig ; Kurzreferate. 1998.  
ISBN 3-89288-118-9

Heft 140:

Gutsch, A.: Stoffeigenschaften jungen Betons - Versuche und Modelle. 1998. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.  
ISBN 3-89288-119-7

Heft 141:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]  
Beton auf neuen Wegen : 12.-13.11.1998 ; Braunschweiger Bauseminar 1998.  
ISBN 3-89288-120-0

Heft 142:

Betonbau - Forschung, Entwicklung und Anwendung : Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing Horst Falkner am 20.4.1999. 1999.  
ISBN 3-89288-121-9

Heft 143:

Teutsch, M ; Klinkert, H.  
Leistungsklassen von Stahlfaserbeton. 1999.  
ISBN 3-89288-122-7

Heft 144:

Forschungsarbeiten 1995 - 1999. 1999.  
ISBN 3-89288-123-5

Heft 145:

Braunschweiger Brandschutztage 1999: 8. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis ; 4.-5. Oktober 1999 in Braunschweig., Kurzreferate. 1999.  
ISBN 3-89288-124-3

Heft 146:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]  
Bauen im nächsten Jahrtausend : 11.11.-12.11.1999 ; Braunschweiger Bauseminar 1999.  
ISBN 3-89288-125-1

Heft 147:

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 28./29.3.2000 in Braunschweig; Kurzreferate, 2000.  
ISBN 3-89288-126-X

Heft 148:

Hariri, K.: Bruchmechanisches Verhalten jungen Betons - Laser-Speckle-Interferometrie und Modellierung der Rißprozeßzone. 2000.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.  
ISBN 3-89288-127-8

Heft 149:

Wigger, H.: Rissbildung in historischem Natursteinmauerwerk : Beobachtung, Versuche und Berechnungsmodelle. 2000.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.  
ISBN 3-89288-128-6

Heft 150:

Neubauer, U.: Verbundtragverhalten geklebter Lamellen aus Kohlenstoffaser – Verbundwerkstoff zur Verstärkung von Betonbauteilen. 2000  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.  
ISBN 3-89288-129-4.

Heft 151:

Brandschutz in Chemikalienlagern. 2000.  
ISBN 3-89288-130-8

Heft 152:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]  
Trends und Entwicklungen im Bauwesen : 9.-10.11.2000 ; Braunschweiger Bauseminar 2000.  
ISBN 3-89288-131-6

Heft 153:

Rostásy, F.S. ; Budelmann, H. [Hrsg.]  
Rissbeherrschung massiger Betonbauteile : Bauwerk, Werkstoff, Simulation ; Braunschweig, 20.3.2001.  
ISBN 3-89288-132-4

Heft 154:

Krauß, M. ; Hariri, K. ; Rostásy, F.S.  
Hydratationsgrad, Ultraschall-Technik zur Beschreibung der Erhärtung, bruchmechanisches Verhalten jungen Betons : Berichte ; Forschungsprojekt der EU (Brite Euram BE96-3843), IPACS. 2001.  
ISBN 3-89288-135-9.

Heft 155:

Gutsch, A. ; Rostásy, F.S.  
Spannungs-Dehnungslinie, viskoelastisches Verhalten und autogenes Schwinden jungen Betons : Berichte ; Forschungsprojekt der EU (Brite Euram BE96-3843), IPACS. 2001.  
ISBN 3-89288-136-7

Heft 156:

Rostásy, F.S. ; Krauß, M. ; Gutsch, A.  
Spannungsberechnung und Risskriterien für  
jungen Beton – Methoden des iBMB : Be-  
richt ; Forschungsprojekt der EU (Brite  
Euram BE96-3843), IPACS. 2001.  
ISBN 3-89288-137-5

Heft 157:

Rostásy, F.S. ; Krauß, M. ; Gutsch, A.  
Früher Zwang in massigen Sohlplatten :  
Bericht ; Forschungsprojekt der EU (Brite  
Euram BE96-3843), IPACS. 2001.  
ISBN 4-89288-138-3

Heft 158:

Braunschweiger Brandschutztag 2001: 9.  
Fachseminar Brandschutz - Forschung und  
Praxis ; 1.-2. Oktober 2001 in Braun-  
schweig., Kurzreferate. 2001.  
ISBN 3-89288-139-1

Heft 159:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]  
Bauen im Wandel der Zeit : 8.-9.11.2001 ;  
Braunschweiger Bauseminar 2001. 2001.  
ISBN 3-89288-140-5.

