

**INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ  
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG**

Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

**UNTERSUCHUNGEN ZUM TRAGVERHALTEN VON  
MASSIVBRÜCKEN MIT ZWEIZELIGEM  
KASTENQUERSCHNITT**

von  
Eberhard Grossert

**Heft 88 · BRAUNSCHWEIG · 1989**

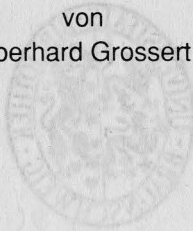
2685-5394

**INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ  
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG**

Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

**UNTERSUCHUNGEN ZUM TRAGVERHALTEN VON  
MASSIVBRÜCKEN MIT ZWEIZELIGEM  
KASTENQUERSCHNITT**

von  
Eberhard Grossert



**Heft 88**

**BRAUNSCHWEIG**

**1989**

ISBN 3-89288-059-X

ISSN 0178-5796

ZF R+ T (inst. Baustofflehre  
u. Massivbau)

<http://publikationsserver.tu-braunschweig.de/get/64716>

Diese Arbeit ist die vom Fachbereich für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität Braunschweig genehmigte Dissertation des Verfassers

Eingereicht am 7.2.1989

Mündliche Prüfung am 20.6.1989

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. K. Kordina

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. H. Duddeck

## V o r w o r t

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fachgebiets Massivbau am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig.

Die Anregung zur Untersuchung des Tragverhaltens von Massivbrücken mit zweizelligem Kastenquerschnitt ergab sich als Folge der im Rahmen von Probelastungen an bestehenden Brückenbauwerken festgestellten Verformungen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. K. Kordina gilt mein besonderer Dank für die gewährte Unterstützung sowie für die Übernahme der Berichterstattung.

Danken möchte ich ferner Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. H. Duddeck für die Mitberichterstattung. Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Falkner danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes und Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Scheer für die Beteiligung an der Prüfung.

Ebenso danke ich allen Kollegen und Mitarbeitern, die bei der Durchführung der Untersuchungen und bei den Rechen-, Schreib- und Zeichenarbeiten geholfen haben.

Braunschweig, August 1989

Eberhard Grossert



I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1. EINLEITUNG	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Problemstellung	6
1.3 Stand der Forschung	7
1.4 Überblick zur vorliegenden Arbeit und Zielsetzung	8
2. DAS TRAGVERHALTEN VON UNAUSGESTEIFTEN KASTENTRÄGERN	10
2.1 Allgemeines	10
2.2 Der einzellige Kastenträger	14
2.2.1 Symmetrische Belastung	14
2.2.2 Unsymmetrische Belastung	14
2.2.3 Zusammenstellung der Hauptbeanspruchungen der Konstruktionselemente von Kastenträgern	21
2.3 Der mehrzellige Kastenträger	24
2.3.1 Symmetrische Belastung	24
2.3.2 Unsymmetrische Belastung	26
3. VORHANDENE BERECHNUNGSVERFAHREN	29
3.1 Allgemeines	29
3.1.1 Literaturlauswertung	32
3.1.2 Grundlagen der ausgewählten Berechnungsverfahren	37
3.2 Berechnungsverfahren von Steinle	38
3.3 Berechnungsverfahren von Kupfer	39
3.4 Berechnungsverfahren von Knittel	40
3.5 Berechnungsverfahren von Hofbauer	41
3.6 Berechnungsverfahren von Schlaich/Scheef	42
3.7 Berechnungsverfahren von Glahn	44
3.8 Berechnungsverfahren von Lindlar	44
3.9 Zusammenfassung	45

4. EIGENE UNTERSUCHUNGEN ZUM TRAGVERHALTEN VON ZWEI-ZELLIGEN KASTENTRÄGERN IM ELASTISCHEN ZUSTAND MIT DER FINITE-ELEMENTE-METHODE	47
4.1 Allgemeines	47
4.2 Das Programm SAP V	48
4.2.1 Fehlereinflüsse in der FEM	50
4.2.2 Kontrolle der Ergebnisse	52
4.3 SAP-Elemente	53
4.3.1 Dünnes Platten- und Schalenelement	53
4.3.2 Randelement	55
4.4 Durchgeführte eigene Untersuchungen	56
4.4.1 Untersuchte Systeme und Lastfälle	56
4.4.2 Wahl des Ersatzsystems	56
4.4.3 Räumliche Diskretisierung des Kastenträgers	63
4.4.4 Diskretisierung der Lastfälle	73
4.5 Parameterstudie der Querschnittsformen und Lastfälle	80
5. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG	86
5.1 Allgemeines	86
5.1.1 Momentenanteile aus Eigengewicht und Verkehrslast bei Standardbrückenüberbauten	87
5.1.2 Lastanordnung	89
5.2 Vertikale Verformungen der Stege und zugehörige Querverteilungen	89
5.2.1 Graphische Darstellung der ermittelten Querverteilungen	94
5.3 Ausgewählte Ergebnisse aus jedem Einheitslastfall	109
5.4 Verformungen	115
5.5 Sonderuntersuchungen	118
5.5.1 Parameter	118
5.5.2 Erkenntnisse	120
5.6 Auflagerkräfte und zugehörige Querverteilung je Lagerachse	135
5.7 Vergleich der eigenen Ergebnisse mit den Belastungsversuchen an bestehenden Brückenbauwerken	149

6. BEMESSUNGSDIAGRAMME UND NÄHERUNGSVERFAHREN ZUR ERFASSUNG DES TRAGVERHALTENS VON ZWEIZELLIGEN KASTEN-TRÄGERN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER GEOMETRIE UND DER BELASTUNG	156
6.1 Allgemeines	156
6.2 Entwickelte Diagramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors $\alpha_n$ des direkt belasteten Steges	156
6.3 Beispiele	163
6.3.1 Verdeutlichung des Rechenablaufs	163
6.3.2 Kastengeometrien	163
6.3.3 Ermittlung der Lastverteilungsfaktoren aus den Diagrammen für die 1. Kastengeometrie	164
6.3.4 Ermittlung der Randspannungen	165
6.3.5 Vergleich mit anderen Lösungen	168
6.4 Eigenes Näherungsverfahren zur Ermittlung der Lastverteilungsfaktoren	171
6.4.1 Diskretisierung und Querschnittswerte	171
6.4.2 Verlauf der Lastverteilungsfaktoren in Längsrichtung	173
6.4.3 Anwendungsgrenzen des Verfahrens	175
6.5 Besonderheiten der Querverteilung im Bereich von Koppelfugen	178
7. SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN ERGEBNISSEN	182
7.1 Allgemeines	182
7.2 Tragverhalten	182
7.3 Statische Systeme	183
7.4 Querschnittsgeometrie	183
7.5 Lastfälle	185
7.6 Rißbildungen	187
7.7 Koppelfugen	187
7.8 Konsequenzen	189
8. ZUSAMMENFASSUNG	191

	<b>Seite</b>
<b>9. LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>193</b>
<b>A. ANHANG</b>	<b>A 1</b>

BEZEICHNUNG HÄUFIG VORKOMMENDER GRÖSSEN

Geometrische Größen

x, y, z	globale bzw. lokale Koordinaten
L	Stützweite
d	Kastenhöhe (total)
h	Kastenhöhe (Systemmaß)
b	Kastenbreite (Systemmaß)
b <sub>K</sub>	Kragarmbreite (Systemmaß)
t <sub>s</sub>	Stegdicke
t <sub>o</sub>	Dicke der Fahrbahnplatte
t <sub>u</sub>	Dicke der Bodenplatte
l <sub>v</sub>	Voutenlänge
l <sub>k</sub>	Abstand der Koppelfuge von der Auflagerachse

Materialgrößen

E	Elastizitätsmodul
μ	Querdehnzahl
G	Gleitmodul
τ	Raumgewicht

Querschnitte und Steifigkeiten

Ab	Querschnittsfläche für Beton
Y <sub>o</sub>	Abstand von OK-Deckplatte zum elastischem Schwerpunkt
Y <sub>u</sub>	Abstand von UK-Bodenplatte zum elastischem Schwerpunkt
I <sub>b</sub>	Biegeträgheitsmoment
I <sub>t</sub>	Torsionsträgheitsmoment
W <sub>o</sub>	Widerstandsmoment oben
W <sub>u</sub>	Widerstandsmoment unten
EI <sub>b</sub>	Biegesteifigkeit
GI <sub>t</sub>	Torsionssteifigkeit
K	Steifigkeitszahl

### Verformungsgrößen

u	Verschiebungskomponente in Richtung der x-Achse
v	Verschiebungskomponente in Richtung der y-Achse
w	Verschiebungskomponente in Richtung der z-Achse

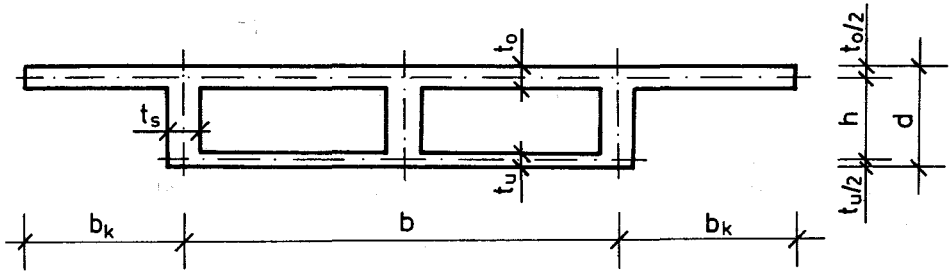
### Schnittgrößen

$n_x, n_{xy}, n_y$	Scheibenkräfte
$m_x, m_{xy}, m_y$	Plattenschnittgrößen
$q_x, q_y$	
$F_x, F_y, F_z$	Knotenkräfte in Koordinatenrichtungen x, y, z
$M_x, M_y, M_z$	Knotenmomente in lokalen Koordinatenrichtungen x, y, z

### Allgemeine Abkürzungen

EL	Elementanzahl
KN	Knotenanzahl
F	Feld
S	Stütze
R	Auflagerkraft
$\Sigma R$	Summe aller Auflagerkräfte von R1 - R6
FEM	Finite-Elemente-Methode
FE	Finite-Elemente
SLW	Schwerlastwagen
$\alpha_1$	Lastverteilungsfaktor für Eigengewicht
$\alpha_2$	Lastverteilungsfaktor für Linienlasten
$\alpha_3$	Lastverteilungsfaktor für SLW-Lasten
$\alpha_{0n}$	Lastverteilungsfaktor für zugehörige Belastung in Feldmitte ermittelt am ebenen Trägerrost

Bezeichnungen



Bezeichnungen der Querschnittshauptabmessungen

## 1. EINLEITUNG

### 1.1 Allgemeines

Aus der Vielzahl der möglichen Überbauquerschnitte für Brücken ist der ein- oder mehrzellige Hohlkastenträger der heute am weitesten verbreitete Überbau bei Massivbrücken. Die Entstehungsgeschichte von Hohlkastenbrücken führte zu mehreren Variationen. So wurden die ersten Stahlbetonbrücken ihren Vorgängern aus Naturstein nachgebaut. Ihr Haupttragwerk in Längsrichtung war ein Bogen, dessen Fahrbahn auf einer Kiesauffüllung lag, die zwischen den beiden auf den Bogenrändern aufgemauerten Stützwänden verlief. Bei den Stahlbetonbogenbrücken wurde diese Kiesauffüllung weggelassen und durch eine quergespannte freitragende Fahrbahnplatte ersetzt, womit der Übergang zum Hohlkastenquerschnitt geschaffen war. Bei dieser Brückenform bestand das Haupttragwerk noch aus einem Bogen.

Es gibt zwei Möglichkeiten einen Hohlkastenquerschnitt aus Haupttragwerken zu entwickeln. Zum einen kann man aus einer Plattenbrücke mit gewichtsparenden Hohlkörpern den Querschnitt der Rohre oder Kästen so groß wählen, daß nur noch ein Kastenquerschnitt übrig bleibt (Bild 1.1). Auch durch Weiterentwicklung von Plattenbalkenquerschnitten entsteht ein Hohlkasten. Im Stützbereich von Durchlaufträgern wurden häufig unten Druckplatten zur Vergrößerung der Betondruckzone erforderlich, die schließlich, wegen des günstigen Quertragverhaltens und der glatten und ruhigeren Brückenuntersicht, über die gesamte Brückenlänge durchgeführt wurden.

Seinen wirtschaftlichen Erfolg und seine herausragende Stellung im Brückenbau verdankt der Hohlkastenquerschnitt seiner hohen Biege- und Torsionssteifigkeit bei geringem Materialaufwand und seiner Eignung für wirtschaftliche Bauverfahren. Der statische Vorteil der torsionssteifen Zelle infolge der geschlossenen Querschnittsform des Kastens verschaffte dem Querschnitt einen weiten Anwendungsbereich bei im Grundriß



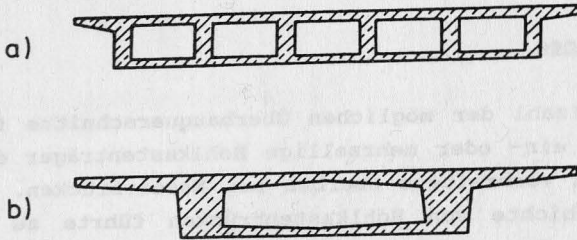


Bild 1.1 Entwicklung des Hohlkastenquerschnitts

- a) aus einer Platte durch Einbau von Hohlräumen
- b) aus Plattenbalkenquerschnitten durch Ergänzung einer Bodenplatte

gekrümmten Systemen, bei denen eine große Systemtorsion vorliegt. Zusätzlich sorgt der torsionssteife Kasten als Haupttragglied für eine gute Querverteilung exzentrisch angreifender Lasten. Bei der Verwendung von wirtschaftlichen Bauverfahren, wie z. B. der Anwendung von Vorschubrüstung oder Taktschiebeverfahren, zeigen sich die Vorteile dieser Querschnittsform beim Tragverhalten gegenüber wechselseitiger Beanspruchung aus positiven und negativen Biegemomenten. Bei relativ geringer Querschnittsfläche zeichnet sich der Kasten durch große Biegeträgheitsmomente und große Widerstandsmomente aus. Das Verhältnis Widerstandsmoment/Querschnittsfläche ist groß, so daß bei großen Kernweiten geringe Spannungsschwankungen aus Verkehrslasten zu erwarten sind. Hierdurch lassen sich mit dem Hohlkasten die größten Stützweiten im Spannbetonbrückenbau erreichen. Diese günstigen statischen und konstruktiven Eigenschaften sowie die geschlossene Untersicht haben den Hohlkastenquerschnitt trotz des höchsten Schalungsanteils pro m<sup>2</sup> Beton zum Standardtyp des Hochstraßenbaus im innerstädtischen Bereich werden lassen. Ein weitaus größeres Anwendungsgebiet findet dieser Querschnitt jedoch im Bereich langer Tal- und Hangbrücken, bei denen durch Einsatz der oben genannten Bauverfahren durch kurze Bauzeit und kostengünstige Lehrgerüsttechnik wirtschaftliche

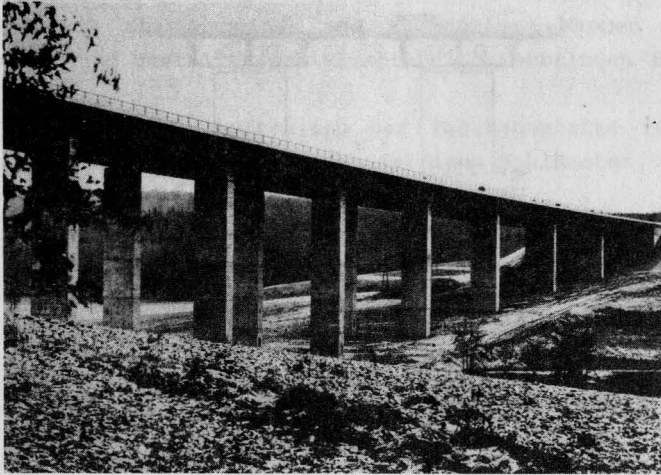


Foto 1.1 Talbrücke im Zuge der Autobahn Fulda-Würzburg

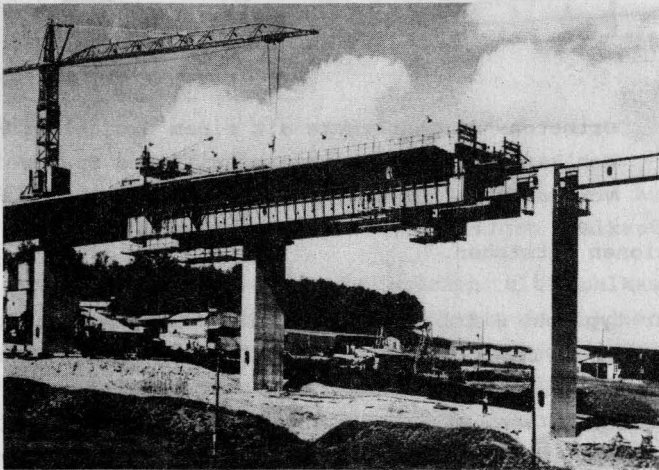


Foto 1.2 Vorschubrüstung mit kombiniertem mittleren Rüst- und Vorbauträger zur Herstellung langer Tal- und Hangbrücken

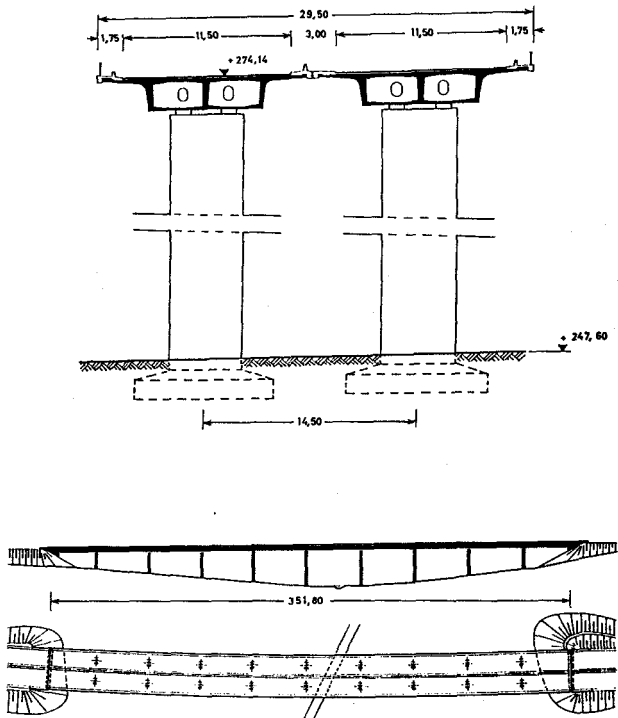


Bild 1.2 Ort beton-Autobahnbrücke mit einem zweizelligen Hohlkasten als Überbauquerschnitt und Spannweiten von ca. 40 m

Konstruktionen entstehen.

Eine dafür typische Autobahntalbrücke ist auf dem Foto 1.1 zu sehen. Das Foto 1.2 zeigt die Herstellung eines derartigen Brückenbauwerks mit Hilfe einer Vorschubrüstung, bei der ein Betonierabschnitt vom Momentennullpunkt für den Lastfall Eigengewicht des einen Feldes bei ca. 0.2 L bis zum Momentennullpunkt des benachbarten Feldes reicht.

Die Querschnittsform und die Grundrißgeometrie eines solchen Bauwerks sind dem Bild 1.2 zu entnehmen. Hierauf ist zu erkennen, daß der zweizellige Hohlkasten sich besonders gut als

Brückenüberbau bei Autobahnen eignet, da sich auf einem dieser Überbauten der halbe Regelquerschnitt - eine zweispurige Fahrbahn mit Standstreifen und zugehörigen Kappen - wirtschaftlich und gestalterisch akzeptabel unterbringen läßt.

Bild 1.3 zeigt die Aufteilung der Fahrbahnplatte für einen Autobahnquerschnitt beim zweizelligen Hohlkasten.

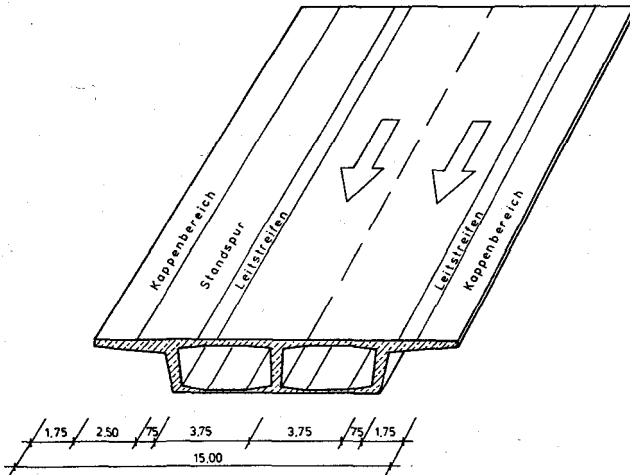


Bild 1.3 Aufteilung der Fahrbahnplatte für einen Autobahnquerschnitt beim zweizelligen Hohlkasten

Kennzeichnend für viele dieser Brücken mit Hohlkastenquerschnitt ist eine querträgerlose Ausführung im Feldbereich mit lediglich Aussteifungsträgern über den Auflagern. Diese Form wird aus herstellungstechnischen Gründen bevorzugt, da Querschotte den kontinuierlichen Bauablauf behindern. Im Auflagerbereich kann man auf die Anordnung eines Querträgers im allgemeinen nicht verzichten, da dort hohe Einzellasten über punktuelle Brückenlager, die selten unter allen Hauptstegen liegen, in die Brückenpfeiler eingeleitet werden müssen.

Talbrücken und vergleichbare Großbrücken machen nahezu 50 % der Brückensubstanz in der Bundesrepublik Deutschland aus. Sie liegen vorwiegend im Bereich von Autobahnen. Auf den 5 % Autobahnen im Fernstraßennetz werden ca. 25 % des gesamten Fernverkehrs abgewickelt. Das unterstreicht die Bedeutung von Autobahntalbrücken, die häufig mit Hohlkastenquerschnitten hergestellt werden.

## 1.2 Problemstellung

Die weite Verbreitung des zweizelligen Kastenträgers läßt vermuten, daß bei der Berechnung dieser Tragwerke inzwischen keine offenen Fragen mehr bestehen. In den letzten Jahren durchgeführte Messungen an bestehenden Brückenbauwerken im Rahmen von Probelastungen zeigten jedoch Verformungen, die sich erheblich von denen unterschieden, die bei Zugrundelegung eines torsionssteifen Kastens erwartet wurden. Die Meßergebnisse, bei denen ein Schwerlastfahrzeug in unterschiedlichen Fahrspuren über die Brücke fuhr, zeigten deutlich, daß die Belastung des Überbaus aus dem Fahrzeug nicht zu gleichen Teilen auf die Stege des Hohlkastenquerschnitts verteilt wird. Der Steg, der der Last aus dem Fahrzeug am nächsten lag, erhält einen wesentlich größeren Lastanteil als die übrigen Stege. Diese Aussage gilt sowohl für die Außenstege wie auch für die Innenstege eines mehrzelligen Hohlkastens. Eine solche Lastverteilung wird in der Literatur als Querverteilung bezeichnet.

Die bei den durchgeführten Messungen ermittelten Lastanteile der Stege sind in Bild 1.4 exemplarisch für einen zweizelligen Hohlkasten unter symmetrischer Belastung dem bisherigen Lastansatz gegenübergestellt.

Hieraus wird deutlich, daß die Lastverteilung im Querschnitt nicht der eines querbiegestarren Kastens entspricht, bei dem die Last von allen Stegen gleich übernommen wird. Vielmehr sind die nicht direkt belasteten Stege sehr viel weniger am Lasttrag beteiligt, als nach den seinerzeit üblichen Berech-

Brückenquerschnitt

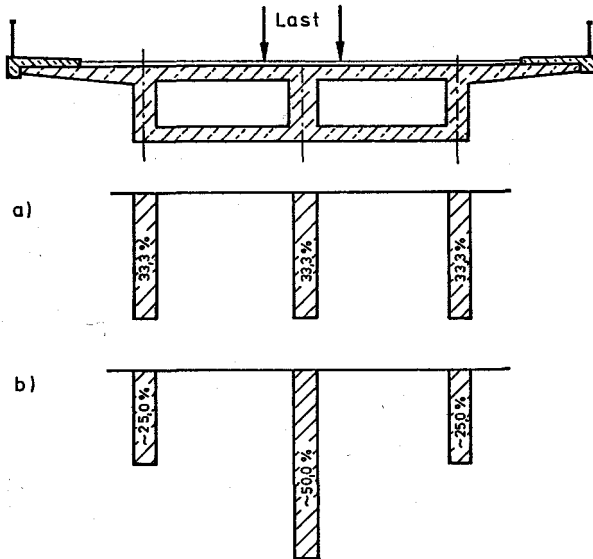


Bild 1.4 Lastanteile der Stege eines zweizelligen Hohlkastens unter symmetrischer Belastung in Feldmitte  
a) nach bisher üblichem Ansatz  
b) aus Verformungsmessungen ermittelt

nungsansätzen erwartet werden konnte. Bei der Berechnung von Autobahntalbrücken beschränkte man sich zum damaligen Zeitpunkt u. a. wegen fehlender leistungsfähiger EDV und der Umständlichkeit des Rechengangs auf eine Abschätzung der ungleichen Beanspruchung der Stege oder ging sogar von einem querbiegestarren Kasten aus.

1.3 Stand der Forschung

Üblicherweise werden die Überbauten von Hohlkastenbrücken nach der Stabwerkstheorie in der Art berechnet, daß die Gesamtlast zu gleichen Teilen auf die Stege des Überbaus aufge-

teilt wird. Das aus **a u s m i t t i g e r** Laststellung entstehende Torsionsmoment wird unter Vernachlässigung der Wölbkrafttorsion dem aus Fahrbahnplatte, Bodenplatte und äußeren Stegen gebildeten Kastenquerschnitt zugewiesen. Für die Berechnung des einzelligen Kastens stehen weitgehend aufbereitete, für Handrechnung geeignete Rechenverfahren, u.a. von Knittel /37/ und Kupfer /48/, zur Verfügung. Für die Berechnung der Zusatzmomente aus der Querschnittsverformung entwickelte Steinle /87/ - /90/ ein Rechenverfahren.

Die genannten Verfahren für einzellige Kastenträger behandeln nicht den Lastabtrag mehrzelliger Kastenträger unter **s y m m e t r i s c h e n** Lasten und der bisher übliche Ansatz, eine Verteilung entsprechend der Schubflüsse im Profil liefert nur unzureichende Ergebnisse, da die Schubflußverteilung am statisch unbestimmten Querschnitt die Auflagerbedingungen vernachlässigt.

#### 1.4 Überblick zur vorliegenden Arbeit und Zielsetzung

Nach dem Überblick in Kapitel 1 wird in Kapitel 2 zunächst das Tragverhalten von unausgesteiften, ein- und zweizelligen Kastenträgern erläutert.

Ausgehend von einem Überblick der in der Literatur veröffentlichten Lösungsmöglichkeiten des räumlichen Lastabtrags von Kastenträgern, werden im Kapitel 3 die bekanntesten und wichtigsten Berechnungsverfahren ausgewählter Autoren näher beschrieben. Die Mehrzahl dieser Verfahren hat allerdings keinen Eingang in die Praxis gefunden, da diese zum Teil sehr aufwendig in der Handhabung und/oder zu wenig anschaulich sind.

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, das Trag- und Verformungsverhalten von zweizelligen Hohlkastenträgern genauer zu untersuchen und zu beschreiben. Diese Untersuchungen zum Tragverhalten von Kastenträgern werden mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode durchgeführt, wobei in Form einer Parameter-

studie, die im Kapitel 4 beschrieben ist, im wesentlichen die Kastengeometrie für das Innenfeld einer mehrfeldrigen Brücke mit Stützweiten zwischen 30 und 60 m variiert wird. Als wirklichkeitsnahe Belastung werden Einheitslastfälle angesetzt, die aus den in Deutschland vorgeschriebenen normenspezifischen Lasten für Brückenbauwerke entwickelt wurden.

Auf der Grundlage der Ergebnisse (Kapitel 5 und Anhang) werden im Kapitel 6 Diagramme und Berechnungsverfahren entwickelt, mit deren Hilfe das Quertragverhalten von Kastenträgern unter baupraktischen Belangen und schnell ermittelt werden kann.

Kapitel 7 faßt die wesentlichen Schlußfolgerungen aus den erhaltenen Ergebnissen zusammen und gibt entsprechende Empfehlungen für praktische Anwendungen zu bisher unberücksichtigten Besonderheiten beim Lastabtrag von mehrzelligen Hohlkastenträgern.

Mit Kapitel 8 wird eine kurze Zusammenfassung der Arbeit abgeschlossen.



## 2. DAS TRAGVERHALTEN VON UNAUSGESTEIFTEN KASTENTRÄGERN

### 2.1 Allgemeines

Der Überbau einer Hohlkastenbrücke setzt sich aus verschiedenen Konstruktionselementen zusammen, deren Geometrien durch den zu überführenden Straßenquerschnitt und der daraus resultierenden statisch, konstruktiv und wirtschaftlich günstigsten Anordnung zueinander bestimmt wird. Die Fahrbahnplatte hat die Verkehrslasten aufzunehmen und an das Haupttragwerk weiterzuleiten, das sich aus der Fahrbahnplatte selbst, den Stegen, der Bodenplatte und gegebenenfalls aus Feld- und Auflagerquerträgern zusammensetzt (Bild 2.2). Durch die Verbindung dieser Konstruktionselemente eines Brückenüberbaus entsteht so ein Tragwerk mit prismatischer Struktur. Durch die Beanspruchbarkeit der einzelnen Flächenelemente mit Membran- und Biegekräften als Scheibe und Platte ist die Lastabtragung immer räumlich. Die Kastenträger sind infolge dieses Tragverhaltens eine Sonderform des Faltwerks.

Die einzelnen Flächentragwerke eines Hohlkastenträgers können je nach Beanspruchung und Geometrie als Stahl- oder auch als Spannbetonbauteil ausgeführt werden. Mögliche Kombinationen von schlaff bewehrten und vorgespannten Konstruktionselementen zeigt Bild 2.1.

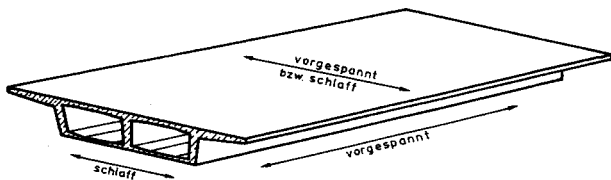


Bild 2.1 Übliche Kombinationen von Stahl- und Spannbeton-  
elementen bei Hohlkästen

Die Vorspannung der Fahrbahnplatte in Brückenquerrichtung hängt im wesentlichen von dem Abstand der Stege ab. Die Grenze für eine schlaff bewehrte Platte liegt bei 3.50 - 4.50 m. Bei größeren Abständen muß die Fahrbahnplatte zur Aufnahme der hohen Einzellasten aus dem Lastfall Verkehr quer vorgespannt werden, wenn die Plattendicke nicht zu groß, der Bewehrungsanteil nicht zu hoch und die zulässigen Zugspannungen nicht überschritten werden sollen. Bei vorgespannten Fahrbahnplatten empfiehlt es sich, bei Abständen der Außenstege von ca. 7.00 m Zwischenstege anzuordnen, da sich sonst die Dicke der Fahrbahnplatten zur Aufnahme der Schnittgrößen unwirtschaftlich erhöht, so daß das Gesamteigengewicht des Brückenüberbaus überproportional anwächst. Die Stege der Kastenträgerbrücken werden heute in der Regel vorgespannt, um möglichst schlanke Bauwerke zu erhalten. Bei Spannweiten bis ca. 60 m werden die Spannglieder nur in den Stegen verlegt. Der Spanngliedverlauf wird dabei möglichst affin zum Momentenverlauf gewählt. Bei größeren Spannweiten können häufig nicht alle Spannglieder in den Stegen untergebracht werden, ohne dabei an innerem Hebelarm zu verlieren. Dann werden zusätzliche Spannglieder mit geradlinigem Verlauf in die Fahrbahn- und Bodenplatte eingelegt.

Die Bodenplatte erhält an vertikalen Lasten im wesentlichen nur ihren Eigengewichtsanteil und geringe Zusatzlasten aus eventuell vorhandenen Installationsführungen. Wenn die Bodenplatte keine großen Torsionsschübe aus Torsionsbeanspruchung des Querschnitts erhält, wird auf eine Quervorspannung verzichtet und nur schlaaffe Bewehrung eingebaut.

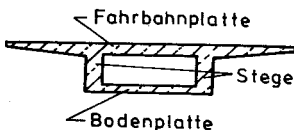
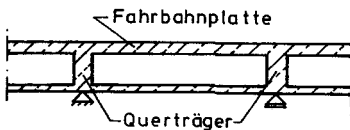
Für die Bemessung der vorgespannten Bauteile ist die DIN 4227 maßgebend, während die schlaffe Bewehrung nach DIN 1045 bemessen wird. Beiden Normen liegen die gleichen Arbeitslinien der Baustoffe zugrunde, es werden jedoch unterschiedliche Bemessungskonzepte verwandt. Aus diesem Grunde sind an den Übergangsstellen, z. B. Steg - Bodenplatte, in den Querschnitten die nach DIN 1045 bemessen wurden, zusätzlich Querbiegezugspannungen nachzuweisen.

Für die im Bauwesen üblichen Abmessungen können die Wand- und Plattendicken dieser Flächenelemente im Vergleich zu den anderen Tragwerksabmessungen als relativ dünnwandig angesehen werden. Die einzelnen Konstruktionselemente eines Kastenträgers dürfen somit als zweidimensionale Kontinua in der räumlichen Struktur der Kastenträger reduziert werden.

Unter bestimmten geometrischen Randbedingungen ( $L \gg d$ ;  $L \gg b$ ) ist es deshalb möglich, das Längs- und Quertragwerk eines Kastenträgers nach den Verfahren der Stabstatik als Durchlaufträger bzw. Rahmentragwerk getrennt zu berechnen (Bild 2.2).

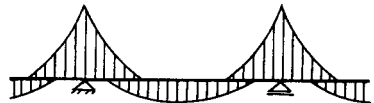
Voraussetzung für diese einfache Berechnungsart ist, daß der Kastenträgerquerschnitt formtreu bleibt, d. h., auch bei Torsionsbeanspruchung des Tragwerks bleibt die Lage der Knotenpunkte des Kastenquerschnitts relativ zueinander erhalten.

### Konstruktionselemente:



### Statische Systeme:

Durchlaufträger + Rahmen



**Bild 2.2** Konstruktionselemente und statische Systeme für die vereinfachte Berechnung von Kastenträgern

Die Norm DIN 1075 - Betonbrücken; Bemessung und Ausführung - /103/ erlaubt diese näherungsweise Berechnung von ein- und mehrzelligen Kastenträgern, sofern die Kasten geometrie die in Bild 2.3 angegebenen Bedingungen nicht überschreitet. In diesen Fällen dürfen die Längsspannungen und die zugehörigen Schubspannungen der Kastenträger nach der Theorie des torsi- onssteifen Stabes ermittelt werden.