Heft 160:

Beiträge zum 40. Forschungskolloquium  
des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton :  
11.-12.10.2001 in Braunschweig. 2001.  
ISBN 3-89288-141-3

Heft 161:

Dora, B.: Hydraulisch erhärtende Baustoffe  
aus Betonbrechsand – Phasenveränderun-  
gen durch Temperaturbehandlung und Ein-  
satzmöglichkeiten.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2001.  
ISBN 3-89288-142-1.

Heft 162:

RO 70 : 50 Jahre Forschung und 25 Disser-  
tationen ; Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. zum  
70 Geburtstag gewidmet. 2002.  
ISBN 3-89288-143-X.

Heft 163:

Praxisseminar Brandschutz bei Sonderbau-  
ten : 1. und 2. Oktober 2002 in Braun-  
schweig ; Kurzreferate.  
2002.  
ISBN 3-89288-144-8

Heft 164:

Stahlfaserbeton : Ein unberechenbares Ma-  
terial? ; 14.-15. November - Braunschwei-  
ger Bauseminar 2002.  
ISBN 3-89288-145-6

Heft 165:

Niemann, P.  
Gebrauchsverhalten von Bodenplatten aus  
Beton unter Einwirkungen infolge Last und  
Zwang. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.,  
2002.  
ISBN 3-89288-146-4

Heft 166:

Budelmann ; H. ; Falkner, H. [Hrsg.]  
Bauen im Bestand : 25. März 2003.  
ISBN 3-89288-147-2

H. 167:

Blume, G.W.: Ingenieurmodell zur brand-  
schutztechnischen Bemessung von Bautei-  
len auf der Basis von experimentell ermit-  
telten Verbrennungseffektivitäten. 2003.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2002.  
ISBN 3-89288-148-0

H. 168:

Braunschweiger Brandschutztag 2003: 10.  
Fachseminar Brandschutz - Forschung und  
Praxis ; 30.9. - 1.10.2003 in Braunschweig.,  
Kurzreferate. 2003.  
ISBN 3-89288-149-9

H. 169:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]  
Bauforschung und –praxis in schwierigen  
Zeiten : 13. und 14. November ; Braun-  
schweiger Bauseminar 2003.  
ISBN 3-89288-150-2

H 170:

Hemmy, O.: Zum Gebrauchs- und Tragverhalten von Tunnelschalen aus Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärktem Stahlbeton.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2003.

ISBN 3-89288-151-0

H. 171:

Dehne, M.: Probabilistisches Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung. 2003.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2003.

ISBN 3-89288-153-7

H. 172:

Paliga, K.: Entstehung und Vermeidung von Betonabplatzungen bei Tunnelbränden. 2003.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2003.

ISBN 3-89288-154-5

Heft 173:

Festschrift zum 60 Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser : Brandschutz und mehr...

2003.

ISBN 3-89288-152-9

Heft 174:

Timm, M.: Verbundwirkung des Betons im Bereich von STREMAFORM - Abschalelementen : Untersuchungsbericht ; Okt. 2000. 2004.

ISBN 3-89288-156-1

Heft 175:

Zehfuß, J.: Bemessung von Tragsystemen mehrgeschossiger Gebäude in Stahlbauweise für realistische Brandbeanspruchung.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-155-3

Heft 176:

Nause, P.: Berechnungsgrundlagen für das Brandverhalten von Druckgliedern aus hochfestem Beton. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-157-X

Nicht in der Schriftenreihe erschienen.

Heft 177:

Budelmann ; H. ; Falkner, H. [Hrsg.]

Bauen im Bestand : 23. März 2004.

ISBN 3-89288-158-8

H. 178:

Praxisseminar Brandschutz bei Sonderbauten : 29. – 30.9.2004 in Braunschweig ; Kurzreferate. 2004.

ISBN 3-89288-159-6

H. 179:

Krauß, M.: Probabilistischer Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen gegen frühe Trennrisse in massigen Betonbauteilen. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-160-X.

H. 180:

Weiske, R.