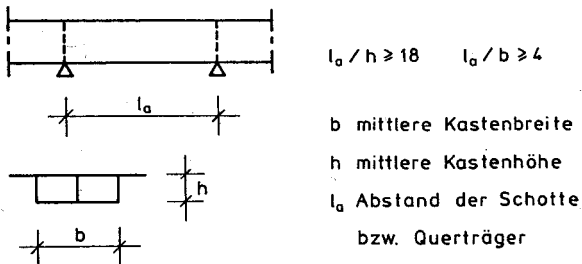


Bild 2.3    Geometriegrenzwerte für Kastenträger nach  
DIN 1075

Die Lastabtragung in Trägerlängsrichtung zu den Unterstützungspunkten erfolgt dabei überwiegend durch Scheibenbeanspruchung der einzelnen Konstruktionselemente des Kastenträgers. Eine Plattenbeanspruchung erhalten die Konstruktionsteile vorrangig aus der Weiterleitung der symmetrisch oder unsymmetrisch angreifenden Verkehrslasten zu den Stegen.

Wenn infolge der geringen Biegesteifigkeit der Stege, Fahrbahn- und Bodenplatte bzw. des Fehlens lastverteilender und formerhaltender Querschotte der Kastenquerschnitt in seiner Form nicht mehr erhalten bleibt, entstehen zusätzliche Beanspruchungen des Querschnitts, bei denen Längs- und Querrichtung miteinander verknüpft sind. In diesem Fall ist der Anteil der unterschiedlichen Längsspannungen in den Stegen zu verfolgen. Die Querbiegung muß berechnet werden.

## 2.2 Der einzellige Kastenträger

### 2.2.1 Symmetrische Belastung

Für symmetrische Lasten kann der einzellige Kastenträger in Längsrichtung als Balken unter Annahme eines starren Querschnitts berechnet werden. Hierbei werden alle Lasten in Querrichtung aufintegriert und zu Einzel- und Linienlasten zusammengefaßt. Mit diesen resultierenden Lasten werden dann am Längstragwerk - Durchlaufträger, Rahmen, Bogen - die Biegemomente, Querkräfte, Normalkräfte und Torsionsschübe mit einem Verfahren der Stabstatik unabhängig von der Querrichtung des Kastenträgers berechnet. Die daraus resultierenden Beanspruchungen der Konstruktionselemente des Kastenträgers sind Scheibenbeanspruchungen in Tragwerkslängsrichtung. Um die zu diesem Tragverhalten zugehörigen Plattenschnittkräfte des Gesamtquerschnitts zu erhalten, kann die Querrichtung unabhängig von der Längsrichtung als Rahmen berechnet werden (Bild 2.2).

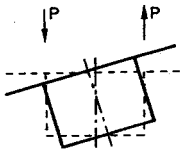
### 2.2.2 Unsymmetrische Belastung

Bei der Ermittlung der Beanspruchungen aus unsymmetrischen Lasten sind die Beanspruchungen in Längs- und Querrichtung miteinander gekoppelt. Exzentrische Lasten verursachen Biegung, Querkräfte und Torsion, wobei die Torsion bei geschlossenen Querschnitten wie Kastenträgern durch St.-Venant-Torsion (Umlauf torsion) und bei dem offenen Querschnitt des mehrstegigen Plattenbalkens vorwiegend durch Wölb torsion (Flanschbiegung) aufgenommen wird.

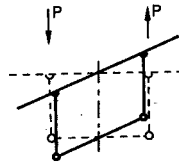
In Bild 2.4 ist der Einfluß der Querschnittsgestaltung auf die Verformung des Kastenträgers bei antimetrischer Belastung dargestellt. Es werden die drei Verformungsfälle unterschieden, die bei Kastenträgern unter antimetrischen Lasten auftreten können. Der querbiegestarke Kasten (Fall a) kann als oberer Grenzfall der Querschnittsverformung angesehen werden.

Erreichen kann man dieses Tragverhalten durch Einbauen von Querschotten in engen Abständen oder durch große Querbiegesteifigkeit des Kastens selbst, die nur durch große Platten- und Stegdicken mit biegesteifen Rahmenecken zu erreichen ist. Diese Querschnittsausbildung bringt ein unwirtschaftlich hohes Eigengewicht des Trägers und ist deshalb baupraktisch nicht von Interesse. Der Kasten wird bei einer solchen Ausbildung nur verdreht und nicht auch noch in sich selbst verformt.

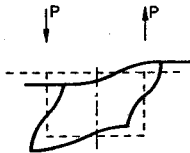
Den Fall b) erhält man, wenn der Kastenträger in Querrichtung überhaupt nicht ausgesteift ist. Durch die quasi gelenkige Verbindung der einzelnen Konstruktionselemente können diese sich in Querrichtung nicht verbiegen, und man hat es jetzt mit dem Fall der reinen Längsbiegung zu tun. Die Lasten werden hierbei nach dem Hebelgesetz auf die einzelnen Stege aufgeteilt.



a) Querbiegestarrer Kasten



b) Gelenkfaltwerk



c) Querbiegesteifer Kasten

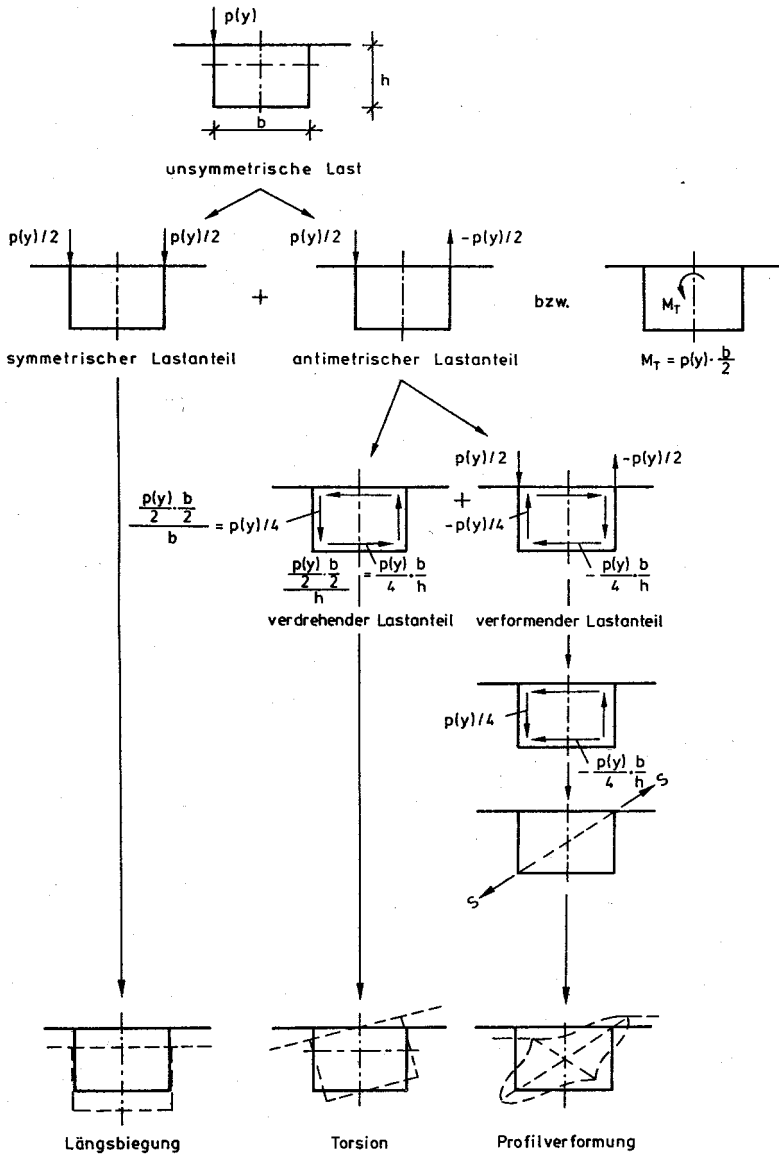
**Bild 2.4** Verformungen von Kastenträgern für antimetrische Belastung in Abhängigkeit von der Querbiegesteifigkeit

Das wirkliche Tragverhalten von Kastenträgern (Fall c) liegt im Massivbau aufgrund der gegebenen Randbedingungen jedoch zwischen diesen beiden Grenzfällen. Welchem der beiden Grenzfälle a) oder b) die Beanspruchung näherkommt, hängt von verschiedenen Einflüssen ab, die im wesentlichen die Verformungen - Durchbiegung und Verdrillung - der torsionselastischen Längsträger beeinflussen.

Die wichtigsten Einflußgrößen sind:

- Querbiegesteifigkeit der Fahrbahn- und Bodenplatte sowie der Kastenwände,
- Torsionssteifigkeit des Kastenträgers,
- Biegesteifigkeit der Kastenstege als Längsträger,
- Schubfeste Verbindung der Fahrbahnplatte mit den Stegen,
- Abstand des untersuchten Querschnitts vom Querträger,
- Anzahl und Abstand evtl. vorhandener Feldquerträger.

Die Lastanteile eines einzelligen Kastenträgers durch exzentrisch zur Längsachse angreifende Belastung sowie die daraus resultierenden Beanspruchungen des Kastenträgers sind in Bild 2.5 dargestellt. Die unsymmetrisch über dem Steg angreifende Linien- oder Einzellast wird dabei in einen symmetrischen und antimetrischen Lastanteil aufgespalten. Der symmetrische Lastanteil erzeugt einen Längsspannungszustand (Biegeanteil), der sich nach den bekannten Verfahren der Stabstatik - Balkenbiegetheorie - erfassen läßt. Lediglich bei sehr breiten Platten muß noch die Querverteilung der Längsspannung mit Hilfe der Scheibentheorie nachgewiesen werden. Dieses geschieht in der Praxis über die Ermittlung der sogenannten mitwirkenden Plattenbreite, deren Verlauf in Tragwerkslängsrichtung und die zunehmende Breite für Brücken in Abhängigkeit von der Geometrie in DIN 1075 zusammengefaßt ist.



**Bild 2.5** Zerlegung einer unsymmetrischen Belastung eines einzelligen Kastenträgers in einzeln berechenbare Teilbeanspruchungen des Querschnitts



Der antimetrische Lastanteil erzeugt ein Torsionsmoment (Verdrehanteil), das im wesentlichen durch einen konstanten Schubfluß in den Kastelementen aufgenommen wird. Die Größe der Schubkräfte läßt sich beim Hohlkastenquerschnitt mit der Torsionstheorie ermitteln; diese führt auf die Bredt'sche Formel und gegebenenfalls zu berücksichtigenden Zusatzspannungen aus behinderter Querschnittsverwölbung. Die Torsionstheorie setzt jedoch u. a. voraus, daß das äußere Torsionsmoment in Form eines umlaufenden Kräfteflusses konstanter Intensität eingeleitet wird und somit die Querschnittsform erhalten bleibt.

Bild 2.6 zeigt die hieraus resultierenden Schubflüsse bei geschlossenen ein- und zweizelligen Kastenquerschnitten. Der umlaufende Schubfluß in den Querschnittselementen ist gemäß dem Satz über die zugeordneten Schubspannungen am Scheibenelement, d. h. aus Gleichgewichtsgründen, konstant. Bei mehrzelligen Querschnitten liefern die Zwischenstege keinen nennenswerten Beitrag zur Torsionssteifigkeit, da der Schubfluß bevorzugt in den äußeren Querschnittsbegrenzungen des Kastens verläuft.

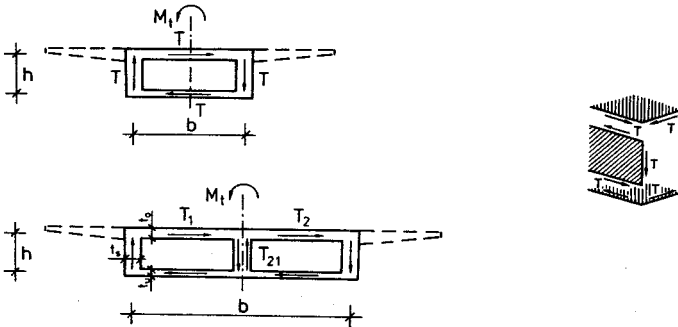


Bild 2.6 Schubfluß bei geschlossenen Querschnitten

Bei reiner Torsion (St. Venant'sche Torsion) bleibt bei einer konstanten Kräfteinleitung über den Kastenumfang die Quer-

schnittsform erhalten; bei Wölbkrafttorsion muß dieses zusätzlich gefordert werden. Bei Brückenträgern mit üblichen Querschnittsabmessungen ist in der Regel die St.-Venant'sche Torsion mit Zwangsverformungen des Querschnitts und entsprechender Längsbiegung der Kastenenelemente verbunden. Diese zur Herstellung der Verträglichkeit notwendige Verwölbung bzw. Längsbiegung der Scheibenelemente ist im allgemeinen jedoch sehr klein und kann deshalb im Massivbrückenbau vernachlässigt werden.

Die Einleitung exzentrisch angreifender Lasten geschieht bei Kastenträgern nicht durch einen umlaufenden Torsionsfluß. Ausführungstechnisch wäre dieses durch Anordnung eines Querschotts an der Lasteinleitungsstelle möglich. Diese Forderung ist jedoch in der Praxis für die exzentrisch angreifenden und in Längsrichtung wandernden Verkehrslasten nur durch Anordnung von Querschotten in sehr engem Abstand möglich. Dies führt jedoch zu unwirtschaftlichen Konstruktionen, da der Einbau von Querschotten - auch als Fertigteil - den Herstellungsrhythmus des Bauwerks erheblich behindert.

Diese Einschränkung hat Kräfte zur Folge, die zur Gewährleistung des Gleichgewichts erforderlich sind und somit nicht vernachlässigt werden dürfen. Der antimetrische Lastanteil ist deshalb in den profilverdrehenden (Torsionskraftanteil) und in den profilverformenden Lastanteil (Schubkraftanteil) aufzuteilen. Der zweite Anteil stellt eine Gleichgewichtskräftegruppe dar, bei der das Torsionsmoment infolge exzentrischer Lasten mit den Schubkraftdifferenzen einen Gleichgewichtszustand bildet und somit keine Schnittkraftresultierenden in Längsrichtung erzeugt. Hieraus resultiert die zum Gleichgewicht erforderliche Kraft  $S$ , die den Kastenträger in Querrichtung längs der Diagonalen verformt. Die Querschnittsform bleibt also nicht erhalten, sondern die Knotenpunkte verschieben sich relativ zueinander. Diese Verwindung des Querschnitts wird als **Profilverformung** bezeichnet. Die Summe der Verformungen eines unsymmetrisch belasteten einzelligen Kastenträgers aus Längsbiegung, Torsion und Profilverformung ist in Bild 2.7 dargestellt.

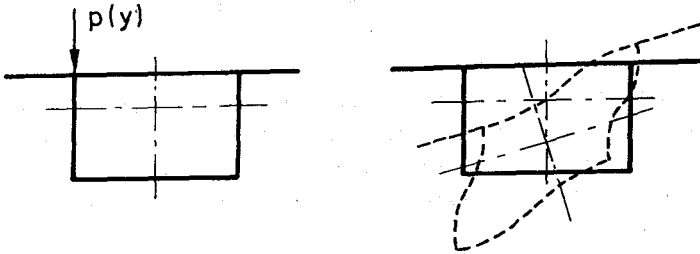


Bild 2.7 Superponierte Verformungen für unsymmetrische Belastung von Kastentragwerken

Die Verformungen des Kastenträgers in Längsrichtung erzeugen Normalspannungen. Aus der Verdrehung des Querschnitts entstehen Torsionsschubspannungen. Durch die Verformung infolge Profilverformung entstehen als Zusatzbeanspruchung des Tragwerks Querbiegemomente, Schubkräfte und Biegespannungen in Längsrichtung. Diese Schnittgrößen aus Profilverformung werden häufig als Zwangsschnittgrößen angesehen, d. h., sie sind zum Gleichgewicht nicht erforderlich. Mit der Begründung, daß Zwangsschnittgrößen beim Übergang zur Grenzlast im Zustand II weitgehend verschwinden, wird auf ihren Nachweis verzichtet. Betrachtet man hierzu in Bild 2.5 den verformenden Lastanteil, ergibt sich, daß die Diagonalkraft  $S$  aus Gleichgewichtsgründen am geschlossenen Rahmen erforderlich ist. Diese Kraft erzeugt eine Profilverformung des Querschnitts, und die daraus resultierenden Zusatzbeanspruchungen des Querschnitts sind somit keine Zwangsschnittgrößen.

Würde man bei einem Kastenträger auf die Berücksichtigung der Profilverformung verzichten, wäre das Gleichgewicht nur gesichert, wenn man die gegebene Belastung nach dem Hebelgesetz auf die Stege verteilt. Hierbei kann auf die Torsionssteifigkeit des Kastenträgers verzichtet werden. Das aber widerspricht der üblichen Berechnung und dem wirklichen Tragverhalten solcher Träger, bei denen die nicht direkt belasteten Stege sich am Lastabtrag beteiligen und die Lastweiterleitung

sowohl über die umlaufenden Bredt'schen Torsionsschübe als auch die Querbiegemomente des Kastenträgers infolge Profilverformung erfolgt.

An den Auflagern wird diese Querschnittsverformung im allgemeinen durch die Querträger über dem Lager verhindert. Die einzelnen Konstruktionselemente des Querschnitts erfahren somit in Längsrichtung veränderliche Durchbiegungen und damit entsprechend veränderliche Längsbiegemomente. Der Gesamtkasten wirkt als Faltwerk, dessen Einzelelemente in Längsrichtung vorrangig als Balken und in Querrichtung hauptsächlich als Platten wirken.

Bis auf den profilverformenden Lastanteil (Diagonalkraft S) können alle Lastanteile mit Hilfe der Balkenbiegetheorie bzw. einfacher Rahmenberechnung behandelt werden. Der profilverformende Lastanteil muß nach der Faltwerktheorie behandelt werden. Hierfür vorhandene Berechnungsverfahren werden in Kapitel 3 dieser Arbeit aufgezeigt.

### 2.2.3 Zusammenstellung der Hauptbeanspruchungen der Konstruktionselemente von Kastenträgern

Grundsätzlich lassen sich die Hauptbeanspruchungen in Tragfunktionen in Trägerlängsrichtung bzw. -querrichtung aufteilen.

#### a) Fahrbahnplatte:

- Ableitung der vertikalen Fahrbahnbelastung auf die Stege in Brückenquerrichtung. Die Fahrbahnplatte erhält aus diesen Lasten Biegemomente längs und quer sowie Querkräfte senkrecht zur Plattenebene.
- Weiterleitung der Querbeanspruchung des Kastenträgers aus exzentrischen Belastungen. Biegemomente in Querrichtung und Querkräfte senkrecht zur Plattenebene sind aufzunehmen.

- Zug- oder Druckscheibe des Gesamtquerschnitts bei vertikaler Trägerbiegung mit Beanspruchung durch Normalkräfte längs und Schubkräfte in der Plattenebene.
- Schubscheibe des Gesamtquerschnitts bei Torsionsbeanspruchung. Normalkräfte längs und Schubkräfte in der Plattenebene sind die zugehörigen Schnittgrößen.
- Ableitung horizontaler Belastung des Trägers aus Wind, Erdbeben und Bremsen als Stegscheibe in Trägerlängsrichtung. Hierdurch entstehen die gleichen Beanspruchungen wie im letzten Absatz.

b) Stege:

- Steg des Gesamtquerschnitts bei Biegung um die horizontale Querschnittsachse. Beanspruchung durch Schubkräfte in der Stegebene sowie Normalkräfte längs.
- Schubscheibe des Gesamtquerschnitts bei Torsionsbeanspruchung. Normalkräfte längs und Schubkräfte in der Stegebene sind die resultierenden Schnittgrößen.
- Zug- oder Druckscheibe des Gesamtquerschnitts bei horizontaler Trägerbiegung in Längsrichtung. Beanspruchung durch Normalkräfte längs und Schubkräfte in der Stegebene.
- Einspannung der Fahrbahn- und Bodenplatte als Rahmenscheibe in Kastenquerrichtung. Biegemomente in Querrichtung sowie Querkräfte senkrecht zur Stegebene sind die resultierenden Schnittgrößen.

c) Bodenplatte:

- Ableitung der vertikalen Belastungen - im wesentlichen nur Eigengewicht - zu den Stegen. Die Bodenplatte erhält dadurch vorwiegend Biegemomente in Querrichtung sowie Querkräfte senkrecht zur Plattenebene.

- Weiterleitung der Querbeanspruchung des Kastenträgers aus exzentrischen Belastungen. Biegemomente in Querrichtung und Querkräfte senkrecht zur Plattenebene sind aufzunehmen.
- Zug- oder Druckscheibe des Gesamtquerschnitts bei vertikaler Trägerbiegung. Beanspruchung durch Normalkräfte längs und Schubkräfte in der Plattenebene.
- Schubscheibe des Gesamtquerschnitts bei Torsionsbeanspruchung in Trägerlängsrichtung. Normalkräfte längs und Schubkräfte in der Plattenebene sind die resultierenden Schnittgrößen.
- Ableitung horizontaler Beanspruchungen aus Wind und Erdbeben als Stegscheibe in Trägerlängsrichtung. Hierdurch entstehen die gleichen Beanspruchungen wie im letzten Absatz.

## 2.3 Der mehrzellige Kastenträger

### 2.3.1 Symmetrische Belastung

Grundsätzlich gilt für den mehrzelligen Kastenträger das gleiche wie für einzellige; es wird in den meisten bisherigen Veröffentlichungen zum Tragverhalten von symmetrischen mehrzelligen Kastenträgern für symmetrisch zur Querrichtung verteilte Lasten und symmetrisch auf dem Querschnitt angeordnete Einzel- bzw. Linienlasten über alle Stege des Querschnitts ein gleichmäßiger Lastabtrag bei gleichen Stegwanddicken angenommen.

Dieser allgemein übliche Ansatz unterstellt, daß der Kastenträger torsionssteif ist und der Querschnitt sich nicht verformt, d. h., daß die Verschiebungen der einzelnen Stege relativ zueinander gleich Null sind. Dieser Verformungsansatz gilt jedoch nur für den einzelligen symmetrischen Rechteckkasten, bei dem die Durchbiegungen der Stege unter den symmetrisch zur Trägerlängsachse angreifenden Lasten gleich sind. Dagegen treten beim zweizelligen symmetrischen Kasten schon unter Beanspruchungen, deren Resultierende durch den Schubmittelpunkt geht, unterschiedliche vertikale Verschiebungen der Stege auf. Eine Profilverformung des Querschnitts bei unausgesteiften Kastenträgern tritt bereits unter symmetrischen Einzel- oder Linienlasten auf. Die Belastung im Schubmittelpunkt übernehmen die drei Stege des zweizelligen Kastenträgers nicht jeweils zu einem Drittel, sondern entsprechend dem Schubfluß aus der Querkraft. Nur eine solche Lasteintragung wirkt ohne Querbiegung. Dieser Zustand wird für den Lastfall Vorspannung angestrebt. Die Vorspannkkräfte werden deshalb im Verhältnis der Schubkräfte in den Stegen aufgeteilt, wirken so dem Lastfall Eigengewicht entgegen und erzeugen keine Querbiegung.

In ihrem Bericht /60/ über einen Schadensfall an einer dreifeldrigen Flußbrücke mit Stützweiten von ca. 100 Metern weisen Moreau und Virlogeux erstmals auf dieses Problem hin. Die

von ihnen durchgeführte Vergleichsberechnung mit der Methode der Finiten-Elemente ergab für den zur Diskussion stehenden Querschnitt (Bild 2.8), daß die Querverteilung unter Berücksichtigung der Querverformbarkeit des Querschnitts wesentlich vom Tragverhalten eines quer unverformbaren Hohlkastens abweicht. Die vertikalen Verschiebungen des direkt belasteten Mittelstegs waren größer als die der Randstege. Dieses ist nur durch entsprechend große Verformungen der Fahrbahn- und Bodenplatte möglich. Bei dieser Brücke führte die Profilverformung zu Rissen in der Bodenplatte in Brückenlängsrichtung und zu Schubrisen im Mittelsteg aufgrund der Überbelastung aus ungleichmäßiger Querverteilung der vertikalen Lasten.

Dieses wurde im vorliegenden Schadensfall zusätzlich begünstigt durch die "unausgewogene" Tragwerksausbildung in Brückenquerrichtung. Durch die sehr kurzen Kragarme entstehen bei

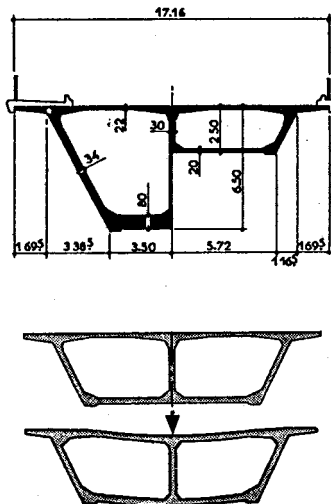


Bild 2.8 Geometrie und Profilverformung eines zweizelligen Hohlkastens unter symmetrischer Belastung (entnommen aus /60/)



einer solchen Querschnittsausbildung schon aufgrund der größeren Lastezugsflächen des Mittelstegs (Verhältnis des Randstegs zum Mittelsteg beträgt hier ca. 1 : 1.5 bei Vernachlässigung der Durchlaufwirkung in Brückenquerrichtung) ungleichmäßige Belastungen für alle Stege.

In bestimmten Fällen ist es beim mehrzelligen Hohlkastenträger nicht ausreichend, das mechanische Tragverhalten für symmetrische Lasten wie beim einzelligen Hohlkastenträger mit Hilfe der elementaren Bernoulli'schen und Bredt'schen Biege- und Torsionstheorie zu beschreiben.

### 2.3.2 Unsymmetrische Belastung

Die Ermittlung der Beanspruchungen eines mehrzelligen Kastenträgers unter unsymmetrisch angreifenden Lasten ist wegen des komplexeren Tragverhaltens wesentlich umständlicher. Man behilft sich, indem man die bekannten Lösungen für den symmetrischen einzelligen Kastenträger von Steinle /88/ - /89/, Kupfer /48/ und Lippoth /52/ entsprechend erweitert.

Bild 2.9 zeigt die Aufteilung des elastisch gestützten Ausgangssystems in Querrichtung. Die Biegeverformungen in Querrichtung werden zunächst am starr gestützten System ermittelt. In einem zweiten Rechengang wird der Einfluß der elastischen Federung der Längsträger unter den Auflagerkräften des starren Systems untersucht. Wie beim einzelligen Kastenträger wird hierfür das System in die einzeln berechenbaren Beanspruchungen - Längsbiegung, Querbiegung ohne Verdrehung, Torsion unter Vernachlässigung der Wölbkrafttorsion und Profilverformung - aufgeteilt. Dieser Rechengang führt zu unterschiedlichen Lasterhöhungsfaktoren für Einzel- und Linienlasten. Die Spannungsnachweise in Längsrichtung erfolgen nach der Ermittlung der Erhöhungsfaktoren infolge Querbiegung am Gesamtstab. Die Zusatzspannungen aus dem Einfluß der Querschnittsverformungen werden bei diesem Vorgehen nur näherungsweise erfaßt.

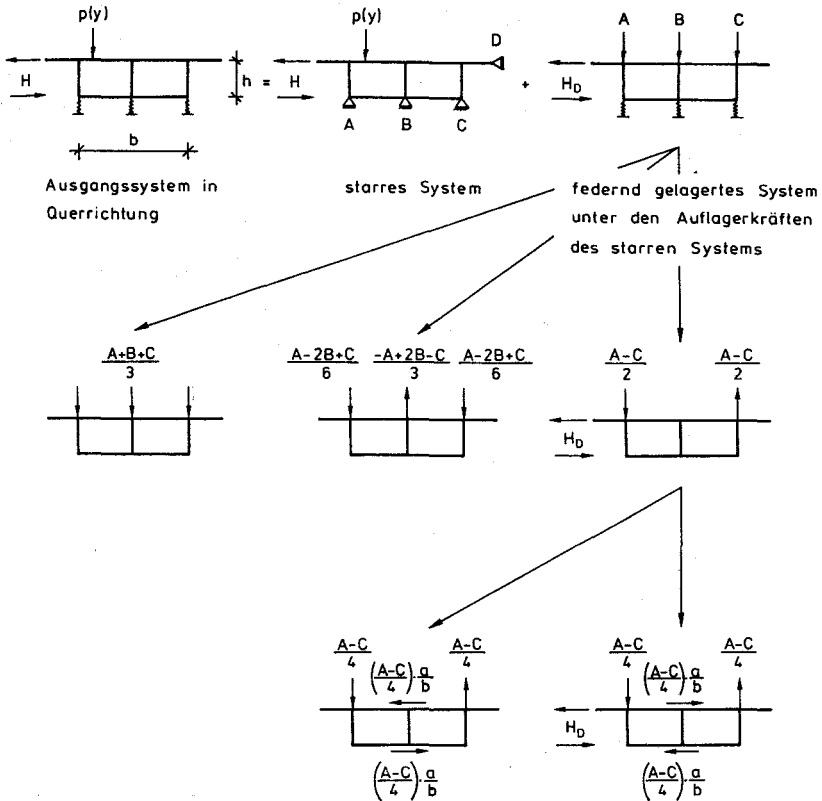


Bild 2.9 Zerlegung einer unsymmetrischen Belastung eines zweizelligen Kastenträgers in einzeln berechenbare Teilbeanspruchungen des Querschnitts

Ein zweiter Lösungsweg zur Ermittlung der Beanspruchung des mehrzelligen Kastenträgers ist wirtschaftlich mit der folgenden näherungsweise Modellierung in Anlehnung an das Tragmodell eines mehrstegigen Plattenbalkens möglich. Voraussetzung ist jedoch eine Rechenanlage mit einem leistungsfähigen Trägerrostprogramm. Ausgehend vom statischen System eines Trägerrostes wird jeweils eine Zelle des Kastenquerschnitts als Längsträger betrachtet. Die Querträger werden von der oberen und unteren Kastenplatte gebildet. Ihr Tragverhalten entspricht im Prinzip dem eines Vierendeel-Trägers. Die Schwie-

rigkeit besteht beim mehrzelligen Kastenträger in der Festlegung der Biege-, Schub- und Torsionssteifigkeit für die Längs- und Querträger als Eingangswerte für die elektronische Berechnung, da hierdurch die Längs- und Querverformungen des Tragwerks - und damit auch die Querverteilung - stark beeinflußt werden.

Für einen zweizelligen Kastenträger ist die Summe der Verformungen unter einer Einzellast auf dem Randsteg in Bild 2.10 dargestellt. Deutlich sind auch hier, wie beim einzelligen Kasten, die vertikalen Verschiebungen, die Verdrehung und Verformung des Querschnitts zu erkennen.

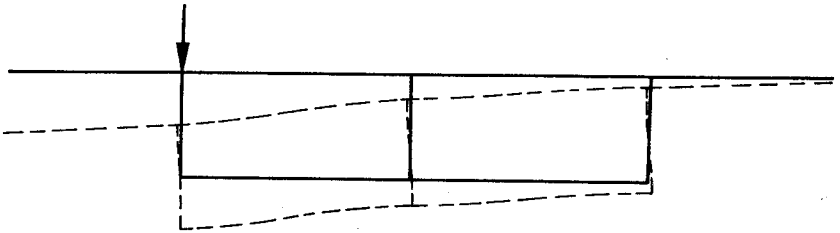


Bild 2.10 Verformung eines zweizelligen Kastenträgers mit einer Einzellast auf dem Randsteg

### 3. VORHANDENE BERECHNUNGSVERFAHREN

#### 3.1 Allgemeines

Bei genauerer Berechnung von Hohlkastenträgern ist der Lastabtrag immer dreidimensional. Für die Ermittlung der dabei auftretenden Beanspruchungen stehen folgende Berechnungsverfahren zur Verfügung:

- Analogie zum elastisch gebetteten Balken,
- Faltwerktheorie (Platten- und Scheibentheorie) mit Reihenentwicklungen,
- Finite-Streifen-Methode,
- Finite-Elemente-Methode.

Die meisten Lösungen in Veröffentlichungen basieren auf dem erstgenannten Verfahren. Die betrachtete Stegscheibe wird durch einen elastisch gebetteten Balken ersetzt. Die übrigen drei Berechnungsmöglichkeiten erfordern einen größeren Aufwand an Theorie und teilweise einen sehr großen numerischen Aufwand.

Die vollständige Berechnung einer Hohlkastenbrücke mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode, unter dem Gesichtspunkt einer in sich geschlossenen Untersuchung in Längs- und Querrichtung, wie sie in Kapitel 4 durchgeführt wurde, ist im Rahmen einer Entwurfs- bzw. Ausführungsstatik für den in der Praxis tätigen Ingenieur nicht durchführbar. Der Aufwand für die Diskretisierung des Tragwerks, die große Anzahl der Eingabedaten, die Test- und Kontrollrechnungen zur Fehlerfindung und die Auswertung der Ergebnisse kommt wegen des hohen Zeitaufwandes sehr schnell in unwirtschaftliche Dimensionen.

elastisch gebetteter Balken	Kastenträger unter profilverformender Belastung
Biegesteifigkeit	Wölbsteifigkeit
Bettungsmodul	Rahmensteifigkeit
vertikale Belastung	profilverformende Belastung
Durchbiegung	Verformungswinkel des Querschnitts
Biegemoment	Zusatzbeanspruchung aus Profilverformung
Querkraft	—

Tabelle 3.1 Analoge Beziehungen zwischen einem elastisch gebetteten Balken und einem durch Profilverformung beanspruchten Kastenträger

$$E \cdot J \frac{d^4 w}{dy^4} + K(y) \cdot w = p(y)$$

$y \hat{=}$  Tragwerkslängsrichtung

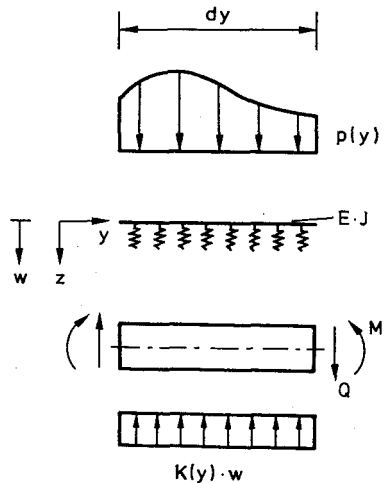


Bild 3.1 Differentialgleichung des elastisch gebetteten Balkens und Darstellung der einzelnen Terme am differentiellen Element

Die analogen Beziehungen zwischen einem elastisch gebetteten Balken und einem aus Profilverformung beanspruchten Hohlkastenträger, die den meisten "handlichen" Verfahren zugrunde liegen, sind in der Tabelle 3.1 zusammengestellt. Diese Zusammenhänge sind Ausgang der meisten vereinfachten Lösungswege. Die Biegesteifigkeit des elastisch gebetteten Balkens ersetzt hierbei die Wölbsteifigkeit des Kastenträgers und das Bettungsmodul die Querbiegesteifigkeit des Rahmens.