Durchleitung hoher Stützlasten bei Stahlbetonflachdecken. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-161-8.

H. 181:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]

Qualität im Bauwesen : 11. und 12. Nov. ; Braunschweiger Bauseminar 2004.

ISBN 3-89288-162-6

H. 182:

Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Peter Großkurth : Struktur und Anwendung der Baustoffe. 2005.

ISBN 3-89288-163-4

H. 183:

Budelmann, H. ; Laube, M. ; Hinrichs, W. [Hrsg.]

Bauen im Bestand : 23. Februar 2005.

ISBN 3-89288-164-2

H. 184:

Hinrichs, W.

Charakterisierung einer einheitlichen Messmethodik und Validierung ausgewählter Verfahren für die Bestimmung der Maschenweiten von Stahldrahtgeweben : Das Forschungsvorhaben wurde von der Stiftung Stahlanwendungsforschung im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. gefördert (Az: A 182/S24/10036/02. 2005). ISBN 3-89288-166-9.

H. 185:

Braunschweiger Brandschutz-Tage '05 : 11. Fachseminar Brandschutz – Forschung und Praxis, 28. und 29. Sept. 2005 in Braunschweig, Tagungsbericht. ISBN 3-89288-167-7.

H. 186:

Will, J.: Entwicklung eines sauerstoffkalorimetrischen Verfahrens zur Bestimmung von Brandparametern bei unterschiedlich ventilierten Bränden. 2005. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2005. ISBN 3-89288-168-5.

H. 187:

Rigo, E.M.: Ein probabilistisches Konzept zur Beurteilung der Korrosion zementgebundener Baustoffe durch lösenden und treibenden Angriff. 2005. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2005. ISBN 3-89288-169-3.

H. 188:

Budelmann, H. ; Gutsch, A.-W. [Hrsg.] Bauen im Bestand : Beton in der Abwassertechnik ; 6. Sept. 2005. ISBN 3-89288-170-7.

H. 189:

Gerritzen, D.P.

Zur Frage der Nachnutzbarkeit verbundlos vorgespannter Stahlbetondecken nach Brandeinwirkung. 2005. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2005. ISBN 3-89288-171-5.

H. 190:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]

Bewe(ä)rteter Betonbau : 10. und 11. November ; Braunschweiger Bauseminar 2005. ISBN 3-89288-172-3

H. 191:

Kurzberichte aus der Forschung 2005. 2006. ISBN 3-89288-173-1

H. 192:

Praxisseminar Brandschutz bei Sonderbauten : 26.-27. Sept. 2006 ; Kurzreferate. ISBN-10: 3-89288-174-X ISBN-13: 978-3-89288-174-2.

H. 193:

Sperling, D.

Eine Methode zur automatisierten Überwachung von Spannbetonfahrwegträgern. 2006. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2006. ISBN-10: 3-89288-175-8 ISBN-13: 978-3-89288-175-9.

H. 194:

Grunert, J.P.

Zum Tragverhalten von Spannbetonfertigteiltälken aus Stahlfaserbeton ohne Betonstahlbewehrung. 2006. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2006. ISBN-10: 3-89288-176-6 ISBN-13: 978-3-89288-176-6.

H. 195:

Budelmann, H. ; Gutsch, A.-W. [Hrsg.] Bau Symposium Braunschweig (BSB 2007) : Stand und Entwicklung des Trockenbaus ; 8. März. 2007. ISBN 978-3-89288-177-3.

H. 196:

Bruder, S.

Adaptive Modellierung der Dauerhaftigkeit im Zuge der Überwachung von Betonbauwerken. 2007. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 1996. ISBN 978-3-89288-178-0.

H. 197:

Holst, A.  
Korrosionsmonitoring und Bruchortung  
vorgespannter Zugglieder in Bauwerken.  
2007.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.  
ISBN 978-3-89288-179-7.

H. 198:

Forell, B.  
A Methodology to assess Species Yields of  
Compartment Fires by means of an ex-  
tended Global Equivalence Ratio Concept.  
2007.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.  
ISBN 978-3-89288-180-3.

H. 199:

Braunschweiger Brandschutz-Tage '07 : 21.  
Fachseminar Brandschutz – Forschung und  
Praxis, 26. und 27. Sept. 2007 in Braun-  
schweig, Tagungsband.  
ISBN 978-3-89288-181-0.