Die Verknüpfung von Längs- und Quertragwerk geschieht dabei über die Gleichsetzung der Durchbiegung des elastisch gebetteten Balkens zum Verformungswinkel des Querschnitts; alternativ wäre auch eine andere Verknüpfung, z. B. die Gleichsetzung der vertikalen Verformungen, möglich. Dieses ergibt die endgültige Differentialgleichung der Profilverformung:

$$E \cdot J_{II} \cdot \gamma^4 + E \cdot J_R \cdot \gamma = \frac{P}{4} \cdot b$$

$EJ_{II}$  : Wölbsteifigkeit der Profilverformung

$EJ_R$  : Rahmensteifigkeit

$\frac{P}{4} a$  : Profilverformende Belastung

$\gamma$  : Verformungswinkel

Der erste Term der Differentialgleichung bedeutet dabei den Lastabtrag in Längsrichtung, der zweite Term die Rahmentragwirkung (Lastabtrag in Querrichtung). Die Belastung ergibt sich aus der profilverformenden Diagonalkraft  $S$  (Bild 2.5).

Diese Gleichung hat dieselbe Form wie die Differentialgleichung des querbelasteten Balkens auf elastischer Bettung. Zu lösen bleibt noch die Differentialgleichung für den elastisch gebetteten Balken. Die allgemeine Form der Gleichung mit den zugehörigen Belastungen ist in Bild 3.1 dargestellt. Die gesuchte Lösungsfunktion für die Stegscheibe muß außer der Dif-

ferentialgleichung auch die Randbedingungen des zu untersuchenden Kastenträgers erfüllen. Auflager müssen durch entsprechende Randbedingungen berücksichtigt werden, d. h., die Durchbiegungen bei  $Y = 0$  und  $Y = L$  ( $L =$  Stützweite) müssen Null sein. Für eine Vielzahl von Grundsystemen mit unterschiedlichen Randbedingungen sind die Schnittgrößen und Verformungen für den Balken auf elastischer Bettung von Hetényi in /31/ gegeben worden.

### 3.1.1 Literaturlauswertung

Das Problem des räumlichen Lastabtrags von Kastenträgern hat schon sehr frühzeitig zahlreiche Forscher beschäftigt. Erste Arbeiten zu diesem Thema kamen aus dem Gebiet des Stahlbaus, wo, angeregt durch die Aufgabe im Flugzeugbau und im Stahlbrückenbau, das Problem der Wölbkrafttorsion an Kastenprofilen behandelt wurde (s. Literaturverzeichnis in /70/).

Soweit diese ersten Veröffentlichungen über Kastenträger auf die Querbeanspruchung eingehen, wird - wie in Helig /30/, Knittel /37/, Resinger /70/ - meist ein querbiegestarrer Kasten (Bild 2.4) angenommen. Man geht hierbei davon aus, daß bei hinreichend geringen Querschottabständen der Hohlkastenträger beim Verdrehen seine Querschnittskontur beibehält und ausreichend genau mittels der Membrantheorie berechnet werden kann. Die Autoren vernachlässigen bei ihren Ansätzen die Kastenwandbiegesteifigkeit mit der Begründung, daß die Kastenwanddicke im Verhältnis zu ihrer Höhe sehr gering ist. Diese Voraussetzung ist im Stahlbau solange richtig, wie die Wandbleche nicht durch Beulsteifen gehalten und der Querschottabstand nicht zu groß wird. In allen anderen Fällen - so auch im Massivbrückenbau - hat die Rahmentragwirkung von Kastenträgern einen erheblichen Einfluß auf die Kräfteumlagerung, so daß hier die Berücksichtigung der Profilverformung in der Regel einen wesentlich größeren Einfluß hat als die Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion.

Eine allgemeine Darstellung der Querschnittsverformung von Kastenträgern ist mit den Arbeiten von Lacher /49/, Sedlacek /81/ und Wlassow /96/ gegeben. Die Angabe des Lösungswegs ist von Wlassow in /96/ weitgehend allgemein gehalten. Der Weg führt dabei über ein System simultaner Differentialgleichungen, die Einzellasten, wie sie im Brückenbau üblich sind, nur mit großem Aufwand berücksichtigen können.

Lacher /49/ hat, aufbauend auf der Deformationsmethode von Wlassow /96/, das Problem für beliebige Querschnitte in Matrixschreibweise formuliert und die zur Aussteifung des Kastens erforderlichen Querschotte diskret in Tragwerkslängsrichtung verteilt. Wegen ihrer allgemeinen Darstellung sind diese Ausarbeitungen weniger für die Praxis geeignet.

Yajima forderte in /98/, unabhängig von den baupraktischen Belangen, einen festen vorzuzählenden Querschottabstand, um seine vereinfachte Gleichung benutzen zu können. Dieser Weg bietet sich in der Regel nur für Kastenträger im Stahlbau an, wo die Querschotte nachträglich zwischen die Hauptträgerstege eingeschweißt werden können. Im Massivbrückenbau bedeutet jedoch der Einbau von Querträgern im Feldbereich wegen der erforderlichen monolithischen Verbindung mit den Stegen - Erfordernis von Anschlußbewehrung - einen baubetrieblich und wirtschaftlich ungerechtfertigt hohen Aufwand.

Bornscheuer gibt in /7/ und /8/ eine umfangreiche Formelsammlung zur Spannungsberechnung dünnwandiger Stäbe an, anhand derer der in der Praxis tätige Bauingenieur schnell zu Zahlenenergebnissen kommt.

Im Hinblick auf die praktikable Anwendung der entwickelten Lösungen beschränken sich die meisten Arbeiten auf spezielle Querschnittsformen. Mit dem quadratischen Querschnitt befaßt sich Eßlinger /19/. Den einfach symmetrischen, rechteckigen Kastenträger behandelten Dabrowski /14/, Mrotzek /62/, Resinger /70/ und Steinle /87/ - /90/. Veröffentlichungen über den einfach symmetrischen Trapezquerschnitt liegen von Dabrowski /14/, Dauner /15/ und Kupfer /48/ vor. Eßlinger /19/ und Dab-



rowski /14/ haben speziell den Einfluß der Verzerrungen auf die Normalspannungen untersucht. Diese Arbeiten enthalten keine Möglichkeit, verschiedene Lastgruppen schnell zu erfassen, da jeweils die Partikulärlösungen gefunden und zusammen mit der homogenen Lösung an die Randbedingungen angepaßt werden müssen.

Hees hat in /27/ ein Verfahren für einzellige Kastenträger beliebiger Geometrie in einer zur Wölbkrafttorsion von Bornscheuer in /7/ und /8/ veröffentlichten analogen Darstellung entwickelt, dessen Anwendung wegen der vielen geometrischen Kenngrößen eines beliebig geformten Querschnitts sehr aufwendig ist. Auch Usuki hat sich in /92/ mit der Theorie einzelliger, beliebig geformter Stäbe auseinandergesetzt. Beide Verfahren berücksichtigen die Verformungen aus sekundären Wölbspannungen, die von den vorstehenden Verfahren z. T. vernachlässigt wurden. Usuki /92/ berücksichtigt zusätzlich noch die Verformungen aus den Schubspannungen der Profilverformung und die Drillmomente in den Wänden.

Die o. g. Berechnungsverfahren gehen zur Beschränkung von Einflußparametern von konstanten Dicken der einzelnen Platten- bzw. Stegelementen und rechtwinkliger Anordnung dieser Bauteile zueinander aus. In seiner Arbeit /67/ untersucht Prakash Rao den Einfluß von Vouten, Kragarmlänge, Stegneigung und -dicke auf die Querbiegemomente und Längsspannungen infolge Profilverformung. Die Grundlage aller bisher genannten Arbeiten ist die erweiterte Biege- und Verdrehtheorie, deren allgemeine Theorie für den dünnwandigen Stab unter beliebiger Belastung in den Arbeiten Schardt /73/, Sedlacek /81/ und Wlassow /96/ enthalten ist.

Mit der Berechnung schiefwinkliger, einzelliger Kastenträger setzen sich Pelle /66/ und Malek /53/ in ihren Arbeiten auseinander. Beide weisen darauf hin, daß "exakte" Lösungen der tatsächlich auftretenden Beanspruchungen nur mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode numerisch auf Großrechenanlagen zu ermitteln sind. Pelle entwickelte hiermit modifizierte Lastumordnungen, so daß solche Tragwerke mit der üblichen Reduk-

tion auf das statische System des schief gelagerten Stabs zurückgeführt werden können und dabei auch die Endbereiche der Träger mit befriedigender Genauigkeit erfaßt werden. In /53/ wird mit Hilfe von Finite-Elemente-Berechnungen ein Näherungsverfahren zur Berechnung der Schnittgrößen von schiefwinkligen Kastenträgern entwickelt, das auf Einfeld- sowie für Durchlaufträger über zwei Felder anwendbar ist.

Mehrzellige Hohlkästen werden in den Arbeiten von Castrillón /9/, Dittler /16/, Moustafa /61/ und Sulke /91/ erläutert. Der symmetrische, dreizellige Kastenträger, dessen äußere Zellen aus Dreieckzellen bestehen (Bild 3.2), wird von Castrillón behandelt. Aufgrund der Dreieckzellen besitzt der untersuchte Querschnitt nur eine Verformungsmöglichkeit. Die entwickelten Näherungsansätze lassen sich nicht verallgemeinern und auf andere Profilformungen übertragen.



Bild 3.2 Mehrzelliger Hohlkasten mit außenliegenden Dreieckszellen

Eine Lösungsmöglichkeit nach der erweiterten Biegetheorie für den mehrzelligen Hohlkastenträger mit zueinander parallelen Deck- und Bodenplatten sowie dazwischen beliebig angeordneten Stegen stellt Sulke in /91/ vor. Die darauf aufbauende Untersuchung des Einflusses der Zellenanzahl auf die Tragwirkung zeigt, daß ab drei Zellen in Kastenquerrichtung keine bessere Querverteilung von Lasten erreicht werden kann.

Die Problematik der Vorspannung von Hohlkästen mit außenliegenden Dreieckszellen, wie sie Castrillón /9/ untersucht hat, zeigt Lippoth in /52/. Durch die starke Neigung der Außenstege erzeugen die Umlenkkräfte aus der Vorspannung der äße-

ren Stege Zugspannungen in der Bodenplatte der Mittelzelle, die nicht vollständig durch Wirkung der Umlenkkräfte in den Innenstegen vermindert oder überdrückt werden können. Die Vernachlässigung dieses Effekts hat schon zu größeren Schäden an Spannbetonbrücken geführt. Für die Berechnung dieser Beanspruchung von Hohlkastenträgern quer zur Längsachse aus parabelförmiger Spanngliedführung gibt Koepcke in /38/ eine einigermaßen zutreffende Berechnung an.

Prismatische Tragwerke wie Kastenträger lassen sich auch nach der Faltwerktheorie berechnen. Im Gegensatz zur Balkentheorie wird hierbei nicht der Gesamtquerschnitt zugrunde gelegt, sondern man geht von den einzelnen Konstruktionselementen des Tragwerks aus. Die Deck- und Bodenplatten werden mit den Stegen an den Knotenlinien unter Beachtung der Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen gekoppelt. Eine ausführliche Beschreibung dieser Theorie findet sich bei Nyffeler /64/. Linienlasten lassen sich hierbei noch in Handrechnungen erfassen, während für exzentrische Einzellasten ein verhältnismäßig großer Rechenaufwand erforderlich wird.

Den Übergang zwischen den Faltwerktheorien bei geschlossenen Querschnitten zur Finite-Elemente-Methode füllt die Finite-Streifen-Methode. Hierbei wird das Tragwerk durch Streifen, die sich in Brückenlängsrichtung erstrecken, diskretisiert. Das Verformungsverhalten dieser Tragwerke wird durch harmonische Funktionen beschrieben, die per Ansatz bestimmte Randbedingungen an den Trägerenden erfüllen. Die Anwendung der Methode kann jedoch nur bei statisch bestimmten Systemen erfolgen. Die verknüpfenden Unbekannten der Streifen sind die Verschiebungswerte an den Streifenrändern. Der numerische Aufwand ist dabei im Vergleich zur Finite-Elemente-Methode wesentlich geringer, wenngleich Einzellasten nur durch eine große Anzahl von Reihengliedern berücksichtigt werden können. Du Preez /68/ bearbeitete hierfür den Lösungsansatz für den allgemeinen Fall eines prismatischen Flächentragwerks, wobei die Konstanten in den Lösungsansätzen des Differentialgleichungssystems die Anpassung an beliebige Randbedingungen an den Trägerenden erlauben.

Die computerunterstützte Untersuchung des Tragverhaltens von Kastenträgern ist im Ausland wesentlich weiter verbreitet. Die verwendeten Programme beruhen dabei sowohl auf der Faltwerktheorie als auch auf der Finite-Streifen-Methode und der Finite-Elemente-Methode. Die Untersuchungen gehen wegen des großen EDV-Aufwands dabei in zwei grundsätzlich unterschiedliche Richtungen. Einerseits werden geometrisch aufwendige Strukturen mit einfachen Lastbildern bearbeitet und für diese Spezialfälle Lösungen erarbeitet. So behandeln Alam und Hongladaromp /1/ den gekrümmten Hohlkasten mit Zwischenschotten im Feldbereich, Scordelis und Mitarbeiter in /77/ und /80/ den schiefen vierzelligen Kastenträger über zwei Felder mit Querschotten über den Auflagern und im Feldbereich, Siso-diya und Mitarbeiter in /84/ den gekrümmten Kastenträger mit schiefer Lagerung über ein oder zwei Spannweiten und Pulmano /69/ den durchlaufenden mehrzelligen Kastenträger ohne Querwände. Eine Übersicht über weitere Artikel und weitere neue Entwicklungsarbeiten ist in /85/ vorhanden.

Andererseits werden dynamische Untersuchungen (Cheung /11/ u. a.) bzw. das zeitabhängige Verhalten von Betonhohlkastenträgern (Scordelis und Mitarbeiter /77/, /78/ und /82/) an einfachen statischen Grundsystemen untersucht.

### 3.1.2 Grundlagen der ausgewählten Berechnungsverfahren

Auch die in der Übersicht in den nächsten Abschnitten vorgestellten praxisbezogenen Rechenverfahren haben ihre Anwendungsgrenzen, da durch geschlossene Lösungen die Übertragbarkeit vom einzelligen Kastenträger auf den mehrzelligen Kastenträger nur teilweise möglich ist oder durch Ansatz eines torsionssteifen Kastens die Lösungen nicht dem wirklichen Tragverhalten eines Kastenträgers im Massivbrückenbau entsprechen.

Diesen Berechnungsverfahren liegen im allgemeinen folgende Annahmen bzw. Vereinfachungen zugrunde:

- die Länge zwischen den Unterstützungspunkten ist groß gegenüber der Kastenbreite ( $L/b > 4$ )
- die Steg- und Plattendicken sind klein gegenüber ihren Breiten
- die Steg- und Plattendicken sind in Querrichtung konstant (der Einfluß von Vouten ist nach /67/ vernachlässigbar)
- der Hohlkasten ist symmetrisch zur vertikalen Achse und hat über die Kastenträgerlänge einen konstanten Querschnitt
- die Lastumordnung wird nach der in Bild 2.5 dargestellten Methode durchgeführt
- die Berechnung erfolgt nach Zustand I (ungerissener Querschnitt), d. h. Hooke'sches Gesetz, Bernoulli-Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte und Homogenität des Materials werden unterstellt
- die lotrechten Verschiebungen der Trägerkanten infolge der Verbiegung des Kastens im Querschnitt und infolge der Verdrehung sind klein gegenüber denen aus der Biegung in Längsrichtung
- das Superpositionsgesetz gilt.

Eine formelmäßige Aufarbeitung ist nur für die unter den ersten vier Punkten genannten einfachen Geometrien möglich, da sonst die Handhabbarkeit solcher Lösungen schnell verlorengeht.

### 3.2 Berechnungsverfahren von Steinle /87/, /88/

Steinle behandelt in /87/ die Beanspruchung des symmetrischen, rechteckigen einzelligen Kastenträgers mit in Längsrichtung gleichbleibendem Querschnitt sowie konstanter Steg- und Plattendicke unter antisymmetrischer Belastung. In seiner Arbeit zerlegt er die unsymmetrischen Lasten in einzeln berechenbare Anteile und ermittelt die Beanspruchung des Ka-

stens nach der Biege- und Torsionstheorie, bis nur noch der Anteil der Profilverformung übrig bleibt (Bild 2.5). Die hierfür erforderlichen profilverformenden Kräfte werden über den Faltwerkansatz gelöst. Da die profilverformenden Kräfte im Gleichgewicht stehen, können sie somit am freien Tragwerk angesetzt werden, was zu einer Spannungsverteilung führt, die proportional der normierten Einheitsverwölbung ist.

Die so gefundene Querschnittsverwölbung wird über eine von ihm gewählte charakteristische Größe der Profilverformung zur Differentialgleichung der Profilverformung umgeformt. Als charakteristische Größe verwendet er dabei den Winkel  $\tau$ , der sich aus der Verdrehung der oberen Gurtscheibe gegenüber der vertikalen Stegscheibe ergibt. Zur Ermittlung der Einheitsverwölbung gibt Steinle für den von ihm behandelten Querschnitt geschlossene Lösungen an. Die endgültige Differentialgleichung der Profilverformung hat dieselbe Form wie die Differentialgleichung des Balkens auf elastischer Bettung (Bild 3.1). Mit den in Tabelle 3.1 zusammengestellten analogen Beziehungen ist es nun möglich, die Differentialgleichung der Profilverformung zu lösen.

Die Lagerung des Kastenträgers in Tragwerkslängsrichtung sowie die Einleitung diskontinuierlicher Einzellasten werden korrekt erfaßt.

Bei Wölbbehinderung oder diskontinuierlicher exzentrischer Belastung, z. B. Einleitung von Einzellasten in den Querschnitt, entsteht neben der St. Venant'schen Torsion noch Wölbkrafttorsion. Steinle weist nach, daß diese Zusatznormalspannungen rasch abklingen bzw. gegenüber den anderen für die Bemessung maßgebenden Biegespannungen klein sind und deshalb vernachlässigt werden können.

### 3.3 Berechnungsverfahren von Kupfer /48/

Mit dem von Kupfer vorgestellten Verfahren können die Querbiegemomente und Scheibenkräfte von Kastenträgern mit konti-

nuierlicher elastischer Queraussteifung ermittelt werden. Auch bei diesem Verfahren wird der Fall einseitig wirkenden Lasten mit der Analogie des elastisch gebetteten Balkens gelöst. Die Lastumordnung für die einseitig wirkende Last geschieht genau wie im Verfahren von Steinle. Jedoch wird zur Lösung der durch die Diagonalbeanspruchung entstehenden Querbiegemomente ein anderer Weg beschritten.

Der durch eine Diagonalkraft beanspruchte Kastenträger wird in zwei Tragsysteme aufgeteilt, wobei das Tragsystem A, der Kasten mit gelenkiger Verbindung der Knotenpunkte, ein Gelenkfaltwerk darstellt (entspricht Verformungsfall b) in Bild 2.4), mit dem die Längstragwirkung berücksichtigt wird. Das Tragsystem B ist ein steifknotiger Kasten (entspricht Verformungsfall c) in Bild 2.4), der die Quertragwirkung simulieren soll. Die beiden Tragsysteme A und B werden durch die Erfüllung der Verträglichkeitsbedingung miteinander verknüpft; indem die Durchbiegung in Feldmitte gleichgesetzt wird. Für den einzelligen einfachsymmetrischen Rechteck- und Trapezkasten mit Kragplatten werden geschlossene Formeln angegeben, mit denen sich die Querbiegemomente und zugehörigen Wölbspannungen ermitteln lassen. Neben der Erweiterung auf den trapezförmigen Kasten werden auch Hinweise gegeben zur Anwendung der ermittelten Methode auf den mehrzelligen Kastenträger. Bei der Herleitung der Formeln wird von einem unendlich langen Kasten mit konstantem Querschnitt und in Längsrichtung sinusförmig verteilter Last ausgegangen. Dieses Vorgehen ist nur für Gleichlasten und weitgespannte Kastenträger genau genug. Für Träger mit kleinen Spannweiten oder Einzellasten wird dieses Verfahren zunehmend ungenauer.

### 3.4 Berechnungsverfahren von Knittel /37/

Knittel gibt in seiner Veröffentlichung ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Spannungs- und Verschiebungszustandes von ein- und mehrzelligen dünnwandigen Kastenträgern mit gleichbleibendem symmetrischen Querschnitt an. Für die Ermittlung der Beanspruchung in Querrichtung wird der Kasten in

eine Vielzahl gleichartiger geschlossener Rahmen aufgelöst, die von endlicher Länge sind und sich gegenseitig nicht beeinflussen (Bild 3.3). Durch Vernachlässigung der Längsbiegesteifigkeit der Stege ist es somit möglich, die Querbiegemomente durch eine Rahmenberechnung zu ermitteln.

Durch Ausnutzung der Symmetrien und Antimetrien nach Belastungsumordnung entstehen die voneinander unabhängigen Beanspruchungen der reinen Biegebeanspruchung des Längstragwerks, der reinen Biegung in Richtung des Querschnitts und der reinen Torsion (St. Venant'schen Torsion). Durch Vernachlässigung der Lagerungsbedingung in Längsrichtung können mit den Ansätzen von Knittel lediglich auf der sicheren Seite liegende Obergrenzen für die Querbeanspruchung des Querschnitts gefunden werden. Die Erfassung der im Brückenbau vorhandenen hohen Einzellasten, z. B. über mitwirkende Breiten, ist nur mit Hilfe anderer Veröffentlichungen möglich.

### 3.5 Berechnungsverfahren von Hofbauer /32/

Hofbauer hat in seiner Arbeit keinen neuen Ansatz für die Lösung der profilverformenden Beanspruchung angegeben, sondern auf der Grundlage des in Abschnitt 3.3 beschriebenen Berechnungsverfahrens von Kupfer /48/ die infolge profilverformender Belastung entstehenden Zusatzbeanspruchungen in übersichtlicher Form hergeleitet und Parameterstudien für den unsymmetrisch belasteten Kastenträger bei Einfeld- und Mehrfeldsystemen durchgeführt.

Im Einleitungsbereich der Auflagerkräfte werden Querschotte vorausgesetzt. Durch Ersatz der Einzellast in drei Einzellasten weist er nach, daß sich die Querbiegemomente durch eine genauere Lastaufteilung kaum ändern, während die Längsnormalspannungen im Vergleich zur Einzellast in Feldmitte bis zu 17 % reduziert werden. Die Zusatzbeanspruchungen infolge Profilverformung können im Bereich von  $a/L = 0.1$  bis  $0.2$  die gleiche Größe erreichen wie die Längsnormalspannung infolge symmetrischer Belastung. Ein Ergebnis, das bei den vorge-



stellten anderen Handrechenverfahren weitestgehend übergangen wird, da nur die Querverteilung in Feldmitte betrachtet wird.

Für allgemeine Durchlaufsysteme wird in /32/ durch Vergleichsberechnung gezeigt, daß die Erfassung der Zusatzbeanspruchung infolge Profilverformung genügend genau an einer Betrachtung am Dreifeldträger durchgeführt werden kann. Für den einzelligen Kastenträger als Einfeldträger sowie näherungsweise für den Durchlaufträger von großer Schlankheit werden, in Form von Diagrammen, Hilfen zur Ermittlung von Zusatzbeanspruchungen angegeben. Die Längsnormalspannungen und Querbiegemomentenverteilung mit und ohne Querschotte für wandernde Lasten werden aufgezeigt.

### 3.6 Berechnungsverfahren von Schlaich/Scheef /74/

Nachdem die Aufteilung der Belastung in symmetrische und antimetrische Anteile genau wie in den vorangegangenen Verfahren behandelt wird, erfolgt die anschließende Berechnung des einzelligen Rahmens an einem herausgelösten Rahmenelement der Länge  $dy = 1$ , das durch die Schubkraftdifferenzen und den Längsspannungsdifferenzen mit der äußeren Belastung im Gleichgewicht steht.

Für die symmetrischen Lastanteile werden für die Querbiegemomente und die Normalkräfte unter Knotenlasten, Knotenmomenten und für Verlängerung der oberen Platte infolge Temperatur bzw. Verkürzung durch Vorspannung geschlossene Lösungen angegeben. Bei der antimetrischen Belastung wird zunächst angenommen, daß sich der Kasten in Querrichtung nicht verformt. Diese Unverformbarkeit wird dadurch erreicht, daß ein fiktiv gedachter Diagonalstab die Verformung der Rahmenecken verhindert. Auf der Grundlage der Faltwerktheorie wird diese im Stab vorhandene Diagonalkraft  $S$  ermittelt. Sie wird dann in Scheibenlasten zerlegt und als äußere Belastung auf das Tragwerk angesetzt. So wird ein Teil der Diagonalkraft  $S$  durch Biegung der Scheiben in Längsrichtung wie beim Balken und ein anderer Teil durch den Widerstand des Rahmens gegen Profil-

verformung abgetragen. Dieses läßt sich dann wieder lösen über die Differentialgleichung des Balkens auf elastischer Bettung, wobei die Belastung aus der Diagonalkraft  $S$  ermittelt wurde.

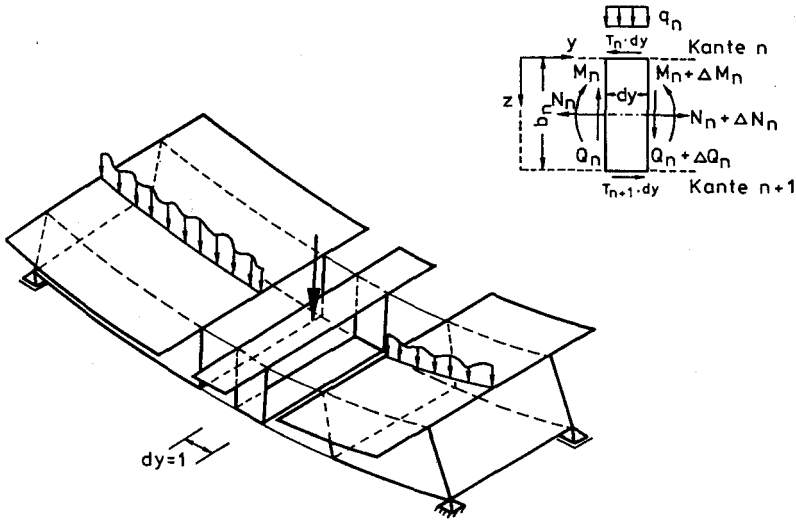


Bild 3.3 Herausgelöstes Rahmenelement und Scheibenbeanspruchung des Steges zu /74/

Grundsätzlich ist es möglich, dieses Verfahren auch auf mehrzellige Hohlkästen anzuwenden. Jedoch wird durch Zunahme der statischen Unbestimmten die Handrechnung zu aufwendig. Lösungen, die auf der strengen Faltwerktheorie beruhen, bieten sich deshalb für mehrzellige Hohlkästen nur zur punktuellen Prüfung von computerunterstützten Berechnungen des Überbaus mit Hilfe der Finite-Streifen-Methode oder der Finite-Element-Methode an.

### 3.7 Berechnungsverfahren von Glahn /23/

In dem Beitrag von Glahn zur Berechnung der Profilverformung symmetrischer einzelliger Kastenträger wird das Verfahren von Steinle auf veränderliche Querschnittswerte in Längs- und Querrichtung erweitert. Somit kann der Einfluß von Vouten in Querrichtung berücksichtigt werden. Dabei ist das von ihm vorgeschlagene Verfahren, dessen Ausgangspunkt der Satz vom Minimum der potentiellen Energie ist, noch in Handrechnung lösbar. Das hieraus erhaltene Potential wird wie bei Steinle durch die analogen Beziehungen zum elastisch gebetteten Balken gelöst. Die analogen Beziehungen unterscheiden sich allerdings grundsätzlich von denen von Steinle, da dort die Verdrehung der oberen Gurtscheibe über der vertikalen Stegscheibe als verknüpfende Verformungsgröße angenommen wurde, während Glahn als verknüpfende Verformungsgröße die horizontale Verschiebung der Fahrbahnplatte wählt.

Im zweiten Teil der Arbeit wird gezeigt, daß die Profilverformung auch bei in Längsrichtung veränderlichen Querschnittsverhältnissen mit Hilfe des elastisch gebetteten Balkens gelöst werden kann. An dieser Stelle wird aber der Einsatz eines Mikrocomputers sinnvoll, da das Problem eines elastisch gebetteten Balkens mit veränderlichen Systemgrößen zu bewältigen ist, hierfür aber keine geschlossenen Lösungen in Tabellenwerken wie /31/ vorliegen. Bei Tragwerken mit veränderlichem Querschnitt in Brückenlängsrichtung ist die Bodenplatte gekrümmt, so daß die Längsspannungen zusätzliche Querbiegungen erzeugen. Glahn setzt dabei erstmals voraus, daß ein Ingenieur heute zur Ermittlung von Rahmenverformung und zur Ermittlung der Beanspruchung des elastisch gebetteten Balkens über elektronische Rechenprogramme verfügt.

### 3.8 Berechnungsverfahren von Lindlar /45/, /51/

Es wird ein einfach zu handhabendes Verfahren zur näherungsweise Berechnung der Profilverformung für Kastenträger mit einfachsymmetrischem Rechteckquerschnitt vorgestellt. Das

wirkliche Tragwerk des Kastenträgers wird bei diesem Verfahren durch ein Ersatzsystem beschrieben, das auf den analogen Beziehungen zum elastisch gebetteten Balken beruht. Für die zur Lösung dieses Ersatzsystems erforderlichen Bettungsziffern, Ersatzträgheitsmomente und Ersatzhebelarme zur Ermittlung der Spannungen wurden Bemessungsdiagramme ermittelt, die den Aufwand der numerischen Handrechnung vereinfachen. Mit dem vorgestellten Verfahren ist die Ermittlung von Einflußlinien für Schnittgrößen oder Spannungen aus Profilverformungen leicht möglich; es ist gegenüber den anderen Verfahren, die nur den Querschnitt in Feldmitte betrachten, auch eine Untersuchung in Brückenlängsrichtung möglich. Die Untersuchung in Längsrichtung zeigt, daß der Einfluß der Profilverformung keineswegs vernachlässigbar ist.

### 3.9 Zusammenfassung

Die Ausführungen in den Kapiteln 1 - 3 zum Tragverhalten von Hohlkastenträgern im Massivbrückenbau zeigen deutlich die besondere Bedeutung der genaueren Erfassung der Quertragwirkung dieser Bauwerke als Voraussetzung zum Entwurf wirtschaftlicher Konstruktionen.

Eine Berechnung von Faltwerken wie Kastenträgern ist prinzipiell mit der klassischen Elastizitätstheorie möglich. Bei geschlossenen Lösungen nach der Faltwerktheorie sind nur einfache Randbedingungen und/oder ausgewählte Belastungen möglich. Eine analytische Berechnung als Faltwerk kommt wegen o. g. Bedingungen bestenfalls für den einzelligen Kastenträger in Frage.

Die im Kapitel 3 dieser Arbeit beschriebenen Lösungsverfahren sind in der Regel aufwendig in der Handhabung bzw. sie erfüllen die geforderten Randbedingungen in bezug auf wirtschaftliche Bauverfahren - z. B. keinen Querträger an den Lastangriffspunkten - nicht oder Teillösungen bieten, die eine komplette Berechnung des Tragwerks erschweren.

Das komplexe Tragverhalten des zweizelligen Kastenträgers ist zu aufwendig, um zu einem Lösungsansatz zu kommen, der auch analytisch handlich ist. Bei Bauwerken mit beliebiger Geometrie ist es deshalb zweckmäßiger, einen numerischen Lösungsweg, wie z. B. die Methode der finiten Elemente zu wählen. Ein analytischer Lösungsweg, der alle wesentlichen Einflußfaktoren (Schlankheit, Querschnittsform und -geometrie) erfaßt sowie die Belastungsverhältnisse von DIN 1072 - Straßen- und Wegebrücken; Lastannahmen - berücksichtigt, ist nicht erreichbar.

#### 4. EIGENE UNTERSUCHUNGEN ZUM TRAGVERHALTEN VON ZWEIZELLIGEN KASTENTRÄGERN IM ELASTISCHEN ZUSTAND MIT DER FINITE-ELEMENTE-METHODE

##### 4.1 Allgemeines

Die rechnerischen Untersuchungen zum Lastabtrag wurden für einen zweizelligen Kastenträger durchgeführt, dessen Fahr-  
bahnplattenbreite zur Aufnahme eines halben Autobahnquer-  
schnitts mit zwei Fahr- und einer Standspur sowie zugehörigen  
Leiteinrichtungen geeignet ist. Im Hinblick auf den größeren  
Aufwand bei der Bauausführung hält man die Zahl der Zellen  
auch bei breiten Brücken so gering wie möglich. Bereits ab  
drei Zellen erfolgt keine wesentlich bessere Querverteilung  
der Lasten mehr. Durch die Erhöhung der Zellenanzahl können  
so keine signifikanten Reduzierungen der Längsbiegespannungen  
des Haupttragwerks mehr erreicht werden. Aus diesen wirt-  
schaftlichen und statischen Gründen werden heute selten mehr  
als zwei Zellen beim Hohlkastenträger ausgeführt.

Als statisches System wurde das Innenfeld einer mehrfeldrigen  
Brücke mit Feldweiten zwischen 30 m und 60 m zugrunde gelegt.  
Als Hauptparameter wurden die Kastengeometrie mit Höhen zw-  
ischen 1.60 m und 6.00 m sowie die zur Erfassung der Verkehrs-  
regellasten gemäß DIN 1072 /102/ für diese Untersuchungen  
entwickelten Einheitslastfälle festgeschrieben. Der Wahl die-  
ser Parameter gingen umfangreiche Tastrechnungen und Konver-  
genzuntersuchungen voraus, die in den folgenden Kapiteln be-  
schrieben werden.

Das Ausgangsbrückenbauwerk für diese Parameterstudie bildete  
das statische System und der Querschnitt der Talbrücke Kat-  
tenohl /44/ (Querschnitt in Bild 4.10), deren Geometrie auf  
die o. g. konstruktiv und wirtschaftlich noch sinnvollen  
Grenzwerte ausgedehnt wurde. Diese Brücke war eine der ersten  
zweizelligen Kastenträger, bei der im Rahmen von Probela-  
stungen mit Einzelfahrzeugen zur Beurteilung der Tragfähig-  
keit im Bereich von verpreßten Koppelfugenrissen festgestellt

wurde, daß die Querverteilung von symmetrischen und unsymmetrischen Lasten nicht den der Berechnung zugrunde liegenden Ansätzen entspricht. Eine genauere Untersuchung der Ursachen erfolgte zum damaligen Zeitpunkt nicht.

#### 4.2 Das Programm SAP V

Die Parameterstudie erfolgte mit einem in der Rechenanlage des Rechenzentrums der TU Braunschweig implementierten Programms. Dieses Programmsystem SAP V (Structural Analysis Program /4/) ist besonders gut zur linearen statischen und dynamischen Berechnung von Tragwerken geeignet. Das Programm basiert auf der Methode der Finite-Elemente. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode findet sich in /3/ und /76/. In dieser Arbeit werden nur die für diese Parameterstudie wichtigen Grundlagen und Zusammenhänge erläutert. Das hier verwendete Programm SAP V ist eine verbesserte Version des weitverbreiteten Programms SAP IV, das durch einen Bandbreitenoptimierer und die Möglichkeit der graphischen Darstellung von unverformten und verformten Elementnetzen ergänzt wurde. Diese graphische Darstellungsmöglichkeit ist eine praktisch unverzichtbare Eigenschaft zur wirtschaftlichen Fehlerminimierung durch visuelle Kontrolle der eingegebenen Strukturen. Mit SAP V läßt sich das elastische Tragverhalten von Strukturen berechnen.

Bei der Ermittlung der Lastanteile der Stege wurde von einem elastischen Tragverhalten der Kastenträger ausgegangen, da ein mindestens in Längsrichtung vorgespannter Hohlkastenträger im Gebrauchszustand zum überwiegenden Teil im Zustand I (ungerissener Querschnitt) verbleibt. Die Ermittlung der Beanspruchung eines statisch unbestimmten Brückentragwerks für den rechnerischen Gebrauchszustand führt zu einer Summierung - z. T. nur selten auftretender - ungünstiger Lastfälle; um so wahrscheinlicher, das sich ein Spannbetontragwerk während der überwiegenden Zeit seiner Lebensdauer im Zustand I befindet und entsprechend verhält.

Bei der Methode der Finite-Elemente wird die räumliche Gesamtstruktur des Tragwerks durch verschiedene endliche ebene Elemente ersetzt. Diese Elemente sind an den Eckpunkten miteinander verbunden. Man geht bei der Berechnung mit Finite-Elementen von der getrennten Betrachtung des Platten- und Scheibenproblems aus. Durch das anschließende Zusammenfassen der Platten- und Scheibentragwirkungen wird das Tragverhalten des räumlichen Systems erfaßt. Die sonst zur Ermittlung des Tragverhaltens von Kastenträgern erforderlichen zweidimensionalen partiellen Differentialgleichungen werden durch diese Diskretisierung auf ein System algebraischer linearer Gleichungen reduziert.

#### Definition der Plattenschnittgrößen

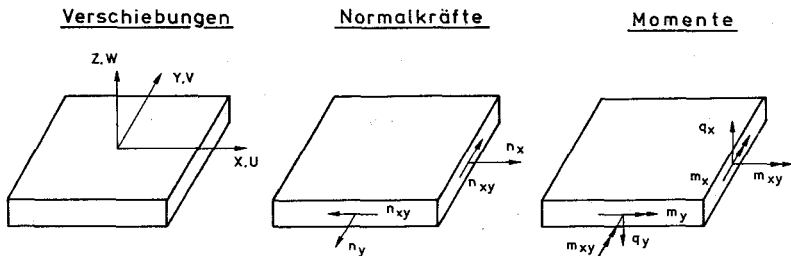


Bild 4.1 Weg- und Kraftgrößen am dünnen Platten- und Schalenelement

Die an jedem Element angreifende Belastung wird über das Element aufintegriert und als Knotenkraft bzw. Knotenmoment am Verbindungsknoten zum nächsten Element angesetzt. Bei Ansätzen für Verschiebungen werden zuerst die Verdrehungen und Verschiebungen der Knotenpunkte ermittelt. Die Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen liefern  $n$  Gleichungen für die  $n$  Unbekannten, wobei  $n$  von der Anzahl der Elemente und der Anzahl der Freiheitsgrade je Knoten abhängt. In einer Nachlaufrechnung werden die Spannungen und Schnittgrößen für die Elementmitten berechnet. Die Verformungen und Schnitt-



kräfte, die mit einer Finite-Elemente-Berechnung bestimmt werden, sind in Bild 4.1 zusammengefaßt.

Der Gleichgewichtszustand wird nur global im Mittel erfüllt; daher sind z. B. Sprünge im Spannungsverlauf an den Elementengrenzen möglich. Bei der Spannungsauswertung werden daher nur Spannungen in den Elementmitten betrachtet und die dazwischenliegenden Spannungsordinaten interpoliert.

#### 4.2.1 Fehlereinflüsse in der FEM

Die Berechnung mit einem FEM-Programm ist eine Näherung. Um sinnvolle und verwertbare Ergebnisse zu erhalten, muß man die prinzipiellen Fehlermöglichkeiten dieser Methode kennen und ausreichende Kontrollen vorsehen.

Stein gibt in /65/ mögliche Ursachen von Fehlern (Bild 4.2) bei einer Berechnung mit der Finite-Elemente-Methode an. Hieraus folgt unter anderem, daß für die Güte der Ergebnisse die Netzwahl sehr entscheidend ist. Mit zunehmender Netzdichte werden die Ergebnisse in der Regel besser.

Dieser erforderlichen und wünschenswerten feinen Elementaufteilung sind aber durch die endliche Leistungsfähigkeit der Rechenanlage Grenzen gesetzt.

Man muß sich vorher durch Konvergenzuntersuchungen Klarheit darüber verschaffen, welche Elemente zu verwenden sind und an welchen Stellen eine besonders feine Aufteilung der Elemente erforderlich ist. Die Voruntersuchungen zum Lastabtrag von mehrzelligen Kastenträgern hatten ergeben, daß der Ort der Lasteinleitung in Bauwerkslängsrichtung von großem Einfluß auf die Querverteilung ist. Es mußte daraufhin das Tragwerk über die gesamte Länge in möglichst kleine Elemente unterteilt werden.

In Amerika wurde diese Methode bereits erfolgreich zur Berechnung von Kastenträgern unter anderen Zielsetzungen ange-

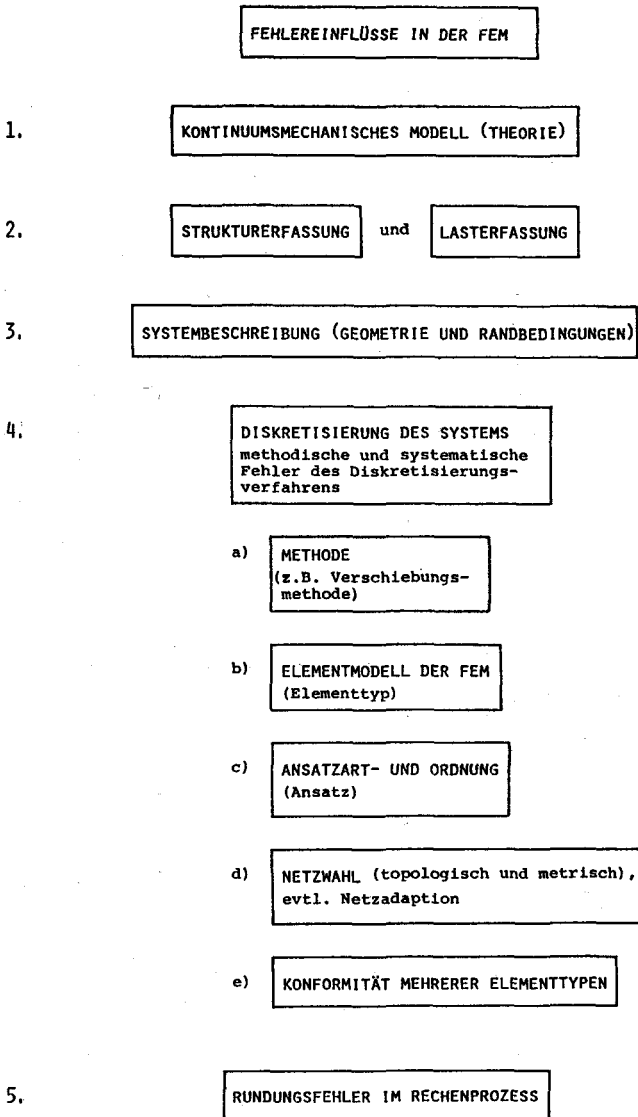


Bild 4.2 Mögliche Fehlerquellen bei einer FE-Berechnung  
(entnommen aus /65/)

wandt /77/-/80/.

#### 4.2.2 Kontrolle der Ergebnisse

Für jeden Knoten bzw. jedes Element werden die Eingabewerte - bestehend aus den Knotennummern, Knotenkoordinaten im globalen System, Materialkennwerte, Elementabmessungen, Lasten und Zuordnung dieser Einzelangaben zueinander - sowie die Ergebnisse, d. h. Verschiebungen und Verdrehungen jeden Knotens, Spannungen und Momente für die Elementmitten bzw. nur die Schnittgrößen für die Elemente, ausgedruckt. Da keine Steuerung der Datenausgabe möglich ist, ergibt sich bei der erforderlichen feinen Elementteilung eine derartige Zahlenflut, daß zumindest die Größenordnung einzelner Ergebnisse z. B. durch einfache Kontrollberechnungen per Hand bestätigt werden müssen.

Um die grundsätzliche Richtigkeit sowie die Zuverlässigkeit der FE-Rechnungen zu prüfen, wurden bei den Datensätzen Verformungs- und Gleichgewichtskontrollen sowie graphische Darstellungen durchgeführt.

Diese bestanden aus

- der Gleichgewichtskontrolle ( $\Sigma V = 0$ ,  $\Sigma H = 0$ ),
- der Prüfung der Verformung und Spannungen in Feldmitte sowie an den Feldenden,
- Auftragung der Verformungen in Tragswerkslängsrichtung zur Überprüfung eines kontinuierlichen Verlaufs,
- Auftragung der Spannungen in Teilbereichen des Querschnitts zur Überprüfung des kontinuierlichen Verlaufs,
- graphischer Darstellung eingegebener Strukturen mittels Drucker zur Überprüfung von Diskontinuitäten in der Elementanordnung.

### 4.3 SAP-Elemente

Von den insgesamt neun im Programm SAP V zur Verfügung stehenden Finite-Elementen zur Diskretisierung des Trägers wurde im Rahmen dieser Studie die Elemente

- Typ 6, dünnes Platten- und Schalelement (s. Kapitel 4.3.1)
- Typ 7, Randelement (s. Kapitel 4.3.2)

gewählt.

#### 4.3.1 Dünnes Platten- und Schalelement

Das dünne Platten- und Schalelement wird von vier Knoten beschrieben, ist von beliebiger Geometrie und wird aus verträglichen Dreiecken gebildet (vgl. Bild 4.3). Der zentrale Knoten liegt auf den gemittelten Koordinaten der Eckpunkte.

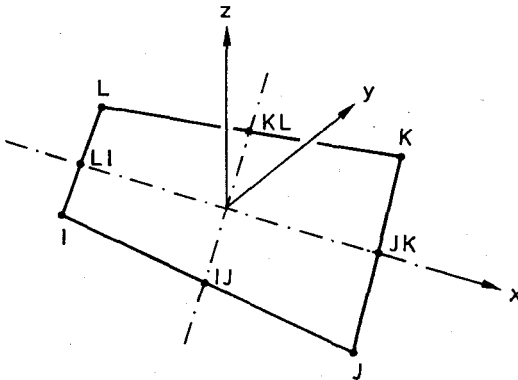


Bild 4.3 Knotenpunkte und Koordinatensystem des dünnen Platten- und Schalelements

Die sechs inneren Freiheitsgrade pro Element werden noch vor dem Einbau in das Gesamtsystem herauskondensiert. Das endgültige Viereckselement besitzt somit 24 Freiheitsgrade, sechs pro Knoten. Bei der Verwendung ist zu beachten, daß eine Steifigkeit gegenüber der Drehung um die Flächennormale nicht

definiert ist. Dieser Freiheitsgrad ist nicht anwendbar und muß im Datensatz unterdrückt werden. Eine Berechnung von Konstruktionen mit gekrümmten Flächen ist durch facettenartige Annäherung der tatsächlichen Geometrie mit diesem Element möglich. Durch eine genügend feine Diskretisierung erhält man auch bei Verwendung dieses geradlinigen Elements eine recht gute Approximation des Grundgebiets.

Neben den vier Eckknotenpunkten des Elements sind weitere Angaben zur kompletten Beschreibung erforderlich:

- spezifisches Gewicht
- Schalendicke des Elements
- Materialsteifigkeitswerte

In Bild 4.4 sind die Bestimmungsgleichungen zur Spannungsermittlung für den ebenen Spannungszustand in Matrixschreibweise angegeben. Zur Erfassung der Biegeansätze wird der in Bild 4.4 a gegebene Spannungsvektor des ebenen Spannungszustandes  $\sigma = [\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}]$  als Vektorfeld aufgefaßt und als  $M = [M_x, M_y, M_{xy}]$  geschrieben. Die hauptsächliche Vereinfachung der Biegetheorie dünner Platten besteht in der Annahme, daß materielle Linien, welche anfänglich zur Mittelebene senkrecht stehen, während der Deformation der Platte auf der verformenden Mittelebene senkrecht stehen. Die Krümmungen sind die wichtigsten Größen zur Charakterisierung von Platten. Der Verzerrungsvektor  $\epsilon = [\epsilon_x, \epsilon_y, \tau_{xy}]$  wird durch den Krümmungsvektor  $\kappa = [\kappa_x, \kappa_y, \kappa_{xy}]$  ersetzt. Die Materialsteifigkeitsfaktoren der Scheibe werden durch die Biegesteifigkeiten der Platten ausgetauscht. Eine ausführliche Beschreibung des Platten- und Schalenelements ist in /13/ zu finden.

Bei den folgenden Untersuchungen wird der für Betonbrückenüberbauten am meisten verwendete Beton B 35 mit einem Elastizitätsmodul  $E_b = 34000 \text{ MN/m}^2$  und einem Gleitmodul  $G_b = 14000 \text{ MN/m}^2$  entsprechend der DIN 4227 - Spannbetonbau - sowie eine Querdehnzahl von  $\mu = 0.2$  zur Ermittlung der Steifigkeitswerte C angenommen.

$$a) \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} & C_{xz} \\ C_{xy} & C_{yy} & C_{yz} \\ C_{xz} & C_{yz} & C_{xy} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

$$C_{xz} = C_{yz} = 0$$

$$b) \begin{aligned} C_{xx} &= C_{yy} = \frac{E}{1-\mu^2} \\ C_{xy} &= \mu \frac{E}{1-\mu^2} \\ G_{xy} &= \frac{E}{2(1+\mu)} \\ C_{xz} &= 0 \end{aligned}$$

$$c) \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\mu^2} \varepsilon_x + \mu \frac{E}{1-\mu^2} \varepsilon_y \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu^2} \varepsilon_y + \mu \frac{E}{1-\mu^2} \varepsilon_x \\ \tau_{xy} &= \frac{E}{2(1+\mu)} \gamma_{xy} \end{aligned}$$

- Bild 4.4
- a) Ebener Spannungszustand
  - b) Materialsteifigkeitsfaktoren
  - c) Ebener Spannungszustand

#### 4.3.2 Randelement

Das Randelement wird definiert durch eine einzige gerichtete Achse, die durch einen Knotenpunkt hindurchgeht. Durch seine lineare Dehnsteifigkeit entlang der Achse und eine lineare Drehsteifigkeit um diese Achse können hiermit Dehn- und Drehfedern simuliert werden, so daß es möglich ist:

- Knotenverschiebungen vorzugeben,
- Knotenverdrehungen vorzugeben,

- Reaktionskräfte zu bestimmen,
- linearelastische Lagerungsbedingungen für Knoten zu schaffen.

#### 4.4 Durchgeführte eigene Untersuchungen

##### 4.4.1 Untersuchte Systeme und Lastfälle

Ausgehend von dem in /44/ beschriebenen Brückenbauwerk, dessen wirklicher und für die Berechnung idealisierter Querschnitt in Bild 4.10 dargestellt ist, werden die Parameter für die eigenen Untersuchungen fixiert. Bei der Brücke handelt es sich um eine mehrfeldrige Talbrücke mit Stützweiten in den Mittelfeldern von 45 Metern. Die Untersuchungen wurden für das Mittelfeld einer solchen Brücke für die Stützweiten 30 m, 45 m und 60 m durchgeführt. In den hieraus resultierenden drei statischen Systemen wurde in einem zweiten Schritt die Kasten geometrie variiert. Dieses geschah durch Abstufung der Kastenhöhe des idealisierten Querschnitts von 1.60 m über 2.00 m, 4.00 m, bis 6.00 m Höhe.

Als äußere Einwirkungen wurden die vertikalen Hauptbeanspruchungen eines Brückenüberbaus aus Eigengewicht und die Verkehrsregellasten für Bundesfernstraßen gemäß DIN 1072 /102/ angesetzt.

Ziel der rechnerischen Untersuchungen am zweizelligen Hohlkastenquerschnitt ist, eine Aussage über die qualitative und quantitative Abhängigkeit der Querverteilung von der Kasten geometrie bei den normenspezifischen Belastungen zu erhalten.

##### 4.4.2 Wahl des Ersatzsystems

Die Eingangsproblematik einer jeden Berechnung mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode liegt in der Diskretisierung der Geometrie des zu untersuchenden Tragwerks und der anzusetzenden Lasten. In Kapitel 4.2 wurde bereits darauf hingewiesen, daß

die Güte der Ergebnisse und damit der Abstand zum exakten Ergebnis stark von der Netzdichte abhängt. Die Lösung dieses Problems ist im vorliegenden Fall besonders wichtig, weil bislang keine Lösungen für die Querverteilung in Abhängigkeit von der Kasten­geometrie und der Laststellung vorliegen. Bei SAP V wird ein Ansatz für die Verschiebungen gemacht (Weg­größenverfahren), d. h. nach Ermittlung der Verformungen werden in einer Nachlaufrechnung die Spannungen (s. Bild 4.4) und Momente ermittelt. Hieraus ergibt sich, daß die Weggrößen genauer berechnet sind als die Schnittgrößen.

An einem einzelligen, einfeldrigen Hohlkasten, der an beiden Trägerenden gelenkig gelagert war, wurden Tastrechnungen zur Ermittlung der erforderlichen Elemente durchgeführt. Bei den hier nicht einzeln aufgeführten Tastrechnungen wurde die Anzahl der Stegelemente von einem Stegelement über die gesamte Steghöhe bis zu vier Stegelementen pro Steghöhe verändert. Bei einer entsprechenden Teilung des Tragwerks in Längsrichtung, so daß keine entarteten Elemente entstehen (Seitenverhältnis 1 : 1 bis 1 : 2), ergab sich bei Anordnung von vier Stegelementen eine ausreichende Übereinstimmung mit den Ergebnissen der exakten Lösung.

Ausgehend von diesen Vorüberlegungen und den anzusetzenden Lasten wurde die Geometrie für einen zweizelligen Hohlkastenträger entwickelt, deren struktureller Aufbau in Kapitel 4.4.3 - Räumliche Diskretisierung des Kastenträgers - detailliert beschrieben wird. Dieser Ausgangsdatensatz war in Trägerlängsrichtung ein statisch bestimmt gelagerter einfacher Balken, der an den Feldenden unter den drei Stegen direkt unterstützt wurde. Dieses System mußte nun, wie im Bild 4.5 aufgezeigt, an die Randbedingungen für das Innenfeld einer mehrfeldrigen Talbrücke angepaßt werden.

Für eine näherungsweise Anpassung an die Randbedingungen des tatsächlichen Bauwerks wird die Lagerung des Innenfeldes einer Brücke in Bauwerkslängsrichtung eine unverschiebliche Lagerung und Einspannung an beiden Seiten der Trägerenden (Bild 4.5) - gewählt. In Abhängigkeit von den Steifigkeitsverhält-



nissen - Tragwerksgeometrie - liegt in Wirklichkeit eine elastische Einspannung des Innenfeldes vor.

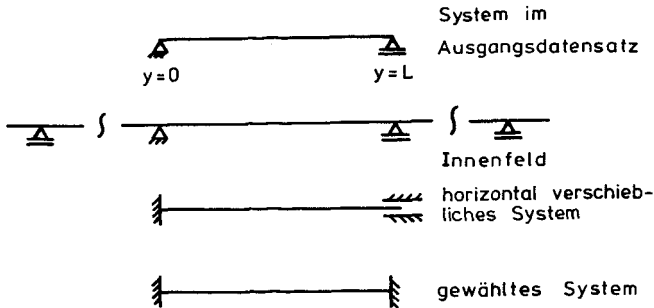


Bild 4.5 Wahl des statisches System des Längstragwerks

Die verschiebliche Lagerung des Tragwerks in Brückenlängsrichtung am Feldende entspricht dem mechanischen Modell einer Schiebehülse. In mehreren Schritten wurde, wie in Bild 4.6 dargestellt, das für die Parameterstudie zweckmäßige statische System in Brückenlängsrichtung ermittelt. Dabei wurde die direkte vertikale Lagerung der Stege an den Feldenden nicht verändert. Das Lastbild für diese Untersuchung stellte bei der FE-Berechnung  $6 \times 100$  KN in Feldmitte über dem Mittelsteg und bei der Handrechnung  $3 \times 200$  KN dar (Bild 4.7).

In der ersten Tastrechnung am System I wurde die volle Torsionssteifigkeit aller Randelemente um die X-Achse, d. h. in Brückenquerrichtung, an den Feldenden gewählt. Hierdurch sollte die horizontale Tangente an der Einspannstelle erhalten werden. Bei einer Berechnung des Längstragwerks mit einem Stabwerksprogramm und dem Ansatz einer ebenen Struktur wäre dieser Ansatz völlig ausreichend gewesen. Die graphische Darstellung der Durchbiegung in Feldmitte in Bild 4.8 zeigt jedoch für das System I eine völlig unzureichende Übereinstimmung mit der Handrechnung, da über die Trägerhöhe vorhandene

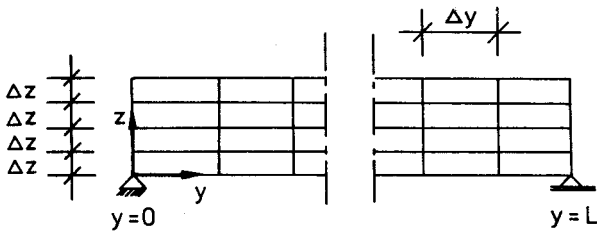
horizontale Verschiebungen der Elemente sich erheblich auf die vertikalen Verformungen in Feldmitte auswirken.

Im zweiten Schritt wurden deshalb die Randelemente in Brückenlängsrichtung am Trägeranfang dehnstarr angesetzt, um so eine Translation der Knoten in Y-Richtung auszuschließen. Dieses System entspricht den mechanischen Erfordernissen der Aufgabenstellung bei Berechnung eines Stabwerks durch Ansatz einer vollen Einspannung am Trägeranfang und einer Schiebeshülse am Trägerende. Wie die Darstellung der Durchbiegungen in Feldmitte in Bild 4.8 und die Auftragung des prozentualen Fehlers in Bild 4.9 zeigen, konnte hierbei schon eine wesentlich bessere Anpassung an die Ergebnisse der Handrechnung erreicht werden.

In Bild 4.9 ist der Fehler in der Durchbiegung des Längstragwerks in Abhängigkeit von den Randbedingungen aufgetragen. Es wurden die gemittelten Durchbiegungen aus der FE-Rechnung unter den drei Stegen denen der nach der Stabstatik ermittelten gegenübergestellt und der daraus resultierende Fehler in Prozent aufgetragen. Da auch bei System II die ermittelten Durchbiegungen noch nicht die für die Untersuchung erforderlichen Genauigkeiten hatten, wurden bei System III auch noch die Randelemente in Brückenlängsrichtung am Trägerende dehnstarr angenommen. Das statische System in Tragwerkslängsrichtung entspricht somit dem beidseitig eingespannten Balken. Hierbei konnte eine genügende Übereinstimmung mit den Durchbiegungen nach der Stabstatik erreicht werden.

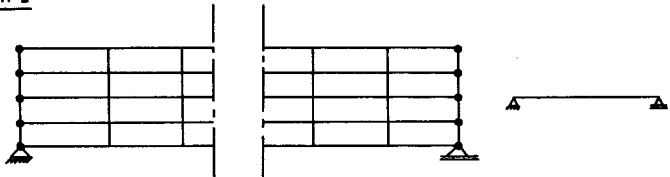
Der Vergleich der Systeme I bis III mit der "Handrechnung" in Brückenlängsrichtung zeigt, daß die statischen Systeme I und II weniger geeignet sind, das Tragverhalten des Innenfeldes einer mehrfeldrigen Talbrücke ausreichend genau zu beschreiben. Für den Ansatz des Systems III in Brückenlängsrichtung und der Anordnung von vier Elementen über die Steghöhe spricht die insgesamt gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit der Kontrollrechnung. Der begangene Fehler - die Nichtbeachtung der in Brückenlängsrichtung verschieblichen Auflagerung - ist nur durch eine iterative Rechnung zu lösen, da die an-

zusätzliche Beanspruchung des Steges zur Ermittlung der Endverdrehungen der Längsträger mit dieser Arbeit erst ermittelt werden sollen. Zur Untersuchung der Querverteilung ist dieser Fehler gegenüber dem, der begangen würde, wenn das mechanische Modell der Schiebehülse am Feldende (System II) als statisches Grundsystem zur Anwendung käme, als gering zu betrachten.

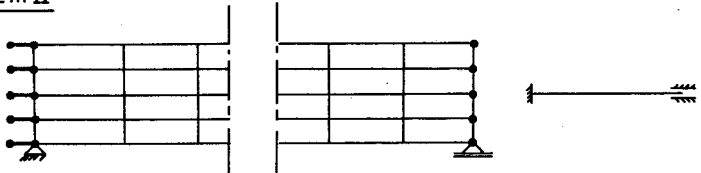


- Verdrehung um  $x$ -Achse zu Null gesetzt
- Translation in  $y$ -Richtung zu Null gesetzt

### System I



### System II



### System III

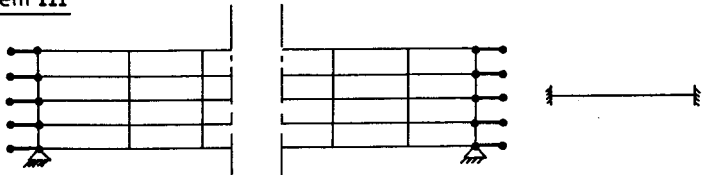


Bild 4.6 Systeme des Längstragwerks der Tastrechnungen zur Berücksichtigung der Randbedingungen durch Randelemente

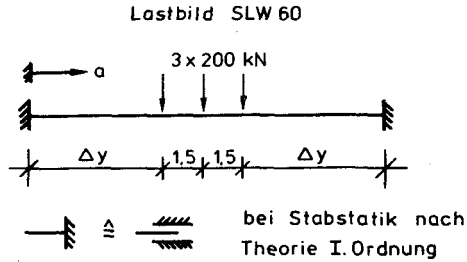


Bild 4.7 Belastung und statisches System der Tastrechnungen gemäß Stabstatik

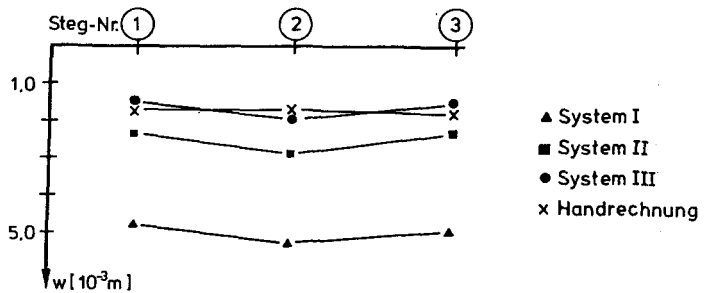


Bild 4.8 Durchbiegungen in Feldmitte unter den Stegen

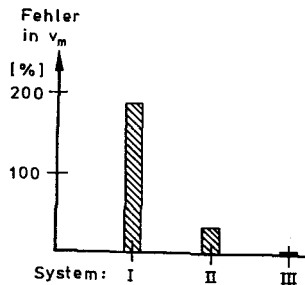


Bild 4.9 Fehler der Verformungen in Abhängigkeit von den Randbedingungen der Systeme gemäß Bild 4.6

### 4.4.3 Räumliche Diskretisierung des Kastenträgers

Das Bild 4.10 zeigt den wirklichen und den idealisierten Querschnitt des Ausgangsbrückenbauwerks für die Parameterstudie. Für die einzelnen Konstruktionselemente wurden konstante Wanddicken angenommen und die Neigung der Außenstege vernachlässigt.

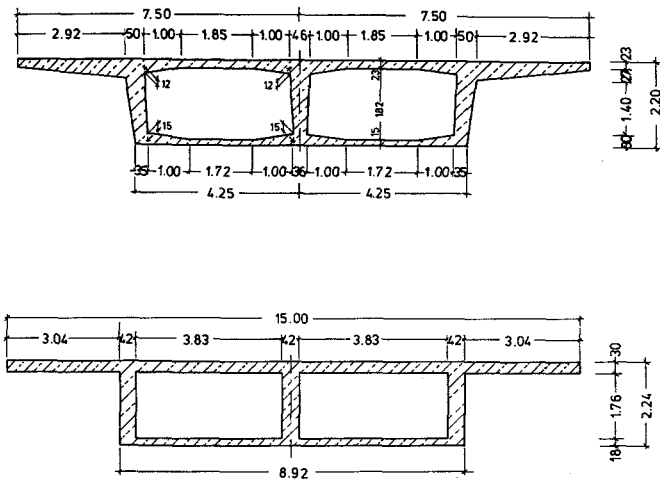


Bild 4.10 Wirklicher und idealisierter Querschnitt der Talbrücke Kattenohl /44/

Die Eingabe der Knotenpunkte erfolgt in einem globalen kartesischen Koordinatensystem, in dessen X-Z-Ebene der Brückenquerschnitt angeordnet ist; die X-Richtung verläuft dabei in horizontaler Querschnittsrichtung und die Z-Richtung in vertikaler Querschnittsrichtung. Die Brückenlängsrichtung wird in diesem System durch die Y-Richtung beschrieben.

Zur vollständigen geometrischen Beschreibung des zweizelligen Hohlkastenquerschnitts in Tragwerkslängs- und Tragwerksquer- richtung müssen die Elementknotenpunkte für alle Elemente eingegeben werden. Hierbei ist besonders darauf zu achten,

daß die Differenz benachbarter Knotennummern ein Minimum wird, um so eine optimale Bandstruktur der Steifigkeitsmatrix zu erhalten. Dies ergibt bei großen Datensätzen eine Verkürzung der Rechenzeit und führt zu einer besseren Ausnutzung der Rechnerkapazität.

Bei langgestreckten räumlichen Systemen vereinfacht sich die Numerierung sehr vorteilhaft, denn entscheidend für die optimale Bandbreite ist die Differenz benachbarter Knotennummern in Längsrichtung, so daß die Numerierung in Querrichtung beliebig gewählt werden kann. In den in diesem Bericht untersuchten zweizelligen Hohlkastenträgern wurde die Knotennumerierung und -anzahl für alle Systeme gleich gewählt. Durch die Änderung der Lage der Elementknotenpunkte im globalen Koordinatensystem wurden immer neue Kasten geometrien erzeugt, wobei sich die zugehörigen Elementgrößen automatisch ergaben.

Wie in Bild 4.12 für den Feldanfang bei  $Y = 0$  dargestellt, sind zur Beschreibung des Querschnitts 33 Knoten erforderlich. Diese 33 Knoten in Brückenquerrichtung wiederholten sich mit aufsteigender Knotennumerierung insgesamt 31 mal in Brückenlängsrichtung, so daß das Gesamttragwerk in Brückenlängsrichtung scheibenweise beschrieben wurde. Hierbei wurde die Generierungsmöglichkeit des Programmsystems ausgenutzt, so daß nur die Knotenkoordinaten der ersten und der letzten Querscheibe explizit eingegeben werden mußten und die dazwischenliegenden 29 Knotenreihen automatisch erzeugt wurden.

Da alle Stützweiten die gleiche Elementanzahl hatten, ergab sich für die Brückenlängsrichtung eine variable Elementlänge. Für den 30 m-Kasten wurde von einer konstanten Elementlänge von 1.00 m ausgegangen; bei 45 m-Stützweite wurde die Elementlänge mit 1.50 m gewählt. Wegen der endlichen Leistungsfähigkeit der Rechanlage mußte beim 60 m-Kasten von der konstanten Elementlänge in Brückenlängsrichtung abgewichen werden, da einerseits an der oberen Grenze der möglichen Elemente gearbeitet wurde und andererseits die untersuchten Querschnitte in Tragwerkslängsrichtung mit denen des 30 m- und 45 m-Kastens übereinstimmen sollten, so daß beim 60 m-Ka-

sten in der ersten Hälfte der Stützweite die Elementlängen zwischen 1.50 m und 2.50 m variiert wurden. In der zweiten Hälfte der Stützweite wurde die Generierungsmöglichkeit des Programms ausgenutzt, so daß sich hierfür gleiche Elementlängen ergaben. Diese Vorgehensweise ergab eine unsymmetrische Anordnung der Elementlängen zur Brückenmitte.

Diese komplette Beschreibung des Innenfeldes einer Talbrücke durch endliche finite Elemente anstelle des bereichsweisen Ersatzes durch z. B. große Balkenelemente resultierte aus den vorab durchgeführten Tastrechnungen. Die Ermittlung der Querverteilung der Lasten nur in Feldmitte liefert keine ausreichende Aussage über den Lastabtrag eines solchen Tragwerks, da nicht zu vernachlässigende Veränderungen der Quertragwirkung bei Verschiebung der Last in Brückenlängsrichtung vorhanden sind.

In Brückenquerrichtung wurde die Elementlänge in horizontaler Richtung zwischen 1.00 m und 1.13 m variiert, um die Lasten entsprechend ihrer Grundrißgeometrie als Knotenlasten aufbringen zu können. Ausgehend von einer Aufteilung der Fahrbahnplatte (vgl. Bild 1.2) ergab sich, daß über jedem Steg eine Fahrspur liegen kann. Die Anordnung einer Fahrspur direkt über den Kastenstegen führt zur ungünstigsten Beanspruchung dieses Konstruktionselements. Der Schwerlastwagen (s. Kapitel 4.4.4) hat einen Radabstand von 2.00 m, so daß sich jeweils rechts und links neben dem Steg Elementbreiten von 1.00 m ergeben und die dazwischenliegenden Elemente zur Vervollständigung der Geometrie entsprechend angepaßt wurden.

Entlang der Steghöhe sind mindestens vier Elemente angeordnet worden, da die vorher durchgeführten Fehleruntersuchungen (s. Kapitel 4.2.2) erst ab dieser Stegteilung eine ausreichende Übereinstimmung der Durchbiegungen der SAP-Struktur mit denen der Stabstatik erreichten.