H. 200:

Nothnagel, R.  
Hydratations- und Strukturmodell für Ze-  
mentstein. 2007.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.  
ISBN 978-3-89288-182-7

H. 201:

Riese, O.  
Ein Brandausbreitungsmodell für Kabel.  
2007.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.  
ISBN 978-3-89288-183-4

H. 202:

Braunschweiger Brandschutz-Tage '08 : 22.  
Fachtagung ; Brandschutz bei Sonderbauten  
, 30.9. – 1.10.2008 – Tagungsband.  
ISBN 978-3-89288-185-8

H. 203:

Klinzmann, C.  
Methodik zur computergestützten,  
probabilistischen Bauwerksbewertung unter  
Einbeziehung von Bauwerksmonitoring.  
2008. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.  
ISBN 978-3-89288-186-5.

H. 204:

Schnetgöke, R.  
Zuverlässigkeitsorientierte Systembewer-  
tung von Massivbauwerken als Grundlage  
für die Bauwerksüberwachung. 2008.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.  
ISBN 978-3-89288-187-2.

H. 205:

Budelmann, H. ; Gutsch, A.-W. [Hrsg.]  
Bau Symposium Braunschweig (BSB  
2008): Konstruktiver Holzbau ; 4. Novem-  
ber 2008.  
ISBN 978-3-89288-188-9.

H. 206:

Kampmeier, B.  
Risikogerechte Brandschutzlösungen für  
den mehrgeschossigen Holzbau. 2008.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2008.  
ISBN 978-3-89288-189-6.

H. 207:

Husemann, U.  
Erhöhung der Verbundtragfähigkeit von  
nachträglich aufgeklebten Lamellen durch  
Bügelumschließungen.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2009.  
ISBN 978-3-89288-190-2

H. 208:

Braunschweiger Brandschutz-Tage '09 : 23.  
Fachtagung Brandschutz – Forschung und  
Praxis, 29.9.2008 – 30.9.2009 ; Tagungs-  
band.  
ISBN 978-3-89288-191-9

H. 209:

Sperbeck, S.T.  
Seismic Risk Assessment of Masonry Walls  
and Risk Reduction by Means of Prestress-  
ing. 2009.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2009.  
ISBN 978-3-89288-192-6

H. 210:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 2010 : :  
24. Fachtagung ; Brandschutz bei Sonderbauten , 21. und 22.9.2010 – Tagungsband.  
ISBN 978-3-89288-194-0

H. 211:

Hohm, V.  
Wärmetransportmodell für gekoppelte Prozesse in der Brandsimulation. 2010.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.  
ISBN 978-3-89288-195-7.

H. 212:

Kruse, D.  
Entwicklung von Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen zum Entzündungsschutz von Holz unter Vollbrandbedingungen. 2011.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2010.  
ISBN 978-3-89288-196-4.

H. 213:

Twelmeier, H.  
Dauerhaftigkeitsprognose der Verfügu ng von gipshaltigem historischem Mauerwerk. 2011.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2010.  
ISBN 978-3-89288-197-1.

H. 214:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 2011 : :  
25. Fachtagung Brandschutz – Forschung und Praxis, 27. und 28.9.2011 – Tagungsband.  
ISBN 978-3-89288-198-8

H. 215:

Hollmann, D.W.  
Grundlagen und Ingenieurmodell für den Nachweis von Holzbauteilen mit Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen. 2011.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2011.  
ISBN 978-3-89288-199-5

H. 216:

Rostásy, F.S.  
Assessment of Mechanical Properties of Structural Materials for Cryogenic Application (June 1988). 2011.  
ISBN 978-3-89288-200-8

H. 217:

Albrecht, C.  
A risk-informed and performance-based life safety concept in case of fire. 2012.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2012.  
ISBN 978-3-89288-202-2.

H. 218:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 2012 : :  
26. Fachtagung Brandschutz bei Sonderbauten, 19. und 20.9.2012 – Tagungsband.  
ISBN 978-3-89288-203-9.

H. 219:

Wichers, M.  
Bemessung von bewehrten Betonbauteilen bei Teilflächenbelastung unter Berücksichtigung der Rissbildung. 2013.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss. 2013.  
ISBN 978-3-89288-204-6.