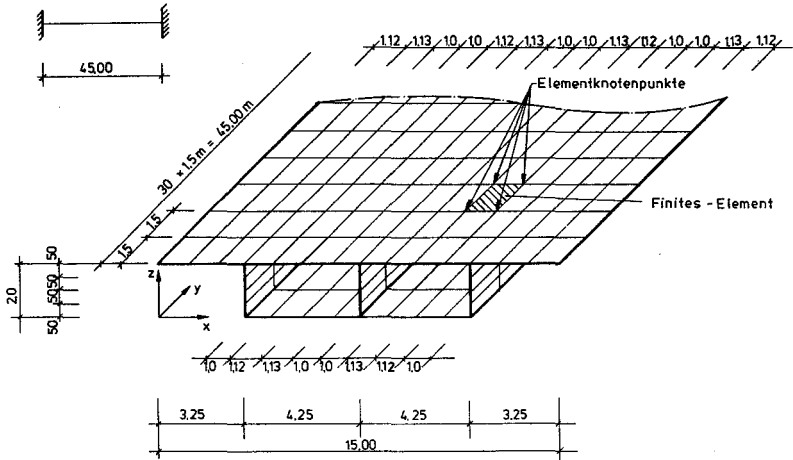
Bei der Wahl eines Brückenüberbauquerschnitts und der konstruktiven Durchbildung ist die Schlankheit, d. h. die Konstruktionshöhe in Abhängigkeit von der Stützweite, ein we-



sentlicher Einflußparameter. Um für die gewählten Stützweiten alle gängigen Schlankheiten abzudecken, wurde die Kastenhöhe in vier Schritten von 1.60 m über 2.00 m und 4.00 m bis 6.00 m variiert. Hiermit entstanden für die Stegelemente Höhen von 0.40 m, 0.50 m, 1.00 m und 1.50 m. Die gewählten Kastenhöhen wurden für alle Stützweiten gleich angesetzt; dadurch ergaben sich für einige Grenzfälle Biegeschlankheiten, die in der Baupraxis unüblich sind. Im Rahmen dieser Parameterstudie dienen diese extremen Abmessungen jedoch der Darstellung von Abhängigkeiten und Tendenzen.

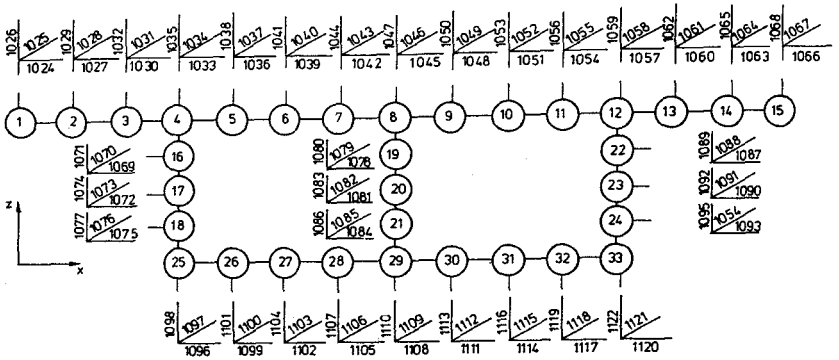
Zur Simulierung der in Kapitel 4.2.2 erarbeiteten Randeinspannungen und Auflagerbedingungen wurden am Feldanfang und Feldende pro Endknoten drei Randelemente angeordnet (s. Bild 4.12). Hieraus ergibt sich ein SAP-Datensatz, der aus 1221 Elementknotenpunkten und 1218 Elementen besteht, wobei sich die 1218 Elemente aus 1020 Platten- und Schalenelementen (Typ 6) und 198 Randelementen (Typ 7) zusammensetzen.

In den Bildern 4.11 bis 4.16 ist exemplarisch für alle Kastengeometrien das diskrete Ersatzsystem des Ausgangsbauwerks mit 2.00 m Kastenhöhe und 45 m Stützweite dargestellt.



**Bild 4.11** Diskretisierung des zweizelligen Kastenträgers für die FE-Berechnungen

Feldanfang  $y=0$



Feldende  $y=L$

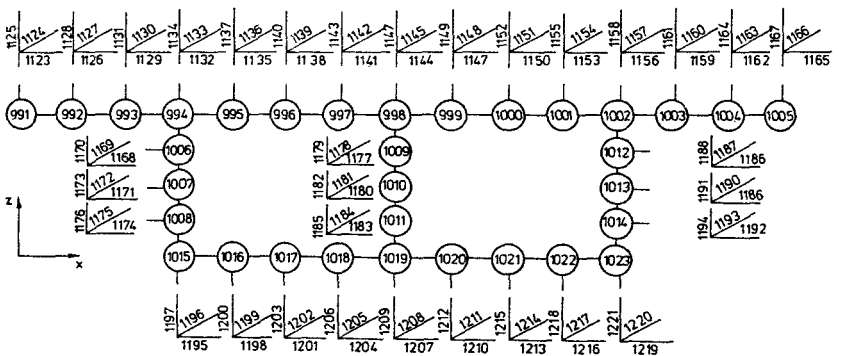


Bild 4.12 Anordnung der Randelemente am Feldanfang und -ende des zweizelligen Kastenträgers

KNOTENNUMMERN

ELEMENTNUMMERN

891	892	893	894	895	896	897	898	899	1000	1001	1002	1003	1004	1005
928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942
925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939
892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906
859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873
826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840
793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807
760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774
727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741
694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708
661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675
628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642
595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609
562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576
529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543
496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510
463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477
430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444
397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411
364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378
331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345
298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312
265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279
232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246
199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213
166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

30	40	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420
29	59	89	119	149	179	209	239	269	299	329	359	389	419
28	58	88	118	148	178	208	238	268	298	328	358	388	418
27	57	87	117	147	177	207	237	267	297	327	357	387	417
26	56	86	116	146	176	206	236	266	296	326	356	386	416
25	55	85	115	145	175	205	235	265	295	325	355	385	415
24	54	84	114	144	174	204	234	264	294	324	354	384	414
23	53	83	113	143	173	203	233	263	293	323	353	383	413
22	52	82	112	142	172	202	232	262	292	322	352	382	412
21	51	81	111	141	171	201	231	261	291	321	351	381	411
20	50	80	110	140	170	200	230	260	290	320	350	380	410
19	49	79	109	139	169	199	229	259	289	319	349	379	409
18	48	78	108	138	168	198	228	258	288	318	348	378	408
17	47	77	107	137	167	197	227	257	287	317	347	377	407
16	46	76	106	136	166	196	226	256	286	316	346	376	406
15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405
14	44	74	104	134	164	194	224	254	284	314	344	374	404
13	43	73	103	133	163	193	223	253	283	313	343	373	403
12	42	72	102	132	162	192	222	252	282	312	342	372	402
11	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401
10	40	70	100	130	160	190	220	250	280	310	340	370	400
9	39	69	99	129	159	189	219	249	279	309	339	369	399
8	38	68	98	128	158	188	218	248	278	308	338	368	398
7	37	67	97	127	157	187	217	247	277	307	337	367	397
6	36	66	96	126	156	186	216	246	276	306	336	366	396
5	35	65	95	125	155	185	215	245	275	305	335	365	395
4	34	64	94	124	154	184	214	244	274	304	334	364	394
3	33	63	93	123	153	183	213	243	273	303	333	363	393
2	32	62	92	122	152	182	212	242	272	302	332	362	392
1	31	61	91	121	151	181	211	241	271	301	331	361	391

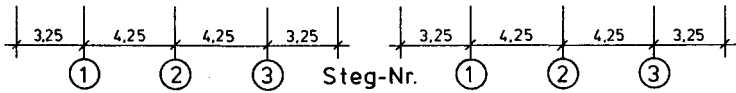
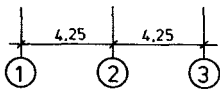


Bild 4.13 Fahrbahnplatte mit Knoten- und Elementnumerierung

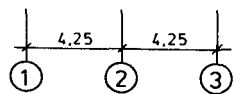
KNOTENNUMMERN

1015	1014	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023
982	983	984	985	986	987	988	989	990
949	950	951	952	953	954	955	956	957
916	917	918	919	920	921	922	923	924
883	884	885	886	887	888	889	890	891
850	851	852	853	854	855	856	857	858
817	818	819	820	821	822	823	824	825
784	785	786	787	788	789	790	791	792
751	752	753	754	755	756	757	758	759
718	719	720	721	722	723	724	725	726
685	686	687	688	689	690	691	692	693
652	653	654	655	656	657	658	659	660
619	620	621	622	623	624	625	626	627
586	587	588	589	590	591	592	593	594
553	554	555	556	557	558	559	560	561
520	521	522	523	524	525	526	527	528
487	488	489	490	491	492	493	494	495
454	455	456	457	458	459	460	461	462
421	422	423	424	425	426	427	428	429
388	389	390	391	392	393	394	395	396
355	356	357	358	359	360	361	362	363
322	323	324	325	326	327	328	329	330
289	290	291	292	293	294	295	296	297
256	257	258	259	260	261	262	263	264
223	224	225	226	227	228	229	230	231
190	191	192	193	194	195	196	197	198
157	158	159	160	161	162	163	164	165
124	125	126	127	128	129	130	131	132
91	92	93	94	95	96	97	98	99
58	59	60	61	62	63	64	65	66
25	26	27	28	29	30	31	32	33



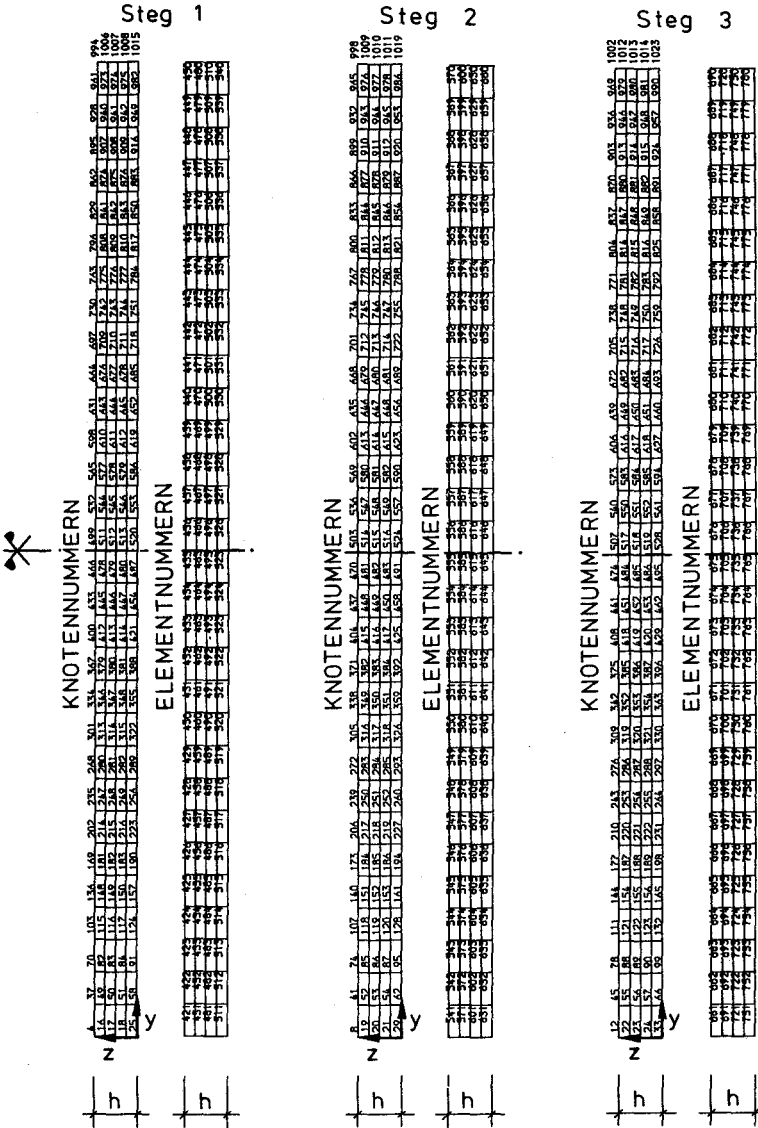
ELEMENTNUMMERN

819	840	870	908	939	940	999	1020
807	838	869	899	929	959	989	1019
800	830	860	890	920	950	980	1010
807	837	867	897	927	957	987	1017
804	834	864	894	924	954	984	1014
805	835	865	895	925	955	985	1015
804	834	864	894	924	954	984	1014
803	833	863	893	923	953	983	1013
802	832	862	892	922	952	982	1012
80	83	86	89	92	95	98	101
800	830	860	890	920	950	980	1010
797	828	859	889	919	949	979	1009
796	828	858	888	918	948	978	1008
797	827	857	887	917	947	977	1007
796	826	856	886	916	946	976	1006
795	825	855	885	915	945	975	1005
796	824	854	884	914	944	974	1004
793	823	853	883	913	943	973	1003
792	822	852	882	912	942	972	1002
79	82	85	88	91	94	97	100
799	820	850	880	910	940	970	1000
789	810	840	870	900	930	960	999
788	810	840	870	900	930	960	998
787	81	84	87	90	93	96	99
786	814	844	874	904	934	964	994
785	815	845	875	905	935	965	995
786	814	844	874	904	934	964	994
783	813	843	873	903	933	963	993
782	812	842	872	902	932	962	992
78	81	84	87	90	93	96	99



Steg-Nr.

Bild 4.14 Bodenplatte mit Knoten- und Elementnumerierung



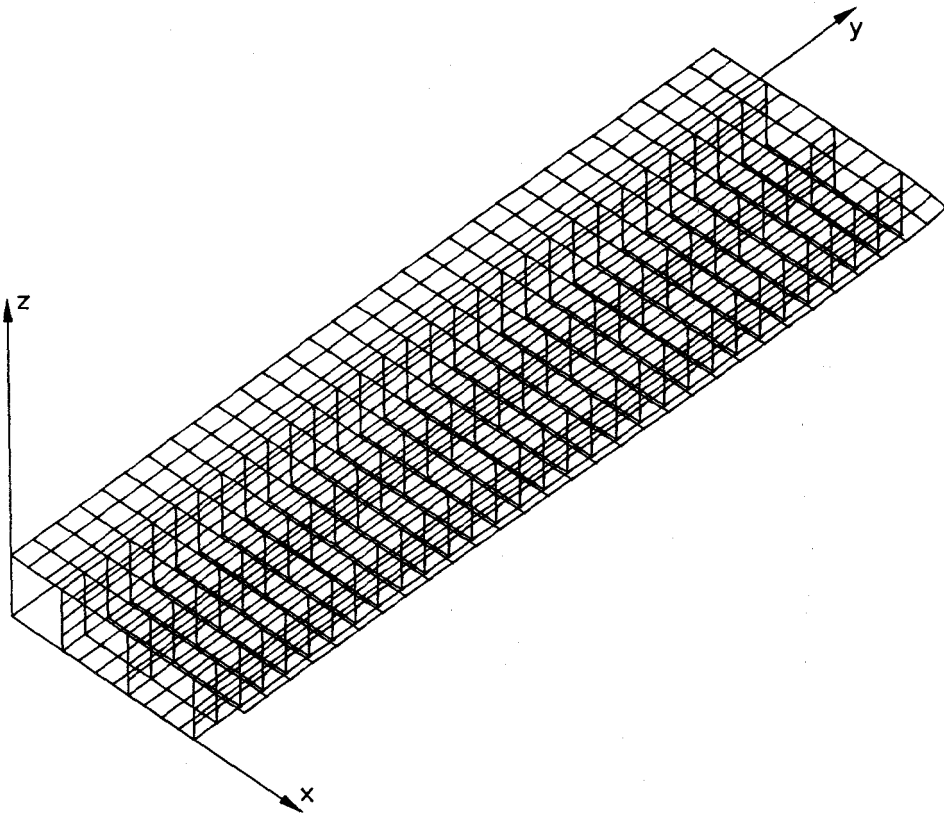


Bild 4.16 Die unverformte Struktur des gesamten zweizelligen Hohlkastens in isometrischer Darstellung

#### 4.4.4 Diskretisierung der Lastfälle

Die Lastannahmen für Straßen- und Wegebrücken sind in der DIN 1072 /102/ geregelt. Aus der Vielzahl der zu untersuchenden Haupt-, Zusatz- und Sonderlasten sind im Rahmen dieser Parameterstudie nur die vertikalen Belastungen aus Eigenlasten und die Verkehrslasten von Bedeutung. Die Eigenlasten der Bauteile sind in den einschlägigen Normen (DIN 1055, Teil 1 und Teil 2) geregelt. Im Rahmen dieser Parameterstudie wird nur das Eigengewicht des statisch wirksamen Brückenquerschnitts angesetzt. Auf Zusatz eigenlasten, die aus Kappen, Geländern, Distanzschutzplanken und Fahrbahnbelag entstehen, wird wegen des geringen Einflusses auf die Querverteilung verzichtet.

Die Verkehrslasten für die Brücke ergeben sich aus den anzusetzenden Brückenklassen. Im Bundesfernstraßenbau ist die Regelklasse 60/30 für die Bemessung der Bauwerke maßgebend. Die Verkehrsregellasten sind für die Ermittlung der Schnittgrößen des Bauwerks in der jeweils ungünstigsten Stellung anzusetzen. Die Brückenfläche ist dabei aufzuteilen in eine Haupt- und eine Nebenspur mit einer Breite von jeweils 3.00 m, unmittelbar nebeneinanderliegend, und außerhalb dieser Spuren liegende Flächen der Fahrbahn, bestehend aus Geh- und Radwegen, Schrammbordstreifen sowie erhöhten oder baulich abgegrenzten Mittelstreifen (Bild 4.17, unten).

Bei der Brückenklasse 60/30 steht in der Hauptspur der Schwerlastwagen (SLW 60) mit einer Gesamtlast von 600 KN, die über sechs Räder mit einem Achsabstand von 1.50 m und einem Radabstand von 2.00 m auf die Brückenfläche übertragen wird (Bild 4.17). Von diesem Schwerlastwagen wird eine Brückenfläche von 3.00 x 6.00 m bedeckt. Vor und hinter diesem Regelfahrzeug ist eine Flächenlast von  $p = 5.00 \text{ KN/m}^2$  anzuordnen.

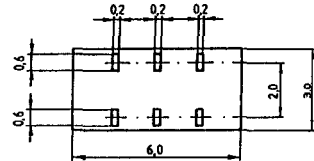
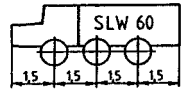
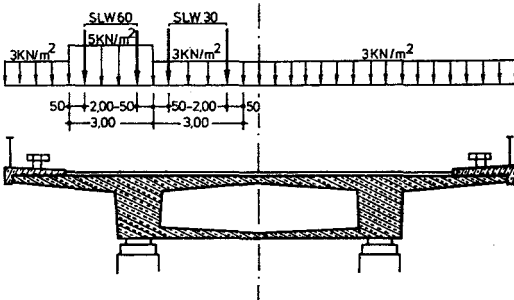
Die Brücken erfahren durch die Verkehrslasten eine dynamische Beanspruchung. Für die Schnittgrößenermittlung wird eine statische Beanspruchung des Tragwerks aus Verkehrslasten ange-



## Lastannahmen für Straßenbrücken

BRÜCKENKLASSE 60/30

SCHWERLASTWAGEN (SLW)



GESAMTLAST: 600 kN  
 RADLAST: 100 kN  
 ERSATZFLÄCHENLAST:  $p' = 33.3 \text{ kN/m}^2$

### AUFTEILUNG DER FAHRBAHNPLATTE GEM. DIN 1072

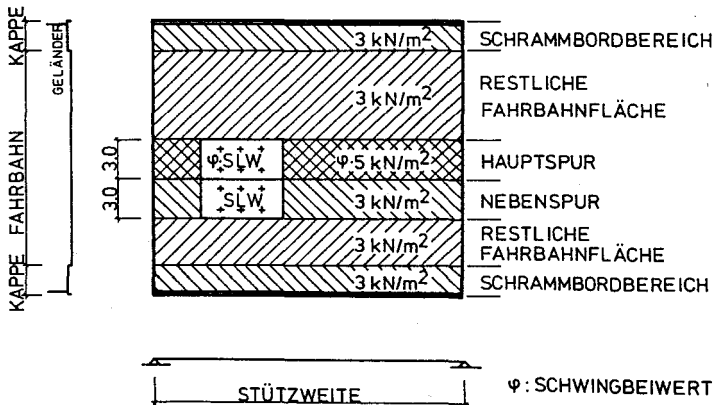


Bild 4.17 Auszug aus den Lastannahmen für Straßenbrücken und Aufteilung der Fahrbahnplatte gem. DIN 1072

setzt; jedoch sind die Verkehrslasten der Hauptspur mit einem Schwingbeiwert zu multiplizieren, der abhängig von der Stützweite zwischen 1.00 und 1.40 liegt. In der Nebenspur ist neben dem auf der Hauptspur aufgestellten Regelfahrzeug ein SLW 30 anzuordnen. Vor und hinter dem SLW ist eine Flächenlast von  $p = 3.00 \text{ KN/m}^2$  anzusetzen. Für die Untersuchung des Haupttragwerks der Brücke sind außerhalb dieser Spur liegende Fahrbahnflächen jeweils mit einer Flächenlast  $p = 3.00 \text{ KN/m}^2$  zu beaufschlagen.

Weitere Lasten zur rechnerischen Ermittlung der ungünstigsten Schnittgrößen von Einzelbauteilen wie Kragarm- und Fahrbahnplatten sind nicht Gegenstand dieser Parameterstudie.

Zur Abdeckung der o. g. Belastung wurden fünf Einheitslastfälle entwickelt, mit denen alle in Kapitel 4.4.3 festgelegten Geometrievariationen untersucht wurden. Die fünf Lastfälle sind in Bild 4.18 dargestellt und dienen zur Abdeckung folgender Lasten:

- Lastfall A, Eigengewicht des Brückenquerschnitts (ohne Zusatzeigenlasten)
- Lastfall B, Linienlast aus der auf jeder Brücke anzuordnenden Hauptspur bzw. in Kombination mit Lasttyp D zur Ermittlung gleichmäßig verteilter Brückenlasten. Gegebenenfalls können die Lasttypen B und D auch zur Untersuchung von Brückenbelastungen mit Schwerlasttransporten gemäß ARS Nr. 14/1981 /109/ verwendet werden, bei denen meist viele Achsen in einem engen Abstand über fast die gesamte Stützweite gehen, so daß sie als Linienlast idealisiert werden können.
- Lastfall C und E dienen zur Abdeckung des gemäß DIN 1075 geforderten Schwerlastwagens. Bei diesen Berechnungen wurde der SLW 60, das größte Schwerlastfahrzeug gemäß Brückenklasse 60, eingesetzt. Um den Wert dieser Einheitslastfälle zu erhalten und auch die Berechnungen für andere

Brückenklassen zu ermöglichen, wurde auf eine Multiplikation des SLW 60 mit dem Schwingbeiwert verzichtet.

Unter Vorgabe des Baustoffraumgewichts berechnet das Programm SAP V automatisch den Lastfall A (Eigengewicht). Das Programm ermittelt sich das Gewicht aus den vorhandenen Elementdicken, -höhen und -längen. Hierbei ist auf eine Besonderheit zu achten. Wie in Bild 4.19 dargestellt, ergibt sich - durch die volumenmäßige Ausdehnung der Elemente über die Systemlinien und ihre Verbindung an den Knotenpunkten - an den Übergangsstellen der Stege zu den Fahrbahn- bzw. Bodenplatten teilweise zuviel Querschnittsfläche, die sich nicht automatisch herauskondensiert. Um diese Diskrepanz auszugleichen und die für die Untersuchung der Querverteilung maßgebenden Biege- und Torsionssteifigkeiten der Elemente zu erhalten, wurde für die Außen- und Innenstege mit einem abgeminderten Raumgewicht  $\tau'$  gegenüber dem tatsächlichen Raumgewicht von  $\tau = 25 \text{ KN/m}^3$  gerechnet. Die abgeminderten Raumgewichte sind in Abhängigkeit von der Kastengeometrie in Tab. 4.1 dargestellt.

Die Linienlasten B und D ( $q(y) = 10 \text{ KN/m}$ ) wurden zu Knotenlasten zusammengefaßt und konnten somit ohne weitere Maßnahmen eingegeben werden.

Durch die vorgewählte Geometrie der Knotenpunkte war es möglich, die Lasttypen C und E (SLW 60) beim Hohlkasten mit einer Stützweite von 45 m auf dem Rand- bzw. Mittelsteg ohne Umrechnung direkt als Knotenlasten in den Datensatz einzugeben. Beim Kastenträger mit 30 m bzw. 60 m mit Stegelementlängen von 1.00 m bis 2.50 m wurden die Radlasten nach dem Hebelgesetz auf die benachbarten Knoten in Brückenlängsrichtung verteilt. Wegen der Elementbreite von 1.00 m war eine Aufteilung der Lasten in Brückenquerrichtung nicht erforderlich.

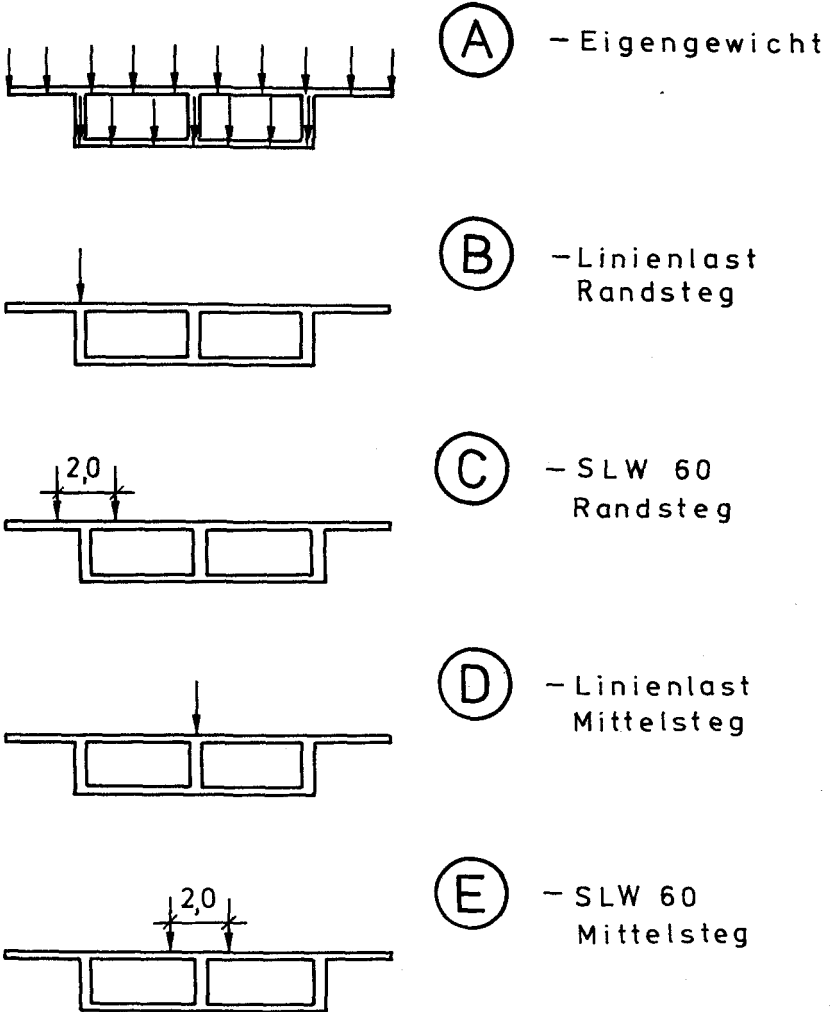


Bild 4.18    Untersuchte Einheitslastfälle zur Abdeckung der vertikalen Belastungen nach DIN 1072

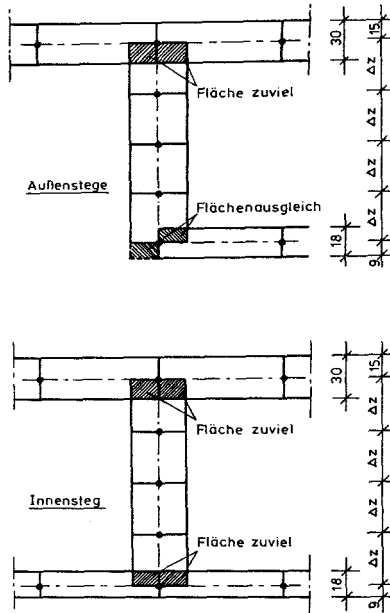


Bild 4.19 Flächenausgleich im Bereich der Stege

RAUMGEWICHTE				
	Kastenhöhe h [m]			
	1.60	2.00	4.00	6.00
Stegdicke ts [cm]	42	42	42	42
Fahrbahnplatte to [cm]	30	30	30	30
Bodenplatte tu [cm]	18	18	18	18
$\gamma'$ Randsteg [kN/m <sup>3</sup> ]	22.65625	23.12500	24.06250	24.37500
$\gamma'$ Mittelsteg [kN/m <sup>3</sup> ]	21.25000	22.00000	23.50000	24.00000

Tab. 4.1 Reduzierte Raumgewichte der Stege zum Ausgleich der Überflächen

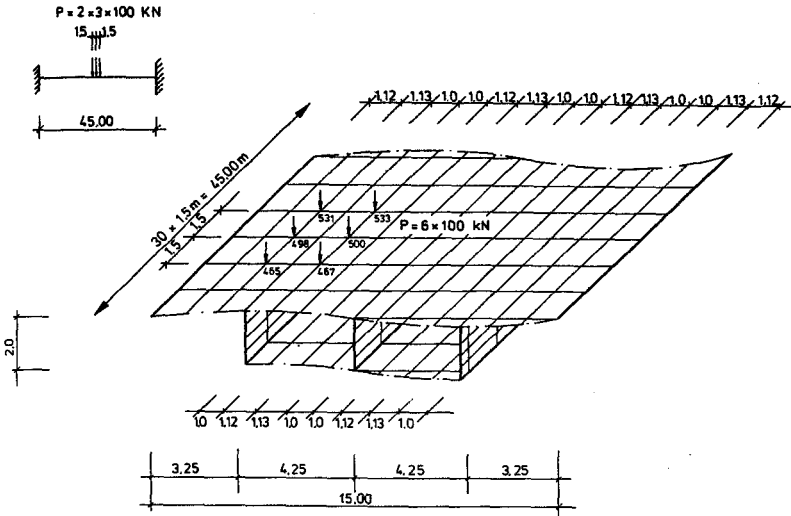


Bild 4.20 SLW - Radlasten in Feldmitte auf dem Randsteg des diskretisierten Ausgangsquerschnitts

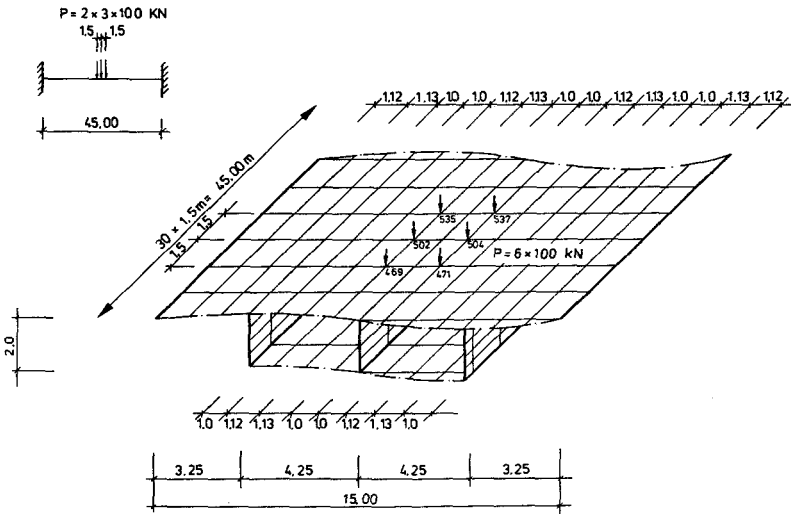


Bild 4.21 SLW - Radlasten in Feldmitte auf dem Mittelsteg des diskretisierten Ausgangsquerschnitts

#### 4.5 Parameterstudie der Querschnittsformen und Lastfälle

Die Querschnittswerte der untersuchten Kastengeometrie sind in Tabelle 4.2 zusammengefaßt. Die Biegesteifigkeit wurde dabei für den idealisierten Querschnitt nach Zustand I ermittelt. Das Torsionsträgheitsmoment wurde mit Hilfe der Bredt'schen Formel für den äußeren umlaufenden Kastenquerschnitt ermittelt. Wie in Bild 2.6 dargestellt, handelt es sich bei den untersuchten Geometrien der Hohlkastenquerschnitte beim zweizelligen Hohlkasten im Mittelsteg nur um Sekundärschubspannungen, so daß auf dessen genauere Berücksichtigung bei der Ermittlung des Torsionsträgheitsmoments verzichtet werden kann, da die Berücksichtigung des Mittelstegs die Torsionssteifigkeit praktisch nicht erhöht.

Die sich aus der Geometrie ergebenden Biegesteifigkeiten und Torsionssteifigkeiten sind in Abhängigkeit von der Kastenform in Bild 4.22 dargestellt.

Aufgrund der vorgegebenen Randbedingungen, die sowohl die verkehrstechnischen Belange (Überführung eines dreispurigen Autobahnquerschnitts) als auch konstruktiv erforderliche Belange (Berücksichtigung wirtschaftlicher Steg- und Plattendicken) miteinbeziehen, ergibt sich eine Vielzahl fester und variabler Parameter, die entweder die Geometrie oder die Lasten berücksichtigen. Als variable Parameter sind bei dieser Studie folgende last- bzw. geometrieabhängige Größen festgelegt worden:

- Lastfälle A bis E,
- Kastenformparameter  $b/h$ ,
- Grundrißschlankheit  $b/L$ ,
- Biegeschlankheit  $h/L$  bzw.  $d/L$ ,
- Verhältnis der Biegesteifigkeit zur Torsionssteifigkeit  $K = EI_b/GI_t$ .

Als feste Parameter bei dieser Studie ergaben sich aufgrund konstruktiver Anforderungen bzw. der durch Voruntersuchungen eliminierten Parameter (s. Kapitel 5.5) folgende Größen:

- Querschnittsgestalt in der X-Z-Ebene,
- Statisches Grundsystem des eingespannten Stabs,
- Direktauflagerung aller drei Stege an den Feldenden,
- Materialeigenschaft (Beton B 35),
- Äußere Kastenbreite  $b = 8.50$  m,
- Stegdicke  $t_s = 0.42$  m,
- Dicke der oberen und unteren Kastenplatte  $d = 0.30$  m bzw.  $0.18$  m.

Der Verlauf des Verhältnisses der Biege- zur Torsionssteifigkeit in Abhängigkeit vom Kastenformparameter ist in Bild 4.23 dargestellt. Die betrachteten Querschnittswerte hatten die baupraktisch üblichen Steifigkeitszahlen von  $K = 0.9$  bis  $1.7$ .

Durch die festgehaltene und konstante Fahrbahnplattenbreite und die daraus resultierende äußere Kastenbreite ergibt sich für die untersuchten Querschnitte kein kontinuierliches Anwachsen der Steifigkeitswerte. Die numerische Auflistung der variablen Kastenformparameter erfolgt in Tab. 4.3. Hieraus läßt sich auch erkennen, welche Geometrien den relevanten Schlankheitsbereich von mehrfeldrigen vorgespannten Konstruktionen, d. h.  $d/L = 1/10$  bis  $d/L = 1/30$  bzw.  $1/35$ , verlassen. Der für diese Parameterstudie gewählte Ausgangsquerschnitt der Talbrücke Kattenohl /44/ hat eine Schlankheit von  $d/L = 45/2.20 = 1/20.5$  und lag hiermit zum damaligen Zeitpunkt im üblichen Schlankheitsbereich von  $d/L = 1/18$  bis  $1/23$ . Aufgrund der Erfahrungen mit vorgespannten Konstruktionen geht man z. Z. aber immer mehr von sehr schlanken Brückenkonstruktionen ab, so daß die hier durchgeführten Parameterstudien auch für die in Zukunft zu bauenden Brückenquerschnitte neue Erkenntnisse liefern.



Aus der gewählten Diskretisierung der Kasten­geometrie und der Lasten ergaben sich 12 unterschiedliche Geometrien mit jeweils 13 zugehörigen Lastfällen. Bild 4.24 zeigt die Übersicht der untersuchten Systeme und Belastungen.

QUERSCHNITTSWERTE					
h/b [-]	h [m]	Ab [m <sup>2</sup> ]	Ib [m <sup>4</sup> ]	It [m <sup>4</sup> ]	K=EIb/GIt [-]
0.188	1.600	7.819	3.5557	8.8950	0.9708
0.235	2.000	8.323	5.7573	13.5873	1.0291
0.471	4.000	10.843	27.1057	48.8779	1.3468
0.706	6.000	13.363	69.6980	99.9165	1.6941

Feste Parameter :      Kastenbreite : b = 8.50 m  
 Baustoff : B 35 mit  
 E = 34000 MN/m<sup>2</sup>  
 G = 14000 MN/m<sup>2</sup>

Tab 4.2      Querschnittswerte der untersuchten Kastengeometrien

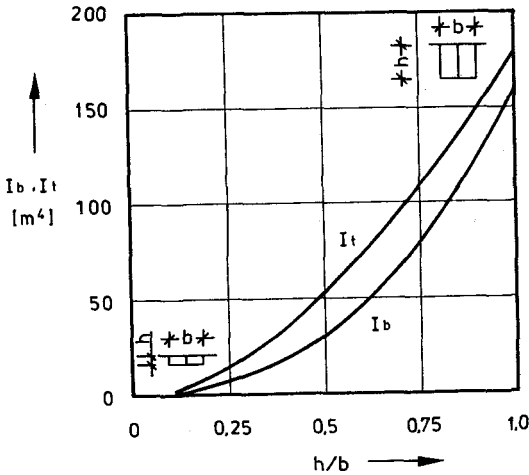


Bild 4.22      Biege- und Torsionssteifigkeiten von zweizelligen Hohlkästen mit konstanter Kastenbreite und konstanten Elementdicken

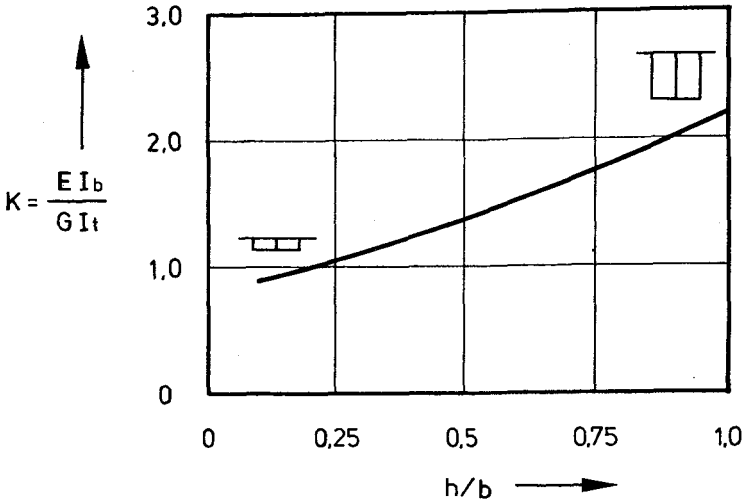




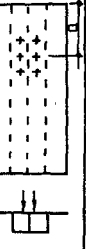


Bild 4.23 Steifigkeitsverhältnis der untersuchten Hohlkastenquerschnitte

Stützweite L [m]	Kastenhöhe h [m]	Gesamthöhe d [m]	Kastenformparameter			
			b/h [-]	b/L [-]	h/L [-]	d/L [-]
30.0	1.60	1.84	5.31	0.28333	1/18.75	1/16.30
	2.00	2.24	4.25	0.28333	1/15.00	1/13.39
	4.00	4.24	2.13	0.28333	1/7.00	1/7.08
	6.00	6.24	1.42	0.28333	1/5.00	1/4.81
45.0	1.60	1.84	5.31	0.18889	1/28.13	1/24.46
	2.00	2.24	4.25	0.18889	1/22.50	1/20.09
	4.00	4.24	2.13	0.18889	1/11.25	1/10.61
	6.00	6.24	1.42	0.18889	1/7.50	1/7.21
60.0	1.60	1.84	5.31	0.14167	1/37.50	1/32.61
	2.00	2.24	4.25	0.14167	1/30.00	1/26.79
	4.00	4.24	2.13	0.14167	1/15.00	1/14.15
	6.00	6.24	1.42	0.14167	1/10.00	1/9.62

Fester Parameter : Kastenbreite b = 8.50 m

Tab. 4.3 Kastenformparameter der untersuchten Geometrien

LASTTYP		L = 30,00 m				L = 45,00 m				L = 60,00 m			
		h [m]				h [m]				h [m]			
		1,60	2,00	4,00	6,00	1,60	2,00	4,00	6,00	1,60	2,00	4,00	6,00
A 		1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
		0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50
		1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.
B 		1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
		0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50
		1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.
C 	a = 0,06 L	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
		0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50
		1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.
	a = 0,1 L	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
		0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.	
a = 0,2 L	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	
	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.	
a = 0,3 L	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	
	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.	
a = 0,5 L	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	
	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.	
D 		1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
		0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50
		1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.
E 	a = 0,06 L	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
		0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50
		1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.
	a = 0,1 L	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
		0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.	
a = 0,2 L	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	
	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.	
a = 0,3 L	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	
	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.	
a = 0,5 L	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	
	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	0,40	0,50	1,00	1,50	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	var.	var.	var.	var.	

1. Zahl = Anzahl der Platten- und Schalelemente
2. Zahl = Höhe der Stegelemente
3. Zahl = Länge der Stegelemente

Bild 4.24 Zusammenstellung der untersuchten Systeme und zugehörige Belastungen

## 5. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

### 5.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Parameterstudie und der Sonderuntersuchungen zusammengefaßt dargestellt. Zur Interpretation der Ergebnisse sind noch einige Erweiterungen der bisherigen Ausführungen erforderlich.

Die Querverteilung von Lasten zeigt an, ob und in welchem Maße Nachbarbereiche partiell belasteter Tragwerke in der Lage sind, Lasten mitzutragen. Bezogen auf Brückenüberbauten bedeutet dies: Wie weit kann ein Plattenbalken- oder Hohlkastenquerschnitt alle Stege bei symmetrisch oder unsymmetrisch angreifenden Lasten zum Lastabtrag in Brückenlängsrichtung heranziehen.

Symmetrisch zur Längsachse belastete Tragwerke werden bei nicht ausreichend ausgesteiften (querbiegeweichen) Querschnitten nur beim einzelligen Hohlkastenquerschnitt und zweistegigen Plattenbalkenquerschnitten zu gleichen Teilen über die Längsträger abgetragen.

Die Lastabtragung von unsymmetrischen Lasten bei o. g. Querschnitten wird in der Literatur ausreichend erläutert und es liegen entsprechende Lösungen vor, die beim Entwurf sowie bei der Bemessung von Brücken beachtet werden.

Quantitative Aussagen, in welchem Maße Hauptträger unter symmetrischen Lasten ungleichmäßig beansprucht werden, wenn ihre Anzahl  $n \geq 3$  wird, wurden bisher nicht gemacht. Für unsymmetrische Lasten behilft man sich mit den in Kapitel 2.3.2 beschriebenen Näherungslösungen.

### 5.1.1 Momentenanteile aus Eigengewicht und Verkehrslast bei Standardbrückenüberbauten

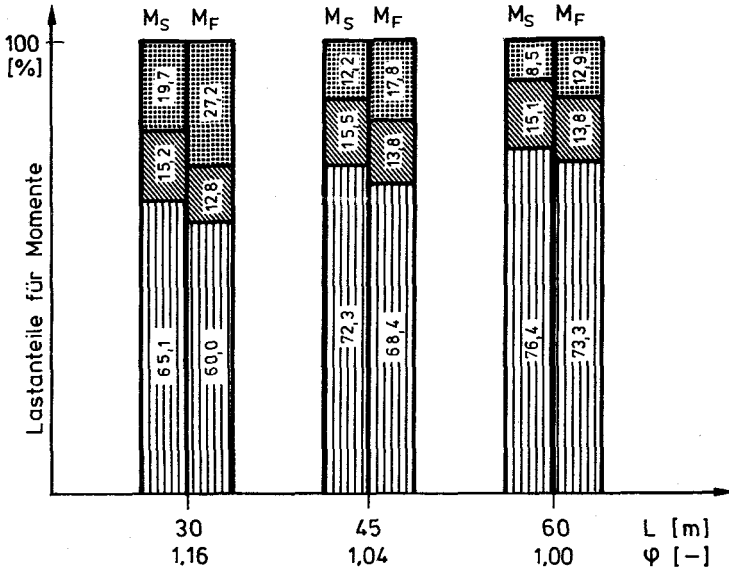
Auf die Berücksichtigung der Querverteilung bei Brückenüberbauten wurde häufig mit dem Hinweis darauf verzichtet, daß der prozentuale Anteil der zu verteilenden Verkehrslasten, betrachtet an der Gesamtbelastung des Bauwerks aus Eigengewicht und Verkehrslast, relativ gering ist.

In Bild 5.2 ist deshalb für einen repräsentativen Querschnitt eine Gegenüberstellung der Biegemomente erzeugenden Lastanteile für die Stützweiten von 30, 45 und 60 m vorgenommen worden. Der gewählte Brückenüberbau ist vergleichbar mit dem Ausgangsquerschnitt der Parameterstudie. Er hat eine Biegeschlankheit von  $L/h = 20$  bei konstanten Konstruktionselementdicken.

Die Belastung setzt sich aus den Eigengewichtslasten und den Verkehrslasten (Bild 4.17) unter Berücksichtigung des Schwingbeiwertes zusammen. Die Verkehrslasten bestehen aus den gleichmäßig verteilten Flächenlasten aus Haupt- und Nebenspur und den SLW-Beanspruchungen aus zwei Regelfahrzeugen (SLW 60 und SLW 30) für die Brückenklasse 60/30. Angegeben werden jeweils pro Stützweite die Lastanteile, die die maximalen Feldmomente und minimalen Stützmomente für das Innenfeld eines Durchlaufträgers ergeben. Die Ermittlung dieser Prozentanteile erfolgte durch Rückrechnung aus den Absolutwerten der Momentenanteile aus den drei Einzelbeanspruchungen, deren Summe zu hundert Prozent gesetzt wurde.

Der Verkehrslastanteil beträgt an der Stelle der minimalen bzw. maximalen Momente 25 bis 30 %. Dieser Anteil wächst im Bereich der Momentennullpunkte für den Lastfall Eigengewicht ( $M_g = 0$  bei ca. 0.2 L) bis 100 % an. Den Hauptanteil bilden hierbei die Momente aus den Schwerlastwagen, denn der Momentennullpunkt für die gleichmäßig verteilten Verkehrsflächenlasten liegt ungefähr an der gleichen Stelle wie der Momentennullpunkt für den Lastfall Eigengewicht. Ein unzureichender Ansatz der Querverteilung von partiellen Lasten wirkt

sich deshalb im Bereich des Momentennullpunktes für den Lastfall Eigengewicht sehr viel stärker aus als im übrigen Tragwerksbereich.



$M_S$  = min. Stützmoment

$M_F$  = max. Feldmoment



Eigengewicht



Verkehrsflächenlasten (incl.  $\varphi$ )



SLW-Lasten (incl.  $\varphi$ )

Bild 5.1 Lastanteile der Feld- und Stützmente in Prozenten aus vertikalen Belastungen für die untersuchten Stützweiten

### 5.1.2 Lastanordnung

Die quantitative Differenzierung der Lastverteilung beim Vergleich der Lastfälle ist bei Bauwerken, die sich im Zustand I (ungerissener Beton) befinden, unabhängig von der Lastgröße, sofern keine Effekte aus Theorie 2. Ordnung (Gleichgewicht am verformten System) zum Tragen kommen. Der Lastverteilungsfaktor  $\alpha$  ist nur eine Funktion der Lasteinleitung (Lastanordnung in Querrichtung) und der Laststellung (Lastanordnung in Längsrichtung) (Bild 5.2).

$$\alpha_i = f(\text{Ort, Typ}) \quad (5.1)$$



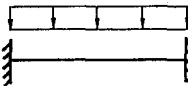

Lastfall Lastanordnung	LF Linientlast	LF SLW
Lasteinleitung		
Laststellung		

Bild 5.2 Festlegung der Definitionen

### 5.2 Vertikale Verformungen der Stege und zugehörige Querverteilungen

Um die unterschiedlichen Belastungen der drei Stege der vorliegenden Hohlkastenquerschnitte zu bestimmen, müssen die Einflußgrößen festgelegt werden, über die diese Auswertung



erfolgen soll. Zur Ermittlung der Lastanteile pro Hohlkastensteg stehen aufgrund der direkt ausgedruckten Ergebnisse des SAP V-Datensatzes folgende zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Gegenüberstellung der vertikalen Stegdurchbiegungen
- Auswertung der Stegspannungen

In der folgenden Auswertung wurde auf die erste Möglichkeit zurückgegriffen, da auch die bei Probelastungen ermittelten Querverteilungen durch die Auswertung von Verformungsmessungen errechnet wurden und sich die Verformungen beim Weggrößenverfahren direkt ergeben. Die Spannungen ergeben sich nach dem Elastizitätsgesetz durch Multiplikation der Dehnungen mit den Materialsteifigkeiten für die Elementmitten. Bei einer Auswertung der Spannungen hätten diese erst in einer Nachlaufrechnung von den Elementmitten auf die Randspannung extrapoliert werden müssen. Die Genauigkeit wäre im Bereich kleinerer Beanspruchung durch die diskreten Elemente entsprechend kleiner und die Fehleranfälligkeit größer geworden.

Die Verteilung der Belastung auf die einzelnen Stege wurde dadurch ermittelt, daß pro betrachtetem Brückenquerschnitt die Summe der vertikalen Durchbiegungen unter den drei Hauptstegen zu 100 % gesetzt wurde und anschließend über die Einzelverformung des jeweiligen Steges die prozentualen Lastanteile bestimmt wurden.

$$\alpha_i = \frac{100 \cdot w_i}{\sum_{i=1}^3 w_i} \quad [\%] \quad (5.2)$$

Die numerische Auswertung sämtlicher SAP V-Datensätze erfolgte für alle fünf Einheitslastfälle und Kastengeometrien für die diskreten Punkte 0.067 L, 0.10 L, 0.20 L, 0.33 L,

0.50 L, 0.067 L, 0.80 L, 0.90 L sowie 0.933 L. Die ausgewerteten Verformungen und die aus der Gleichung (5.2) resultierenden Lastanteile sind dieser Arbeit als Anlage beigefügt.

Im auflagernahen Bereich zwischen 0.00 L und 0.20 L wurde für die Auswertung eine engere Teilung der Abschnitte gewählt, da in diesem Abschnitt die zahlenmäßig größten Änderungen in den Lastanteilen auftraten.

Auf eine Angabe der Querverteilungen im Bereich 0.00 L bis 0.067 L direkt neben den Auflagerungen, d. h. an den Einspannstellen, wurde verzichtet, da hier die Verformungen sehr klein sind. Dieser Umstand kann bei Auf- und Abrundungen zu großen Fehlern führen. Dieser Tragwerksbereich ist generell für die Ermittlung der Querverteilungen uninteressant, da z. B. der Schwerlastwagen für die Ermittlung des maximalen Stützmomentes nicht über der Stütze (Einspannstelle), sondern in einem gewissen Abstand vom Auflager stehen muß.

Laststellungen direkt über dem Auflager sind nur für die Ermittlung der maximalen Auflagerkräfte interessant. Hier kann man mit genügender Genauigkeit die Auflagerkräfte mit einer Lastverteilung nach dem Hebelgesetz bestimmen. Die Auflagerquerträger sind jedoch nicht Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen, da hierfür auch eine andere Diskretisierung des Tragwerks erforderlich wäre.

Die graphische Darstellung der in den Tabellen des Anhangs aus den vertikalen Verformungen ermittelten Querverteilungen erfolgt in den Bildern 5.3 bis 5.17.

In jedem Bild sind jeweils vier unterschiedliche Steghöhen bei konstanter Stützweite für einen Lastfall zusammengefaßt. In jedem Diagramm sind die Lastanteile der drei Hauptstege in Prozent über der normierten Tragwerkslängsrichtung aufgetragen.

Bei der Auswertung der Lastfälle für den Schwerlastwagen (Lastfall C und E) erfolgte der graphische Auftrag entspre-

chend den statischen Erfordernissen für eine in Brückenlängsrichtung wandernde Lastgruppe. Die Kurven setzen sich so aus mehreren Einzellastfällen zusammen. Aber nur diese Betrachtung ist für die Untersuchung der Lastanteile interessant, da jeweils die ungünstigste Querverteilung direkt unter der Laststellung zu finden ist und sich auch hier im Feldbereich und Stützbereich die extremalen Schnittgrößen ergeben.

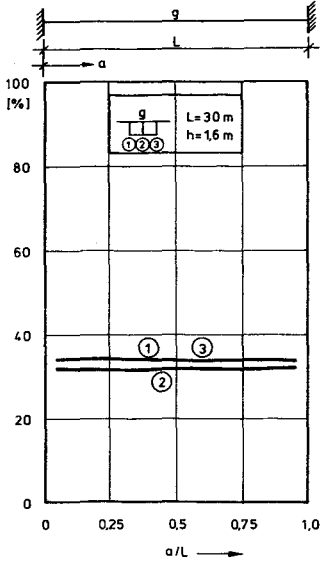
Diese gewählte Form der Darstellung zeigt den Einfluß der Laststellung und der Biegeschlankheit der Hauptstege auf die Querverteilungen besonders deutlich. Weiterhin wird folgendes festgestellt:

- Im Lastfall Eigengewicht - A - ergibt sich - wie zu erwarten - ein in Tragwerkslängsrichtung konstanter Lastabtrag.
- Für die Verkehrslastfälle - B - bis - E - ist die Lastverteilung im Querschnitt wesentlich ungünstiger als bei Ansatz gleicher Mitwirkung aller Stege.
- In diesen Lastfällen verändert sich der Lastabtrag in Brückenlängsrichtung erheblich. Die größten Veränderungen der Querverteilungen treten in den Bereichen 0.00 L bis 0.30 L und 0.70 L bis 1.00 L auf.
- Die Veränderung der Querverteilungen in o. g. Bereichen ist unter wandernden Lastgruppen (Lastfall C und E) bei schlanken Tragwerken größer als bei biegesteiferen Konstruktionen.
- Der Lastabtrag in Querrichtung ist um so geringer, je größer die Steghöhe im Verhältnis zur Stützweite wird und somit die Steifigkeit der Längstragglieder gegenüber der Steifigkeit der Quertragglieder zunimmt.
- Die Aussagen zu den Verkehrslastfällen gelten sowohl für symmetrisch wie unsymmetrisch zur Tragwerkslängsachse angreifenden Lasten.
- Bei exzentrisch angreifenden Linien- oder Einzellasten beteiligen sich im belasteten Querschnitt bei Biegeschlank-

heiten von  $h/L = 1/10$  bis  $1/20$  lediglich z w e i Stege am Lastabtrag. Der lastfernste dritte Steg erhält nur sehr geringe Lastanteile. Bei schlankeren Tragwerken mit Schlankheiten von  $h/L = 1/20$  bis  $1/35$  beteiligt sich der lastfernste Steg bis maximal ca. 20 % am Lastabtrag.

### 5.2.1 Graphische Darstellung der ermittelten Querverteilungen

Querverteilung für Lastfall - (A) Eigengewicht



Querverteilung für Lastfall - (A) Eigengewicht

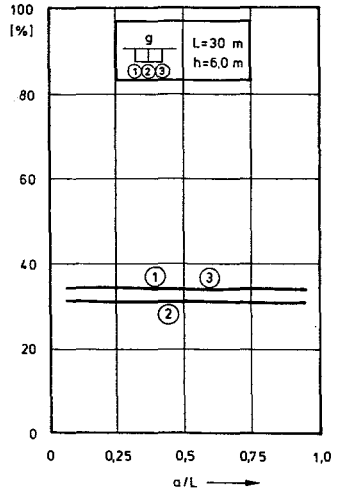
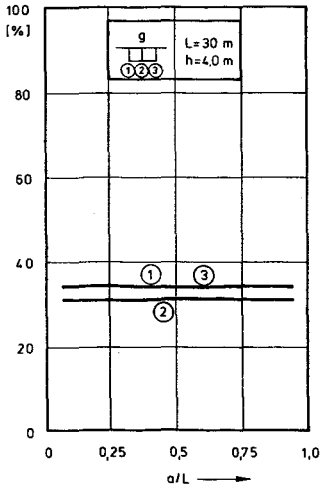
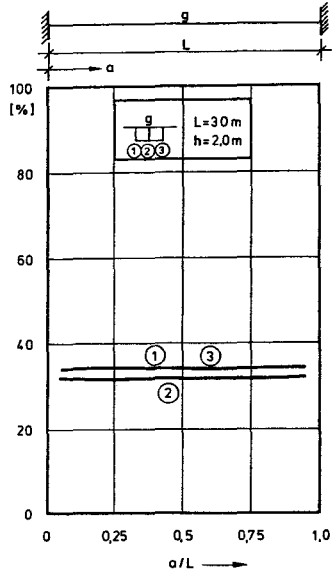
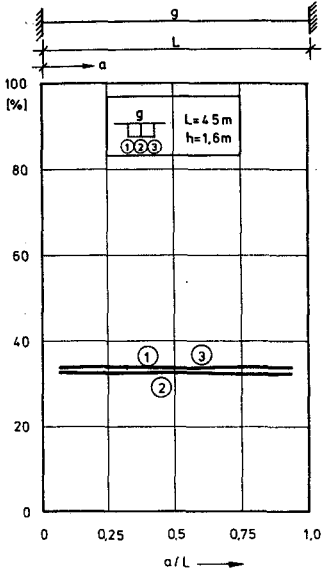


Bild 5.3 Lastanteile pro Steg für Lastfall - A - Eigengewicht;  $L = 30\text{ m}$ ;  $h = \text{variabel}$

Querverteilung für Lastfall - (A) Eigengewicht



Querverteilung für Lastfall - (A) Eigengewicht

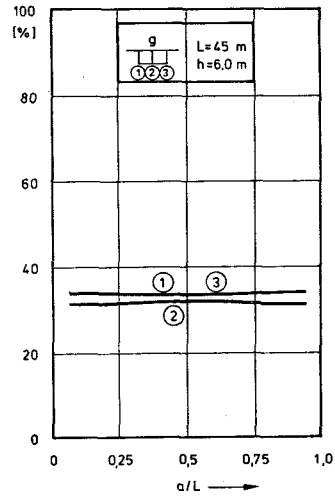
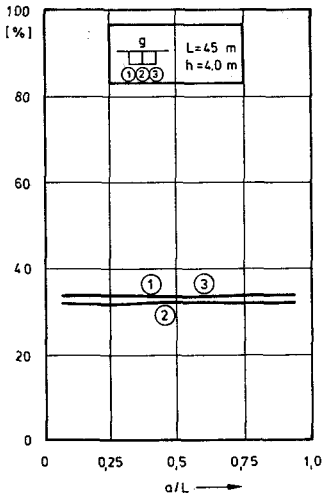
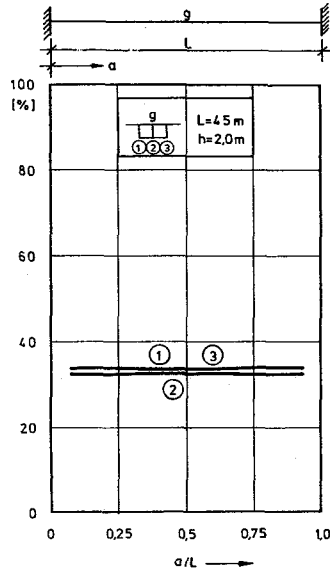
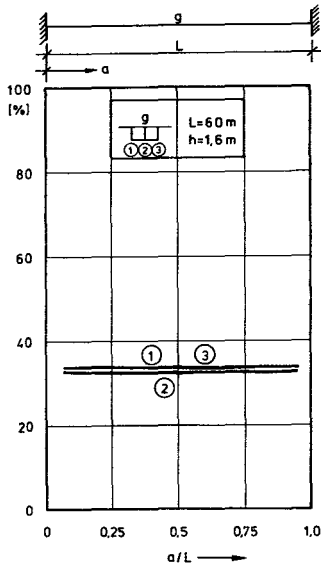


Bild 5.4 Lastanteile pro Steg für Lastfall - A -  
Eigengewicht;  $L = 45\text{ m}$ ;  $h = \text{variabel}$

Querverteilung für Lastfall - (A) Eigengewicht



Querverteilung für Lastfall - (A) Eigengewicht

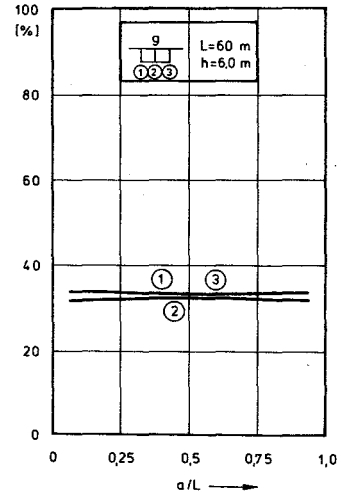
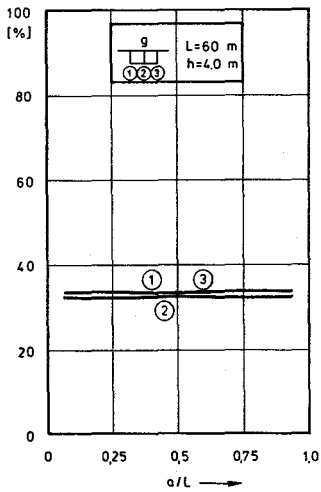
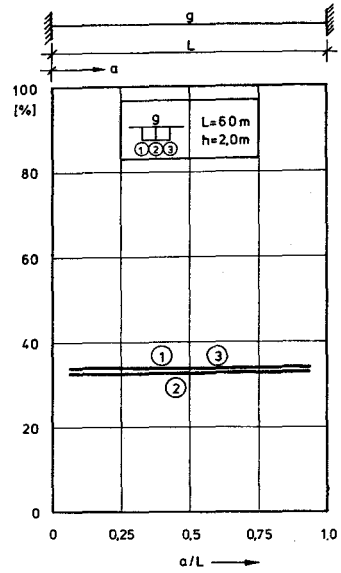


Bild 5.5 Lastanteile pro Steg für Lastfall - A - Eigengewicht;  $L = 60\text{ m}$ ;  $h = \text{variabel}$

Querverteilung für Lastfall - (B) Linienlast - Randsteg

Querverteilung für Lastfall - (B) Linienlast - Randsteg

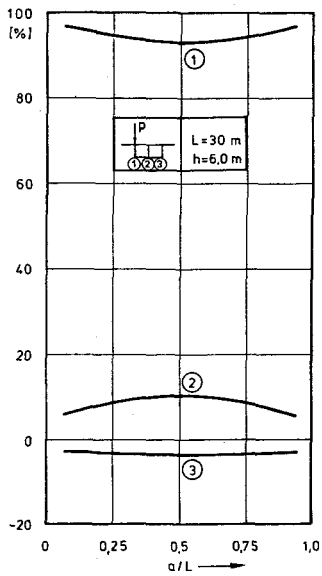
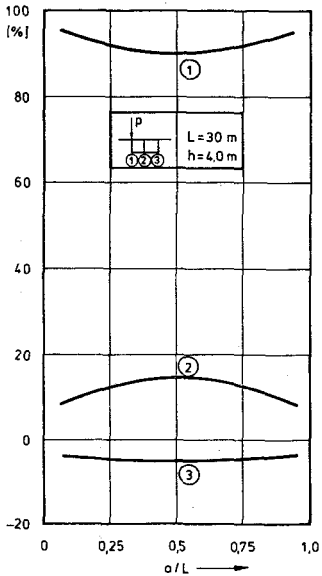
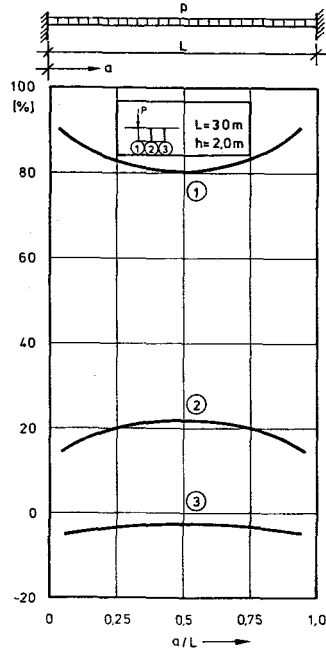
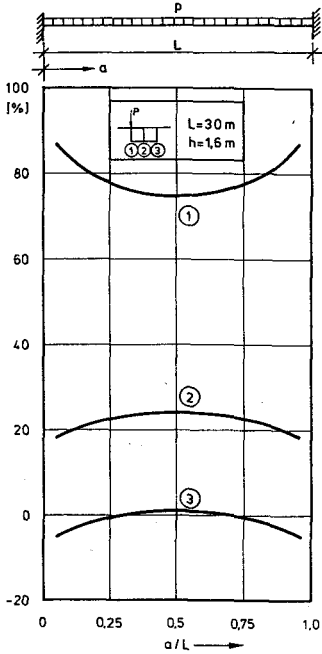
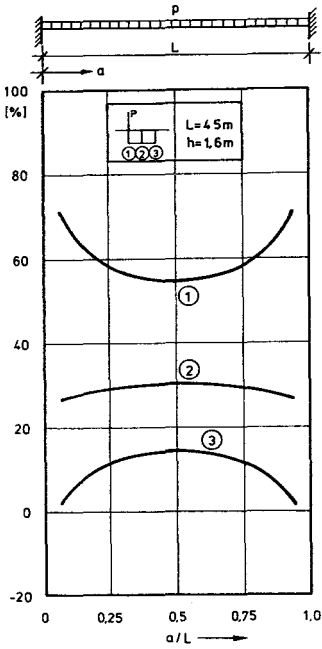


Bild 5.6 Lastanteile pro Steg für Lastfall - B -  
Linienlast auf dem Randsteg;  $L = 30\text{ m}$ ;  $h = \text{var.}$



Querverteilung für Lastfall - (B) Linienlast - Randsteg



Querverteilung für Lastfall - (B) Linienlast - Randsteg

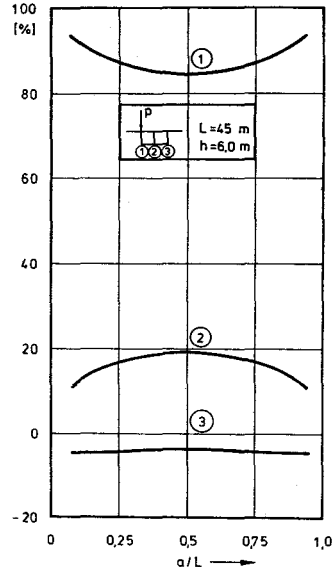
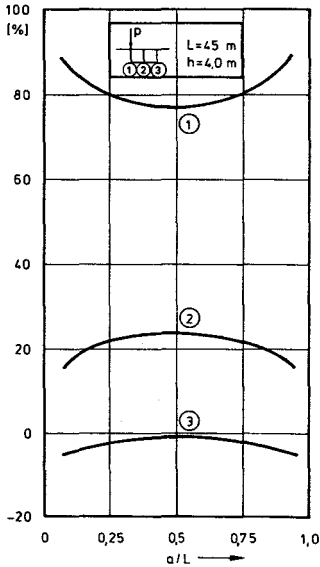
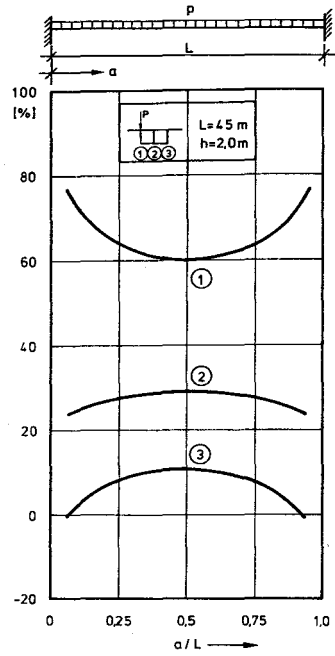


Bild 5.7 Lastanteile pro Steg für Lastfall - B -  
Linienlast auf dem Randsteg;  $L = 45 \text{ m}$ ;  $h = \text{var.}$

Querverteilung für Lastfall - (B) Linienlast - Randsteg

Querverteilung für Lastfall - (B) Linienlast - Randsteg

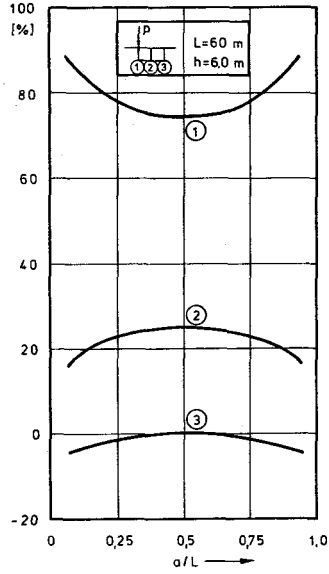
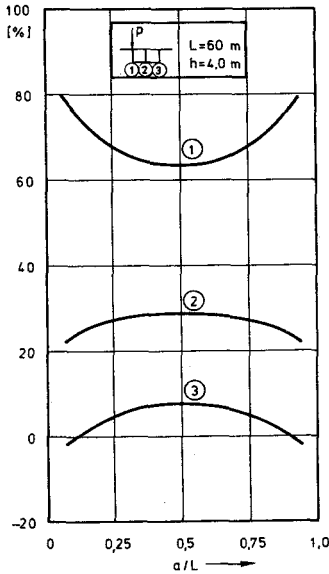
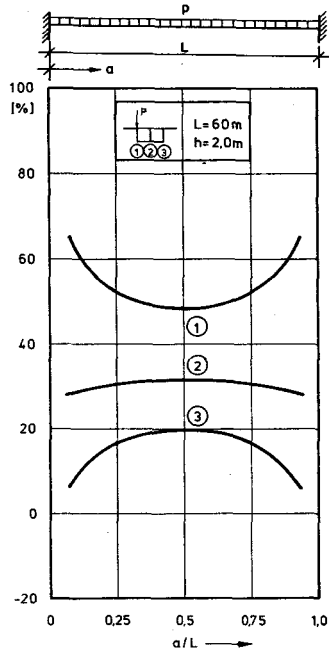
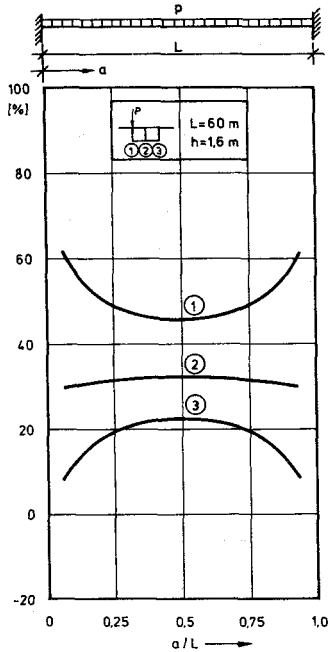
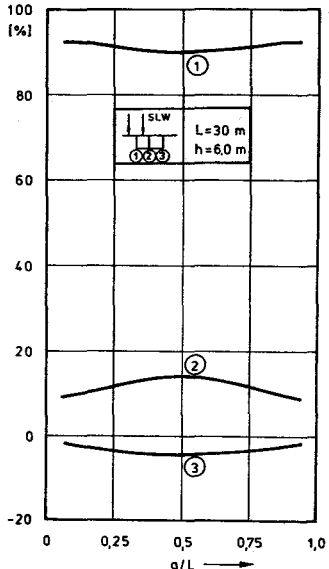
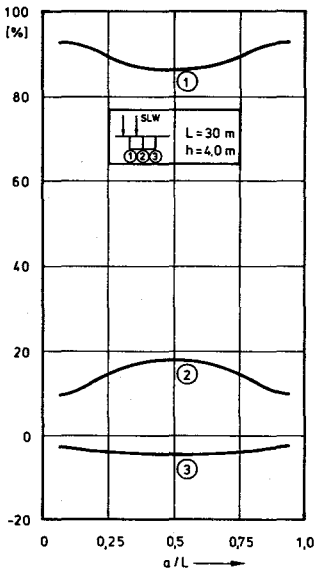
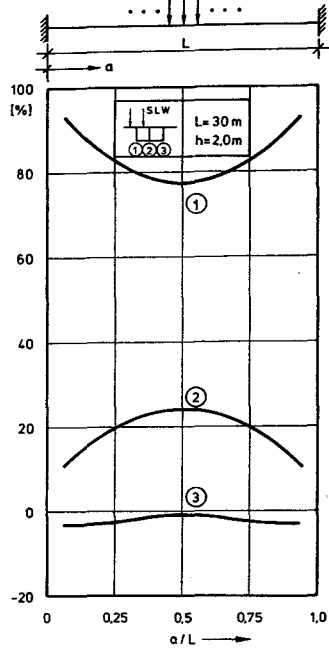
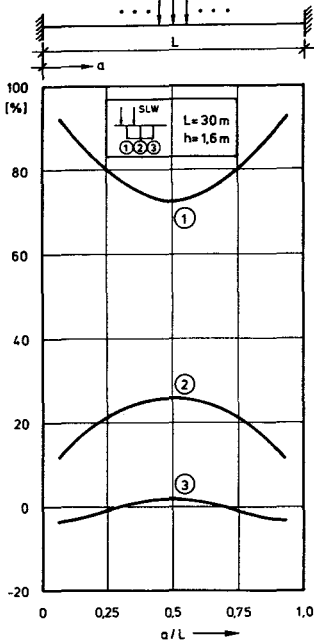


Bild 5.8 Lastanteile pro Steg für Lastfall - B -  
Linienlast auf dem Randsteg;  $L = 60\text{ m}$ ;  $h = \text{var.}$

Querverteilung für Lastfall - (C) SLW - Randsteg

Querverteilung für Lastfall - (C) SLW - Randsteg



Bibl. d. TU.  
Braunschweig

Bild 5.9 Lastanteile pro Steg für Lastfall - C -  
SLW auf dem Randsteg;  $L = 30\text{ m}$ ;  $h = \text{variabel}$

Querverteilung für Lastfall - C - SLW - Randsteg

Querverteilung für Lastfall - C - SLW - Randsteg

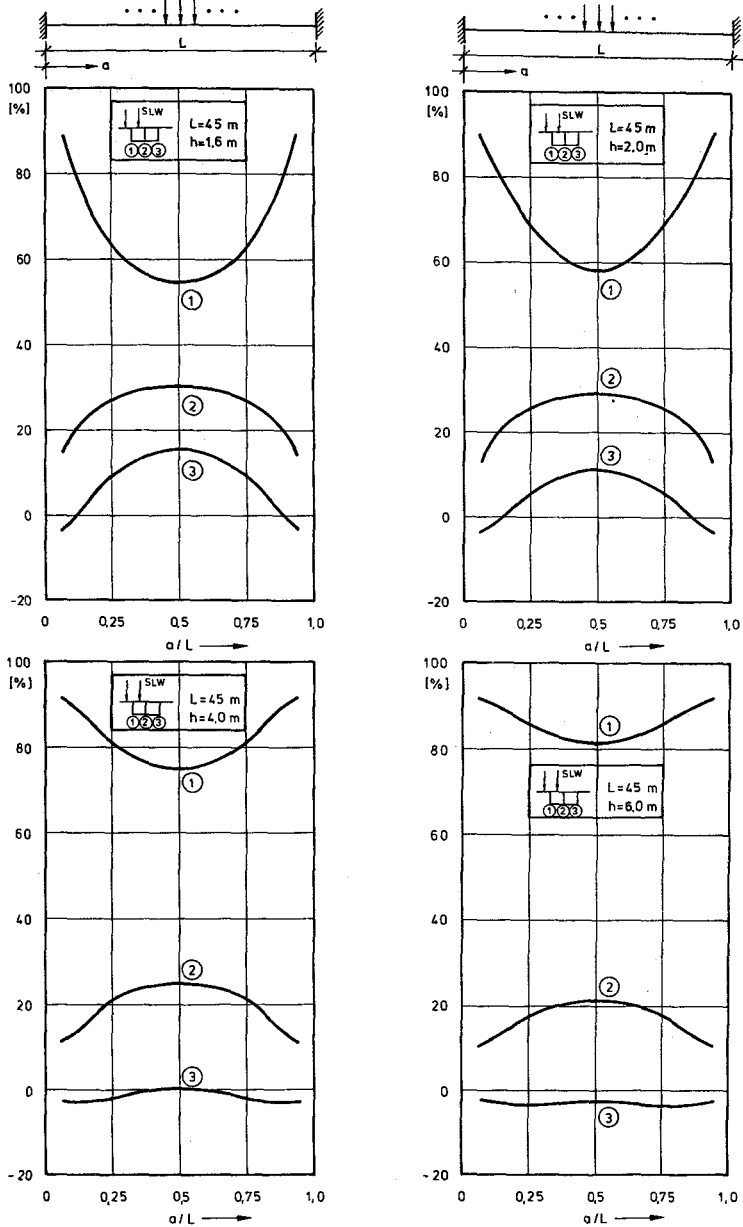
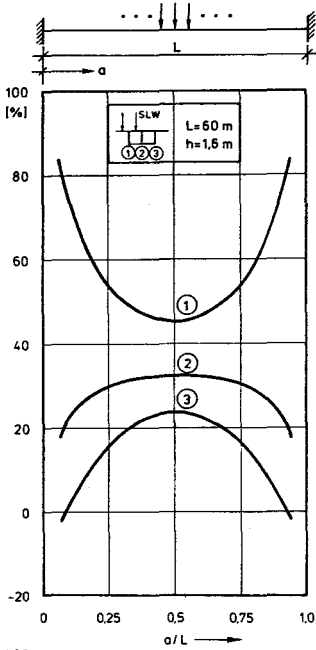


Bild 5.10 Lastanteile pro Steg für Lastfall - C - SLW auf dem Randsteg;  $L = 45 \text{ m}$ ;  $h = \text{variabel}$

Querverteilung für Lastfall - (C) SLW - Randsteg



Querverteilung für Lastfall - (C) SLW - Randsteg

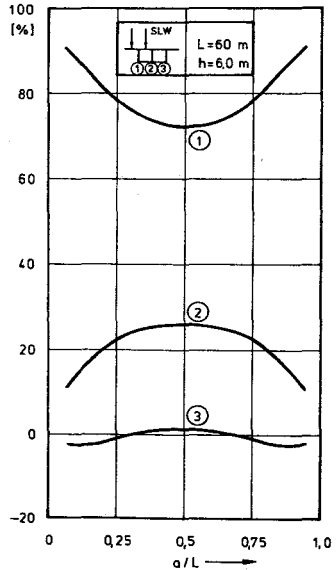
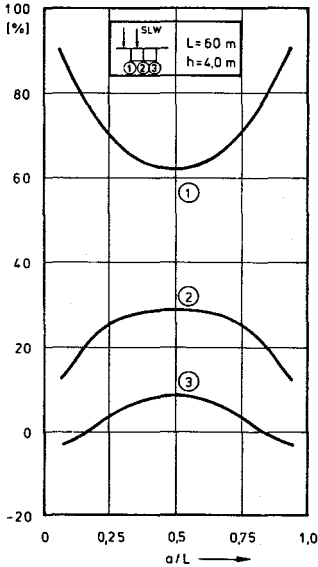
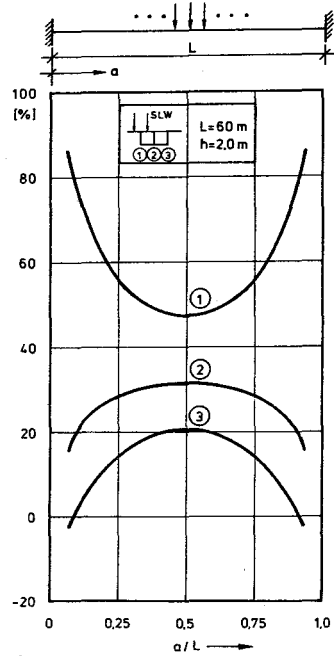
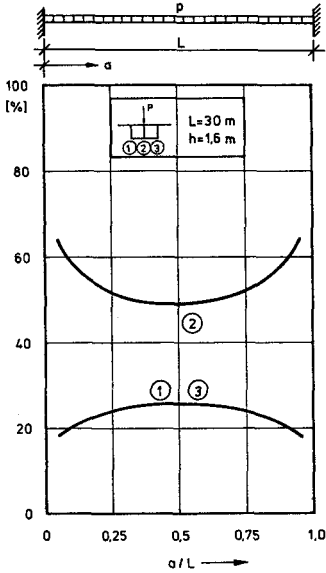


Bild 5.11 Lastanteile pro Steg für Lastfall - C -  
SLW auf dem Randsteg;  $L = 60\text{ m}$ ;  $h = \text{variabel}$

Querverteilung für Lastfall - D Linienlast - Mittelsteg



Querverteilung für Lastfall - D Linienlast - Mittelsteg

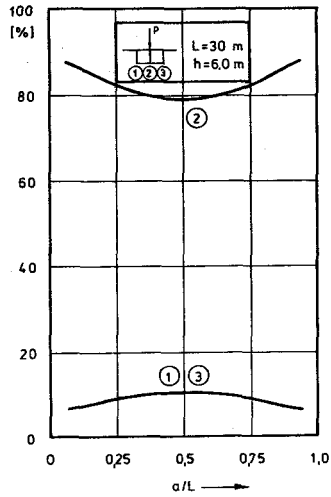
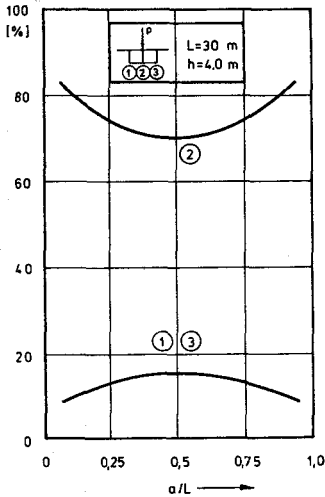
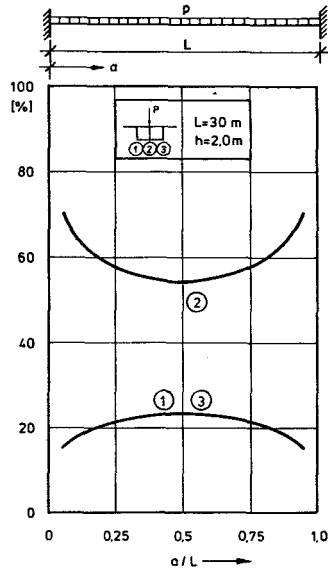


Bild 5.12 Lastanteile pro Steg für Lastfall - D -  
Linienlast auf dem Mittelsteg;  $L=30\text{ m}$ ;  $h = \text{var.}$

Quervertelung für Lastfall – (D) Linienlast – Mittelsteg

Quervertelung für Lastfall – (D) Linienlast – Mittelsteg

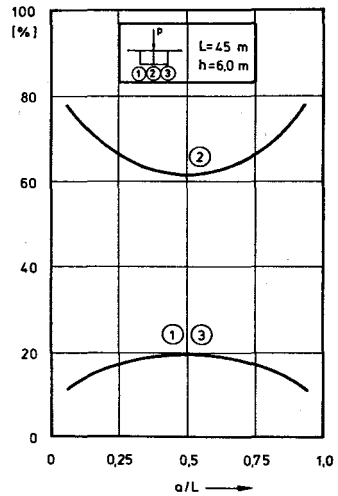
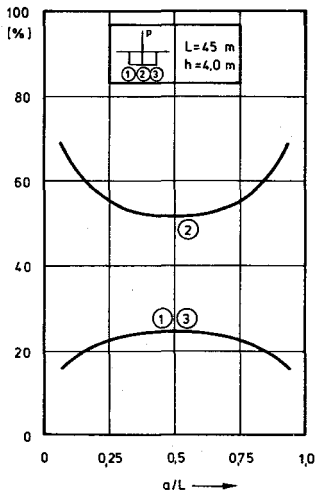
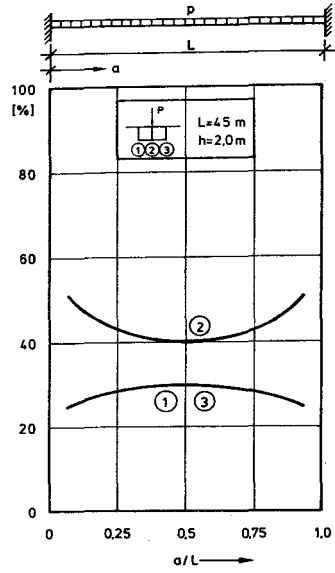
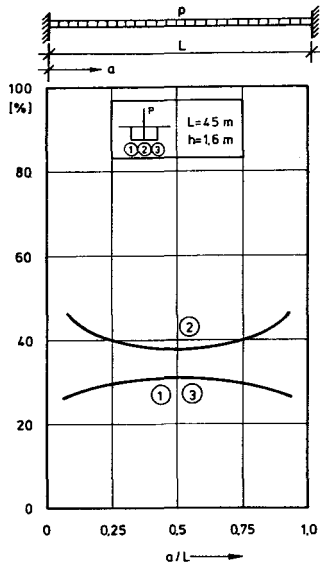


Bild 5.13 Lastanteile pro Steg für Lastfall - D -  
Linienlast auf dem Mittelsteg;  $L = 45\text{ m}$ ;  $h = \text{var.}$

Querverteilung für Lastfall - (D) Linienlast - Mittelsteg

Querverteilung für Lastfall - (D) Linienlast - Mittelsteg

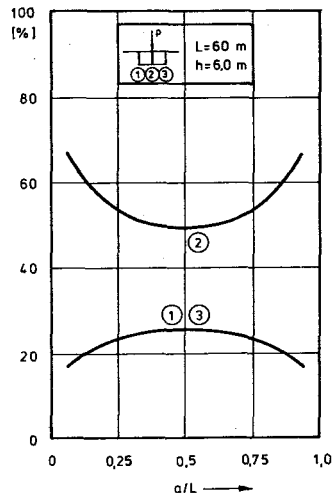
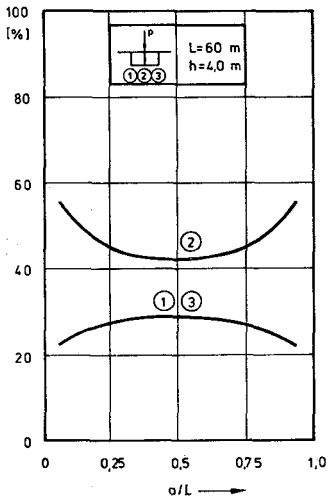
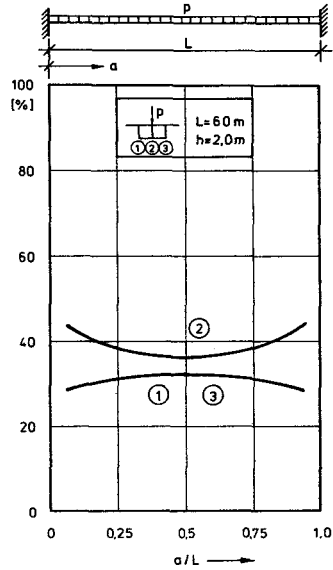
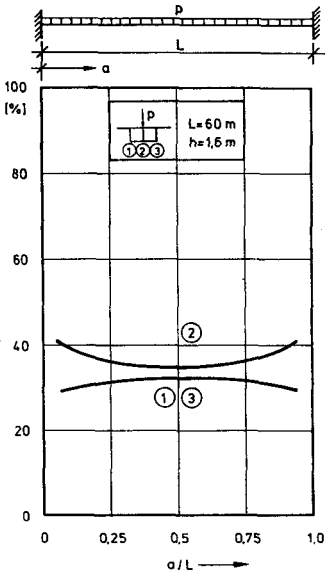
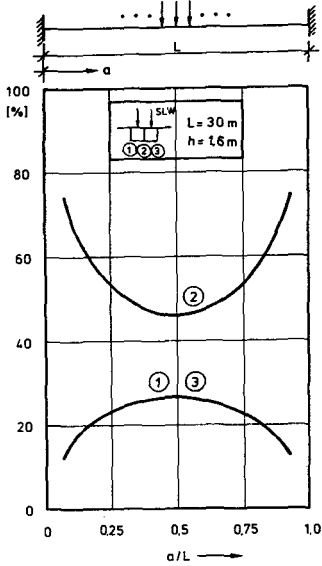


Bild 5.14 Lastanteile pro Steg für Lastfall - D -  
Linienlast auf dem Mittelsteg;  $L = 60\text{ m}$ ;  $h = \text{var.}$



Querverteilung für Lastfall – (E) SLW-Mittelsteg



Querverteilung für Lastfall – (E) SLW-Mittelsteg

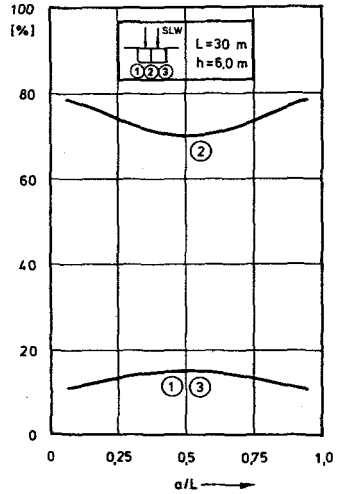
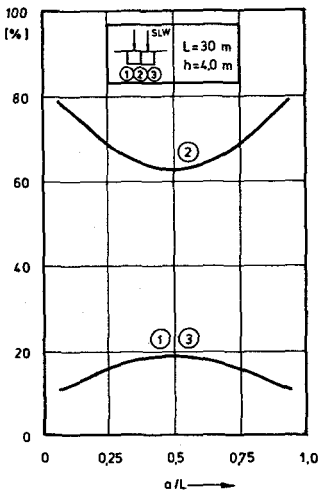
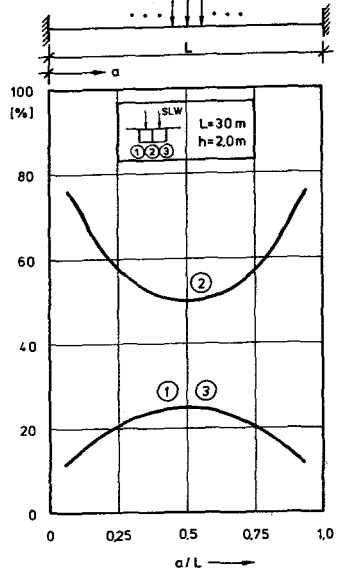
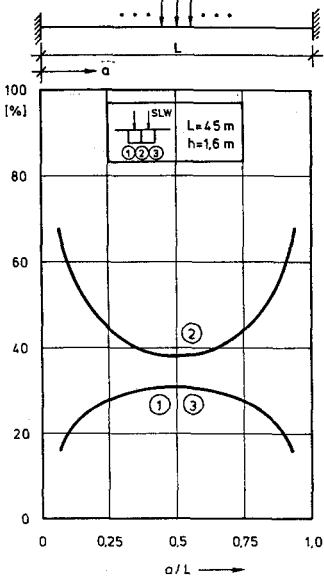


Bild 5.15 Lastanteile pro Steg für Lastfall - E - SLW auf dem Mittelsteg;  $L = 30\text{ m}$ ;  $h = \text{var.}$

Querverteilung für Lastfall - E - SLW-Mittelsteg



Querverteilung für Lastfall - E - SLW-Mittelsteg

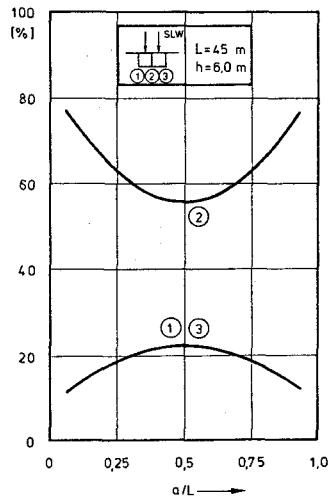
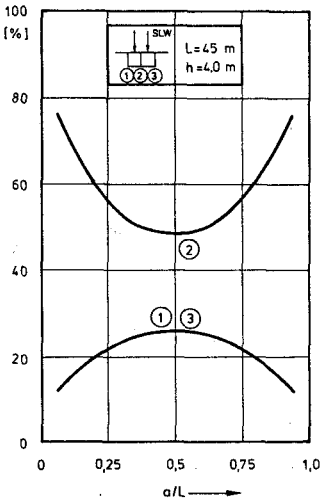
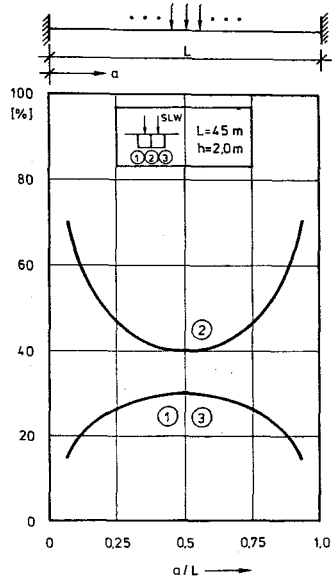
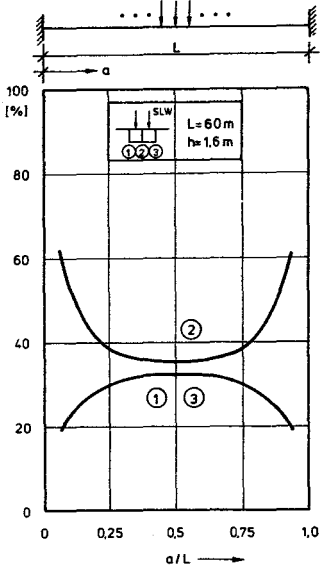


Bild 5.16 Lastanteile pro Steg für Lastfall - E - SLW auf dem Mittelsteg;  $L = 45 \text{ m}$ ;  $h = \text{var.}$

Querverteilung für Lastfall - (E) SLW- Mittelsteg



Querverteilung für Lastfall - (E) SLW- Mittelsteg

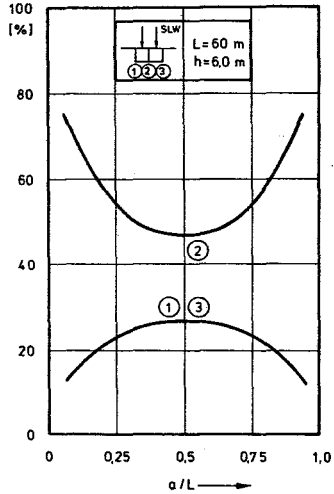
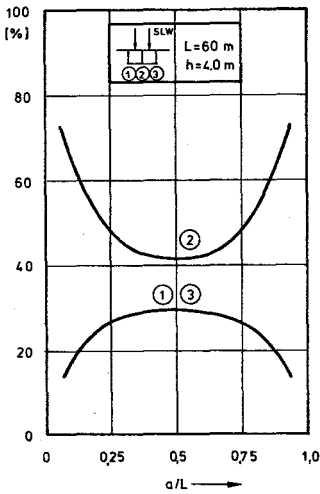
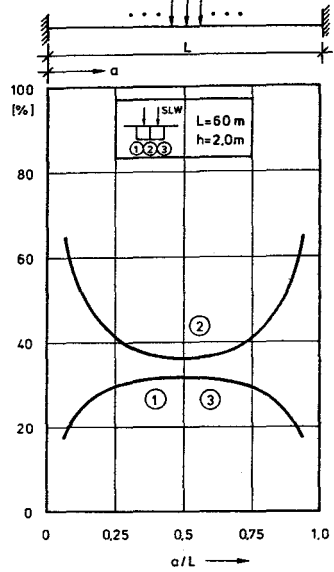


Bild 5.17 Lastanteile pro Steg für Lastfall - E -  
SLW auf dem Mittelsteg;  $L = 60 \text{ m}$ ;  $h = \text{var.}$

### 5.3 Ausgewählte Ergebnisse aus jedem Einheitslastfall

Um die Tendenzen im qualitativen und quantitativen Verlauf des Lastabtrags für die unterschiedlichen Belastungen deutlicher herauszuheben, werden in diesem Abschnitt die in Kapitel 5.2 ermittelten Querverteilungen für jeden Lastfall an ausgewählten Querschnitten in Säulendiagrammen dargestellt. Die Lastanteile werden pro Bild für 0.2 L und 0.5 L der Stützweite aufgetragen. Der unterschiedliche Lastabtrag in Brückenlängsrichtung für die einzelnen Lastfälle läßt sich hieraus gut erkennen. Die Stützweite wurde mit  $L = 45 \text{ m}$  für alle Bilder gleich gewählt.

In Bild 5.18 angegebene Lastanteile für den Lastfall Eigengewicht lassen erkennen, daß es sich um einen "ausgewogenen" Brückenquerschnitt handelt. Die Lasten werden konstant zu ungefähr einem Drittel von jedem Steg über die gesamte Brückenlänge abgetragen. Die etwas größeren Lastanteile auf den Randstegen ergeben sich aus den im Verhältnis zum Stegabstand relativ langen Kragarmen bei kleinerem Trägheitsmoment der Randstege gegenüber dem Mittelsteg. Dieses Verhältnis kehrt sich um, wenn die Kragarme sehr kurz werden und der größte Anteil der Querschnittsfläche dem Mittelsteg zuzuordnen ist.

Bei Anordnung einer Linienlast auf dem Randsteg (Bild 5.19) zeichnet sich bereits deutlich der in Tragwerkslängsrichtung veränderliche Lastabtrag ab. Die vertikalen Durchbiegungen werden in der Nähe der Auflager geringer, so daß die zum Querabtrag von unausgesteiften Kastenträgern erforderliche Querverformung des Kastens, neben der Torsionssteifigkeit, klein ist. Die Lasten der direkt belasteten Stege werden auf kürzestem Wege zum Auflager übertragen.

Noch ausgeprägter wird dieses Tragverhalten bei wandernden Einzellasten infolge Schwerlastwagen (Bild 5.20). In einem Querschnitt mit einer Biegeschlankheit von  $L/h = 45.00/2.00 = 22.5$  beträgt der Lastanteil an der Stelle 0.2 L vom Auflager 73 % und wächst mit zunehmender Biegesteifigkeit der Stege ( $L/h = 45.00/2.00 = 11.25$ ) auf 84 %. In Brückenlängsrichtung

ist bei schlanken Tragwerken die Abnahme der Querverteilung in Richtung Auflagerung wesentlich stärker, da infolge der großen Durchbiegungen in Feldmitte andere Tragwerksteile mehr zum Mittragen herangezogen werden. Bei einem Kastenträger mit mäßiger Schlankheit ist die Änderung des Lastabtrags entlang der Trägerachse nicht so extrem, da infolge großer Biegesteifigkeit des belasteten Stegs die Durchbiegungen geringer sind und die zur Lastübertragung erforderlichen Querbiegemomente infolge Profilverformung entsprechend geringer ausfallen. Bei Tragwerken mit mäßiger Schlankheit und baupraktisch üblichen Konstruktionselementdicken ist demzufolge die Querverteilung grundsätzlich geringer als bei schlanken Konstruktionen.

Die vorangegangenen Ausführungen zu den Linien- und Einzella-  
sten auf dem Randsteg lassen sich prinzipiell auf Belastungen  
des Mittelstegs übertragen (Bild 5.21 und 5.22). Lediglich  
die Torsionsbeanspruchung des Querschnitts aus exzentrischer  
Beanspruchung entfällt, und der absolute Betrag der Querver-  
teilung der Lasten ist wegen des beidseitigen Lastabtrages  
wesentlich günstiger. Es wurde jedoch für symmetrisch auftre-  
tende Verkehrslasten bei keiner der untersuchten Geometrien  
ein gleichmäßiger Lastabtrag über alle Stege ermittelt.

Ort:  $a = 0,2 \cdot L$

Ort:  $a = 0,5 \cdot L$

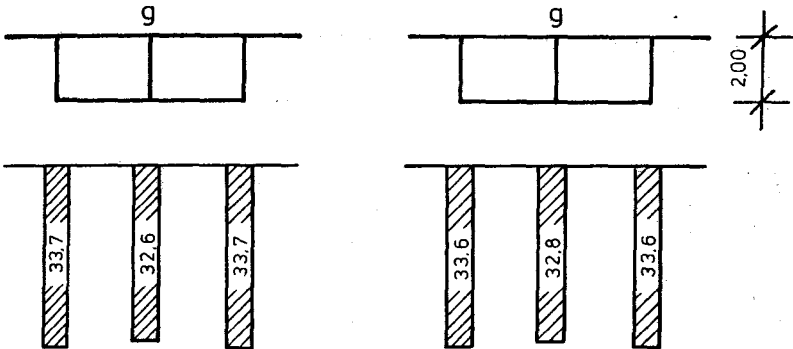


Bild 5.18 Querverteilung für den Lastfall - A - Eigengewicht an diskreten Orten in Trägerlängsrichtung;  $L = 45.00$  m;  $h = 2.00$  m

Ort:  $a = 0,2 \cdot L$

Ort:  $a = 0,5 \cdot L$

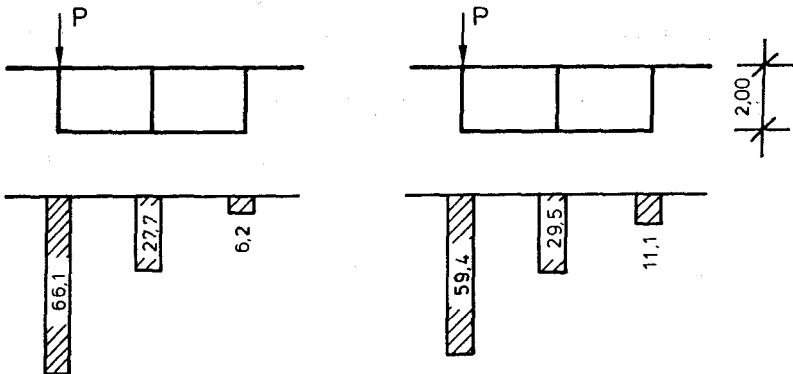


Bild 5.19 Querverteilung für den Lastfall - B - Linienlast auf dem Randsteg an diskreten Orten in Trägerlängsrichtung;  $L = 45.00$  m;  $h = 2.00$  m

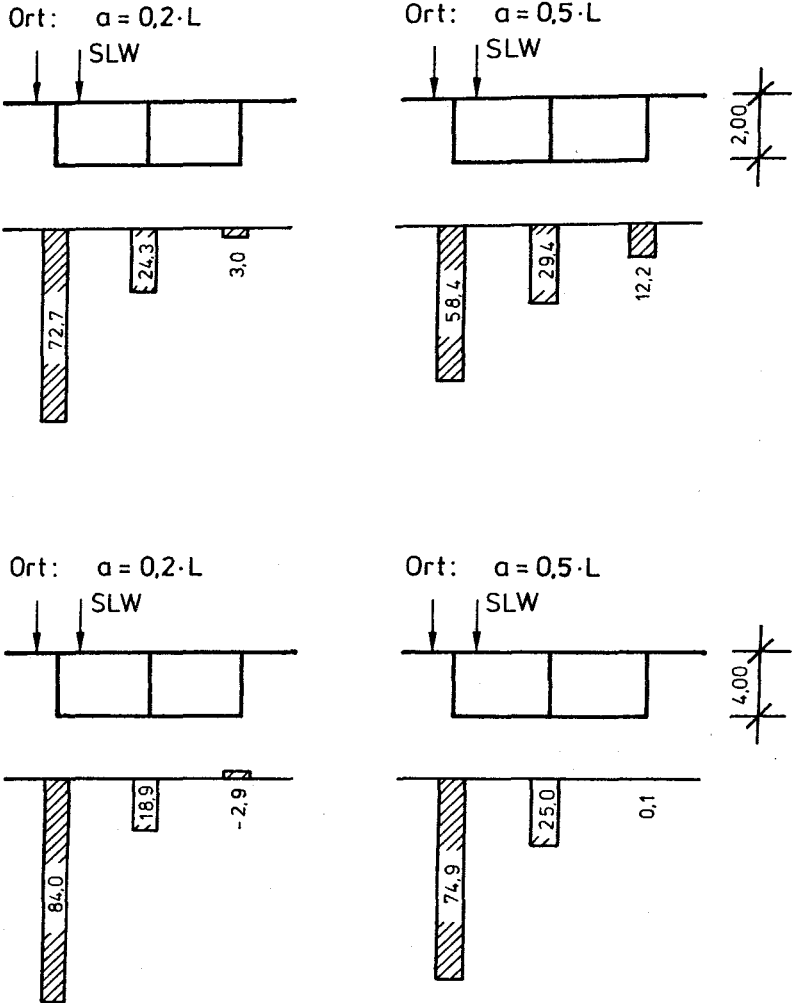


Bild 5.20 Querverteilung für den Lastfall - C - SLW auf dem Randsteg an diskreten Orten in Trägerlängsrichtung;  $L = 45.00$  m;  $h = 2.00$  m bzw.  $4.00$  m

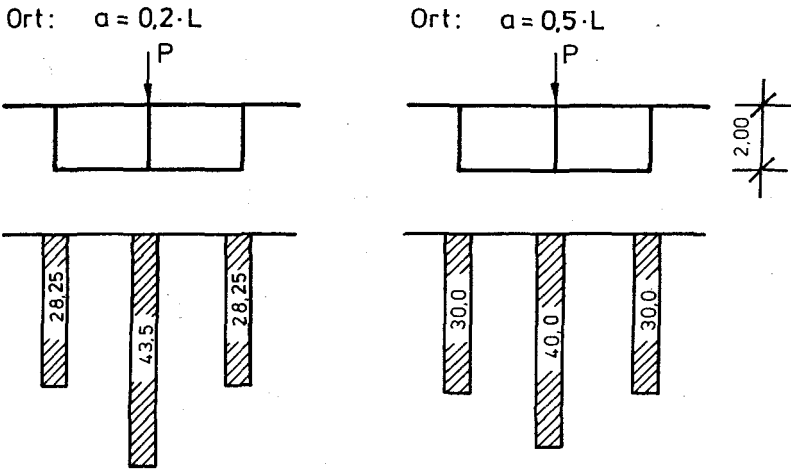


Bild 5.21 Querverteilung für den Lastfall - D - Linienlast auf dem Mittelsteg an diskreten Orten in Trägerlängsrichtung;  $L = 45,00$  m;  $h = 2,00$  m



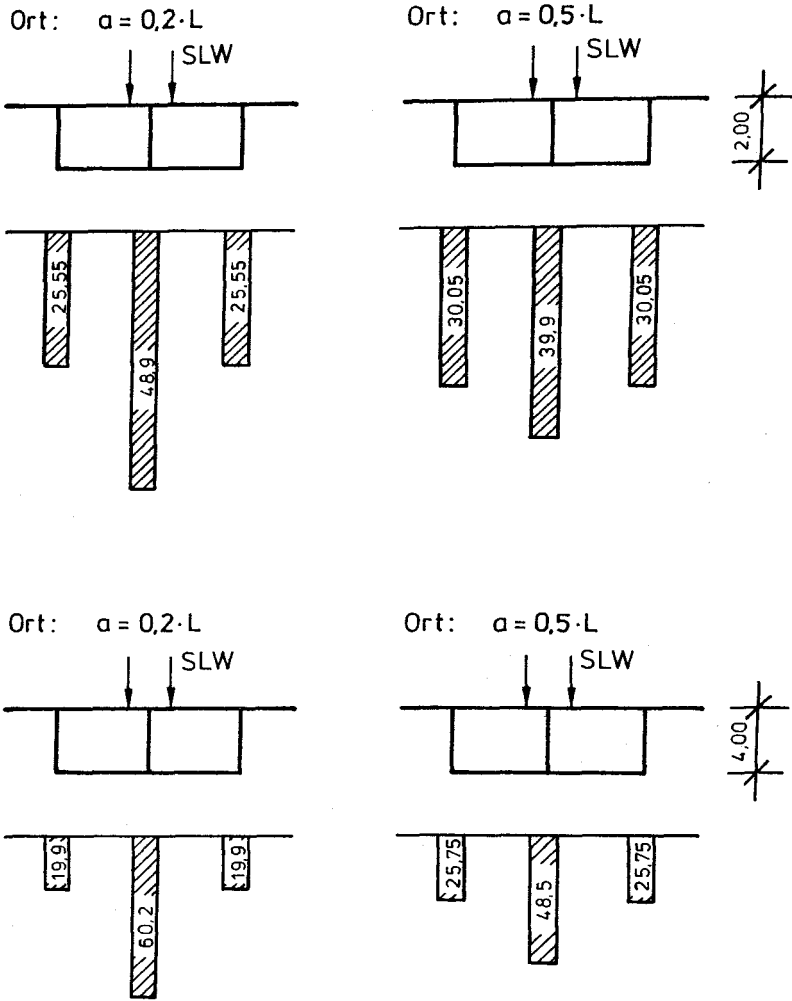


Bild 5.22 Querverteilung für den Lastfall - E - SLW auf dem Mittelsteg an diskreten Orten in Trägerlängsrichtung;  $L = 45.00$  m;  $h = 2.00$  m bzw.  $4.00$  m

#### 5.4 Verformungen

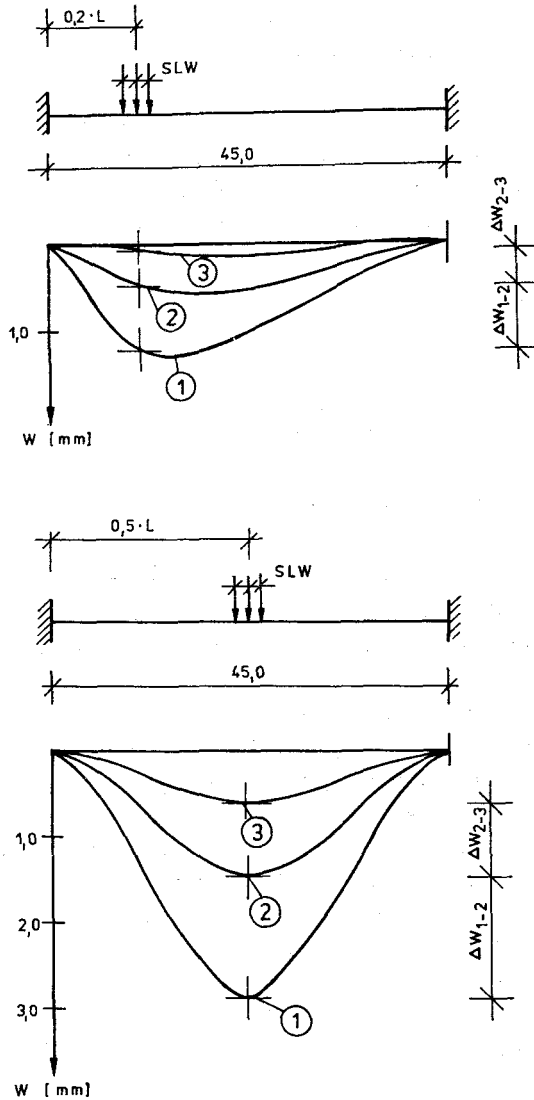
Weitere Aussagen zum Tragverhalten von zweizelligen Kasten-trägern lassen sich durch die Gegenüberstellung der vertikalen Verformungen der einzelnen Stege in Brückenlängsrichtung erzielen. Die unterschiedlichen Durchbiegungen der Stege setzen sich beim zweizelligen Hohlkastenquerschnitt aus zwei symmetrischen und zwei antimetrischen Anteil zusammen:

- Längsbiegung,
- Querbiegung,
- Verdrehung infolge Torsion,
- Durchbiegung aus Profilverformung.

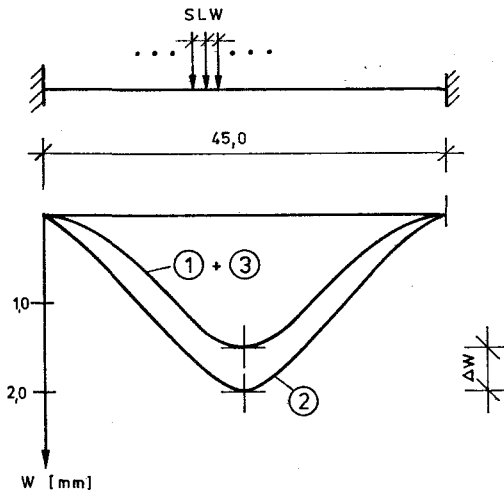
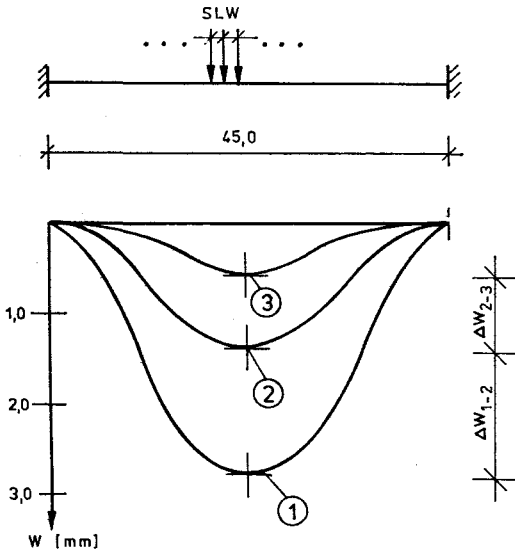
Der Verlauf der vertikalen Durchbiegungen in Brückenlängsrichtung ist für den Lastfall SLW auf dem Standardquerschnitt in den Bildern 5.23 und 5.24 zeichnerisch dargestellt.

In Bild 5.23 ist zu erkennen, daß neben dem Einfluß der Längsbiegung (Steg 2) die Profilverformung einen erheblichen Einfluß auf die Durchbiegungen hat. Bei einem Stab, der die Lasten nur über den Bredt'schen Torsionsschubfluß abträgt, müßten die Durchbiegungsdifferenzen zwischen den Außenstegen 1 und 3 sowie dem Mittelsteg 2 gleich sein, da dann nur eine Verdrehung des Querschnittes um den Schubmittelpunkt, der beim symmetrischen Querschnitt auf dem Mittelsteg liegt, stattfinden könnte.

Unten in Bild 5.24 ist für den auf dem Mittelsteg belasteten zweizelligen Hohlkasten eine Durchbiegungsdifferenz zwischen Außen- und Innenstegen zu erkennen. Dieser Wert müßte bei einem gleichmäßigen Lastabtrag über alle Stege gegen Null gehen.



**Bild 5.23** Durchbiegungen der Hauptträger unter statischen Einzellasten auf dem Randsteg für unterschiedliche Laststellungen in Tragwerkslängsrichtung;  $L = 45,00$  m;  $h = 2,00$  m



**Bild 5.24** Durchbiegungen der Hauptträger unter wandernden Einzellasten auf dem Rand- und Mittelsteg;  
 $L = 45.00 \text{ m}$ ;  $h = 2.00 \text{ m}$

## 5.5 Sonderuntersuchungen

### 5.5.1 Parameter

Über die in Kapitel 4.4.2 beschriebenen Tastrechnungen hinaus wurden punktuell weitere Einflußparameter betrachtet. Diese Berechnungen dienten teilweise der Ermittlung des erforderlichen diskreten Ersatzsystems für die FE-Berechnungen und der Eliminierung sekundärer Parameter.

Untersuchte Parameter:

- Statisches Grundsystem
- Vouten in den Platten
- Lasttyp
- Elementdicken
- Zustand II
- Kragarmlänge

Die Querverteilungen wurden am Ausgangsquerschnitt (Bild 4.10) für eine Stützweite von  $L = 45$  m über die vertikalen Durchbiegungen, wie in Kapitel 5.2, ermittelt.

In den Bildern geben die linken Säulen unter den Stegen jeweils die Lastanteile des oberen Systems bzw. des linken Parameters an, während die rechten Säulen für das untere System bzw. die rechten Parameter stehen.

Eine Übersicht der Sonderuntersuchungen ist in Tabelle 5.1 wiedergegeben. Die Reihenfolge der beschriebenen Einflußgrößen stellt keine Wertigkeit dar.

Bild Nr.	Einflußparameter	Last- typ	Last- stellung
5.25	Statisches Grundsystem Gelenkige Endauflager/ Endeinspannung	C; E	0.5 L
5.26	Statisches Grundsystem Gelenkige Endauflager/ Endeinspannung	C; E	0.2 L
5.28	Querschnittsgeometrie Konstante Elementdicken/ kleine bzw. große Vouten	C	0.5 L
5.29	Querschnittsgeometrie Konstante Elementdicken/ kleine bzw. große Vouten	E	0.5 L
5.30	Lasttyp SLW-Lasten/ Einzellast	C; E	0.5 L
5.31	Konstruktionselementdicken Konstante Dicke/ größere Steg- bzw. Plattendicken	C	0.5 L
5.32	Steifigkeiten Bodenplatte im Zustand I/ Zustand II	C; E	0.5 L
5.33	Querschnitt Zweizelliger Hohlkasten/ dreistegiger Plattenbalken	C; E	0.5 L
5.34	Querschnitt Zweizelliger Hohlkasten/ dreistegiger Plattenbalken	C; E	0.2 L
5.35	Kragarmlänge $b_k = 3.25 \text{ m}$ $b_k = 0.90 \text{ m}$	A	L

Tab. 5.1 Gesamtübersicht der Sonderuntersuchungen

### 5.5.2 Erkenntnisse

In den Bildern 5.25 und 5.26 ist deutlich der signifikante Unterschied zwischen dem gelenkig gelagerten und beidseitig eingespannten Kastenträger zu erkennen. Die Lastverteilung in Querrichtung wird wegen der Einspannung der Stege und der daraus resultierenden größeren Steifigkeit des Systems in Tragwerkslängsrichtung wesentlich geringer. Der Einfluß der Einspannung auf den Verlauf der Lastverteilung wirkt sich in der Nähe der Auflager (Bild 5.26) noch gravierender aus.

Dieses Ergebnis ist besonders interessant im Hinblick auf Handrechenverfahren zur Ermittlung der Querverteilung von einzelligen Kastenträgern (Kapitel 3) unter unsymmetrischer Belastung, die den Einfluß des statischen Systems auf die Lastverteilung zur Erlangung von einfachen geschlossenen Lösungen teilweise vernachlässigen.

Um ausgenutzte Querschnitte und wirtschaftliche Konstruktionen zu erhalten, werden Fahrbahn- und Bodenplatte von Hohlkastenquerschnitten häufig mit Vouten versehen. Bild 5.27 zeigt die beiden für den zweizelligen Querschnitt baupraktisch üblichen Ausführungen:

- die Voutenlänge beträgt ca. ein Viertel der Stützweite der Fahrbahnplatte, das entspricht ca. einem Achtel der Kastenbreite,
- die Voute verjüngt sich kontinuierlich von der Einspannstelle bis zur Plattenmitte.

Die gewählten SAP-Elemente erlauben nur die Eingabe konstanter Dicken. Zur Erfassung der variablen Querschnittsgeometrie wurden die maximalen Höhen in den Drittelspunkten der Elementlängen errechnet und den idealisierten Querschnitten zugrundegelegt. So ergaben sich abweichend von dem Querschnitt der Parameterstudie in Querrichtung ständig wechselnde Elementhöhen.

In den Bildern 5.28 und 5.29 sind die prozentualen Lastanteile der einzelnen Stege aufgetragen. So liegt der Einfluß kleiner Vouten auf die Querverteilung im Bereich der Rechengenauigkeit und kann deshalb vernachlässigt werden. Bei langgestreckten Vouten tritt eine Verbesserung der Lastverteilung ein, die zu berücksichtigen ist. Diese wird durch die größere Biegesteifigkeit der Platten generell und an den Einspannstellen erzielt.

Der Einfluß des Lasttyps (Bild 5.30) - Eingabe des SLW als eine idealisierte Einzellast - ist auf die Querverteilung mit Werten zwischen ein bis zwei Prozent gering. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß der Unterschied der maximalen Momente zwischen einer Einzellast und drei Einzellasten gleicher Summe im Abstand von 1.50 m zwischen 10 und 15 Prozent liegt. Diese Differenz geht bei der Multiplikation mit einem Lastverteilungsfaktor direkt in die Schnittgrößen bzw. Spannungen ein.

Im Brückenbau geht man in den letzten Jahren von extrem schlanken Tragwerken mit statisch und konstruktiv minimal erforderlichen Elementdicken aus, obwohl hier eine Abstimmung zwischen konstruktiv ausführbaren und wirtschaftlich vertretbaren Lösungen erforderlich ist. Massivere Querschnitte haben mehr Gewicht aus dem Lastfall Eigengewicht zur Folge, was zwangsläufig eine Erhöhung der Vorspannkräfte nach sich zieht. Höhere Vorspannkräfte benötigen einen größeren Spannstahlbedarf, wodurch die Kosten überproportional steigen.

In Bild 5.31, oben, ist der Einfluß der Stegverbreiterung angegeben. Diese vernachlässigbare Auswirkung auf die Lastverteilung wurde nicht erwartet, da die Stegverbreiterung eine Versteifung des Quertragwerks durch Einspannung der Fahrbahnplatte in die Stege bedeutet. Die einseitige Erhöhung der Biegesteifigkeit der Rahmenecke wirkte sich nur gering auf den Einspannungsgrad aus. Erst die zusätzliche Erhöhung der Fahrbahnplatte von  $t_o = 30$  cm auf  $t_o = 40$  cm und der Bodenplatte von  $t_u = 18$  cm auf  $t_u = 30$  cm (Bild 5.31, unten) hatte



eine Versteifung des Querrahmens zur Folge, die sich deutlich günstiger auf die Lastverteilung auswirkte.

Durch Variation der Biegesteifigkeiten der Fahrbahn- und Bodenplatten in Brückenquerrichtung läßt sich der Lastabtrag beeinflussen. Aus wirtschaftlichen Gründen sind der Wahl der Plattendicken aus o. g. Gründen sehr enge Grenzen gesetzt, so daß die hier gezeigte Tendenz ein ausreichender Hinweis für weitere Überlegungen an Brückenüberbauten ist, deren Plattendicken von den in dieser Parameterstudie untersuchten Konstruktionen abweichen.

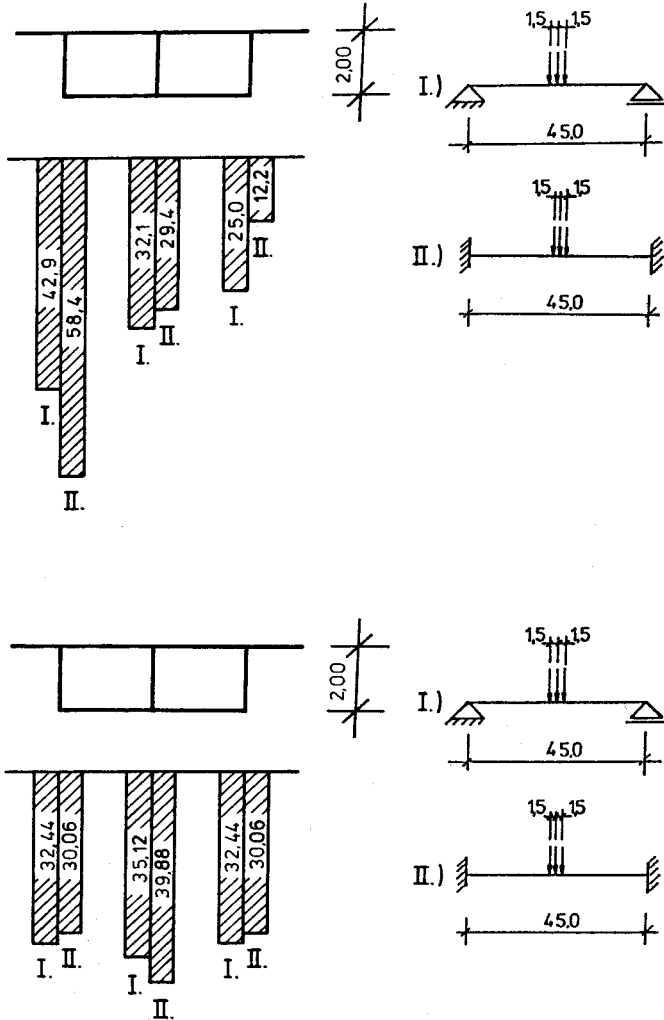
Bei den Probelastungen von Brückenbauwerken zur Überprüfung des Lastabtrags im Bereich gerissener Koppelfugen /39/ - /41/ wurde vermutet, daß die von den rechnerischen Ansätzen abweichende Querverteilung wesentlich durch den Übergang des Querschnitts in den Zustand II verursacht wurde. Durch Nullsetzen der Biegesteifigkeit ( $EI = 0$ ) der Bodenplatte des Kastenträgers wurde eine auf ganzer Tragwerkslänge gerissene Bodenplatte simuliert. Die untere Kastenplatte wirkt so zwischen den Stegen als Zugband und als schubsteife Scheibe zur Verformungsbehinderung der Stege. Das Quertragwerk entspricht durch Steifigkeitsänderungen einem dreistegigen Plattenbalken, dessen Hauptträger zur Erhöhung der Steifigkeit am unteren Ende der Stege miteinander verbunden wurden. Die Lastverteilung erfolgt somit wie beim Plattenbalken im wesentlichen über die Biegesteifigkeit der Fahrbahnplatte und die Torsionssteifigkeit der Hauptträger. Zu erkennen ist in Bild 5.32, daß zwar eine Verschlechterung der Lastverteilung eintrat, jedoch der prozentuale Anteil jedoch gering bleibt.

Läßt man die Bodenplatte ganz fort, erhält man den dreistegigen Plattenbalken als Querschnittsform (Bild 5.33 und 5.34). Die Lastverteilung in Feldmitte entspricht dem zweizelligen Hohlkasten mit gerissener Bodenplatte. Das Quertragverhalten des nicht durch Feldquerträger ausgesteiften Kastenträgers im Massivbrückenbau mit wirtschaftlich vertretbaren Bauteildicken ist für Verkehrslasten mit einem Plattenbalkenrost vergleichbar. Diese Aussage bezieht sich auf die Verformungen

der Querschnittswerte relativ zueinander, nicht auf die absoluten Durchbiegungen der Träger. Die Gesamtdurchbiegungen sind beim Kastenträger wesentlich kleiner als beim vergleichbaren Trägerrost.

Der unausgewogene Querschnitt mit kurzen Kragarmen wird in Bild 5.35 behandelt. Der Fehler bei der Querverteilung von ein bis zwei Prozent ist bei den Systemen dieser Arbeit nicht ausschlaggebend. Einfluß gewinnt dieses Problem im Großbrückenbau (Flußbrücken oder Talbrücken mit großer Spannweite), bei denen größte Momentenanteil aus den Eigengewichtslasten resultiert und die Verkehrslasten nur geringe Momentenanteile erzeugen. Diese Brücken sind jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Ort:  $a = 0,5 \cdot L$



**Bild 5.25** Einfluß des statischen Grundsystems auf die prozentualen Lastanteile je Steg  
 Bild oben: SLW auf dem Randsteg bei  $0,5 L$   
 Bild unten: SLW auf dem Mittelsteg bei  $0,5 L$

Ort:  $a = 0,2 \cdot L$

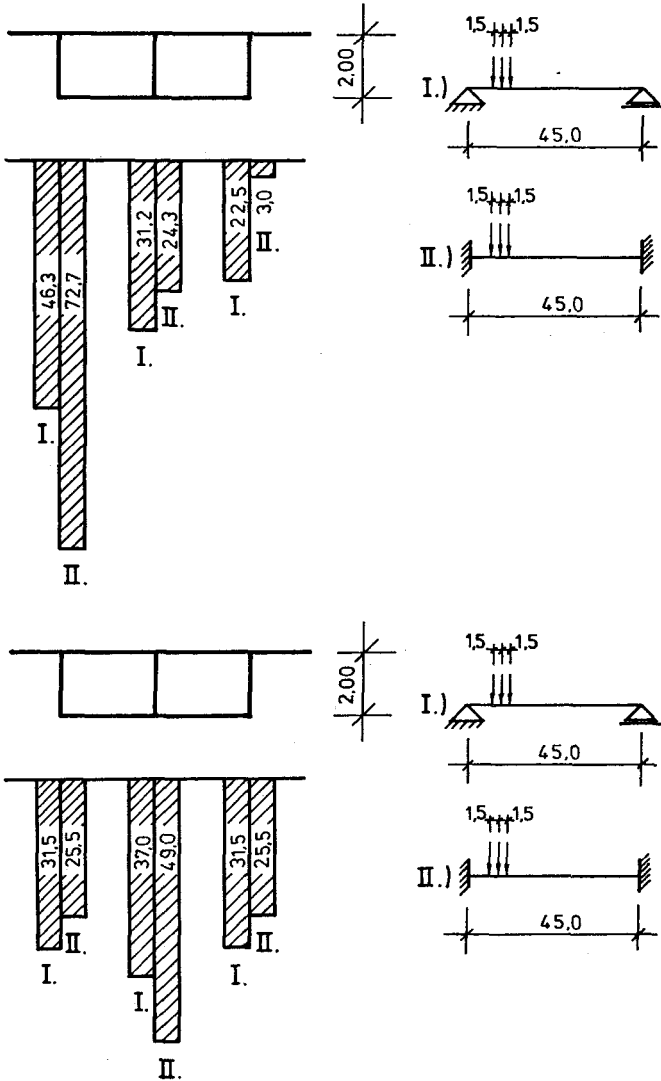


Bild 5.26 Einfluß des statischen Grundsystems auf die prozentualen Lastanteile je Steg  
Bild oben: SLW auf dem Randsteg bei  $0,2 L$   
Bild unten: SLW auf dem Mittelsteg bei  $0,2 L$

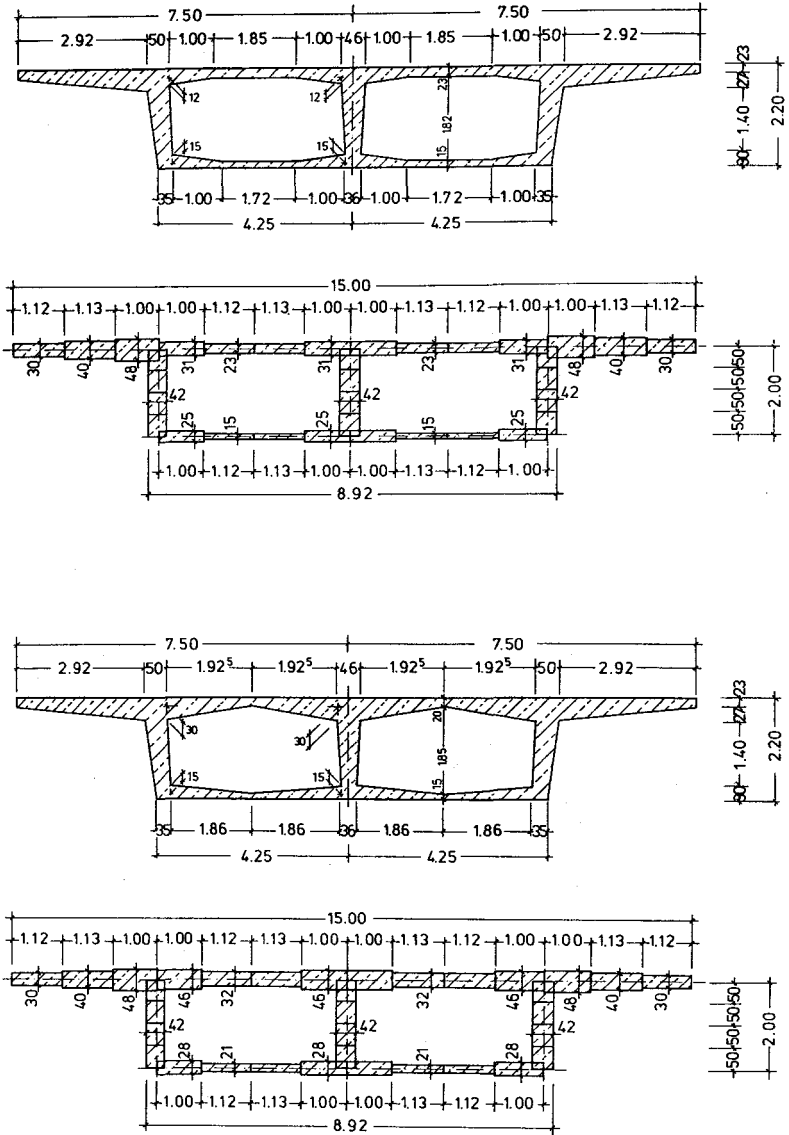


Bild 5.27 Ausgangsquerschnitte und idealisierte Querschnitte zur Ermittlung des Einflusses von Vouten

Ort:  $a = 0,5 \cdot L$

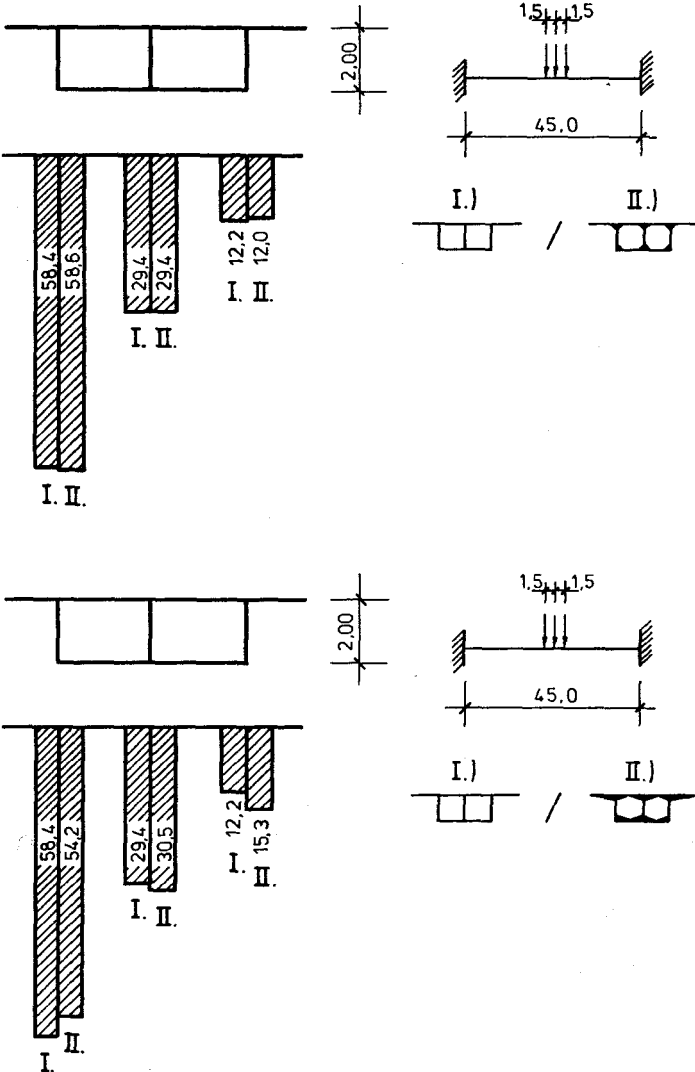


Bild 5.28 Einfluß von Vouten auf die prozentualen Lastanteile je Steg

Bild oben: SLW auf dem Randsteg;  $l_v = b/8$

Bild unten: SLW auf dem Randsteg;  $l_v = b/4$

Ort:  $a = 0.5 \cdot L$

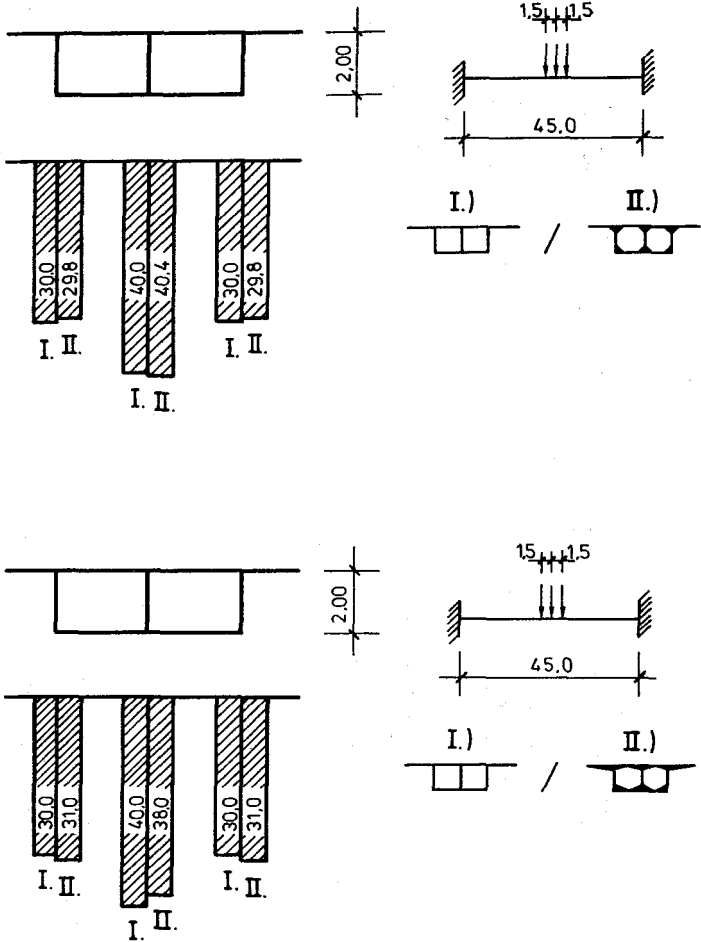
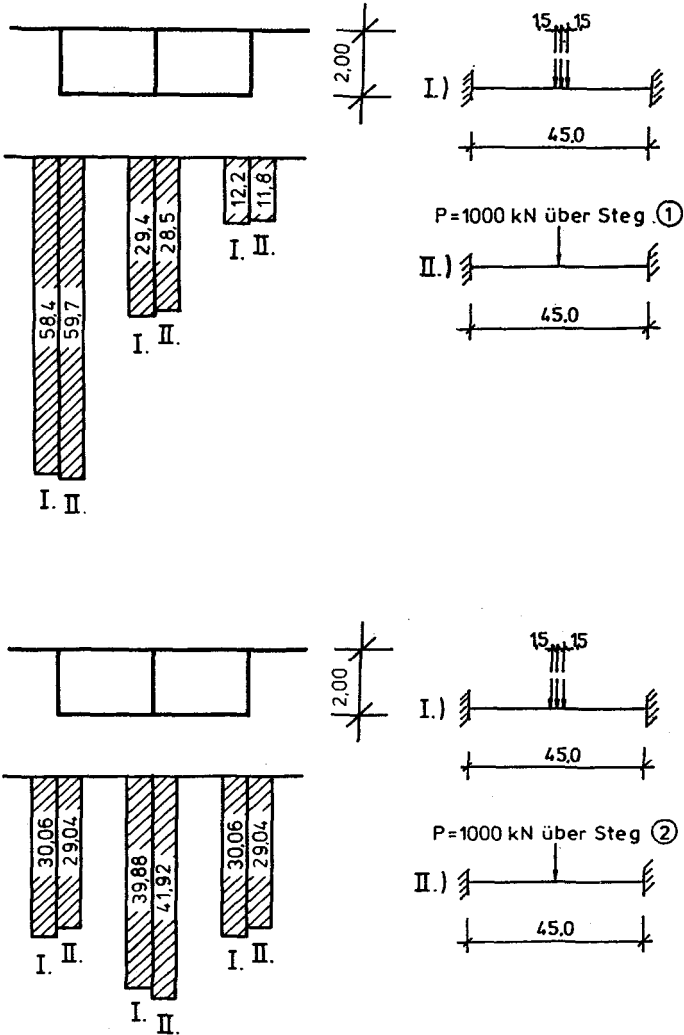


Bild 5.29 Einfluß von Vouten auf die prozentualen Lastanteile je Steg

Bild oben: SLW auf dem Mittelsteg;  $l_v = b/8$

Bild unten: SLW auf dem Mittelsteg;  $l_v = b/4$

Ort:  $a = 0,5 \cdot L$



**Bild 5.30** Einfluß des Lasttypes auf die prozentualen Lastanteile je Steg  
 Bild oben: SLW bzw. Einzellast auf dem Randsteg  
 Bild unten: SLW bzw. Einzellast auf dem Mittelst.



Ort:  $a = 0,5 \cdot L$

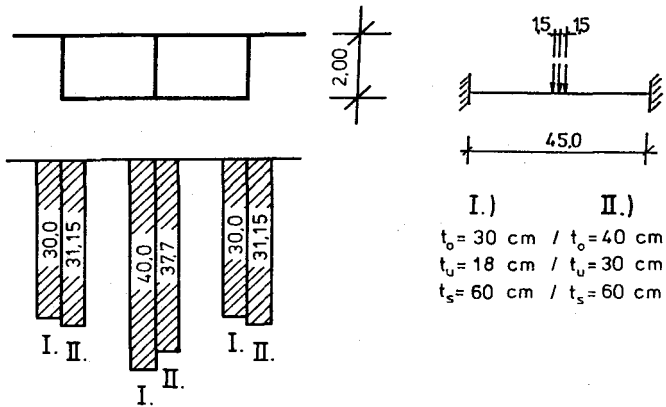
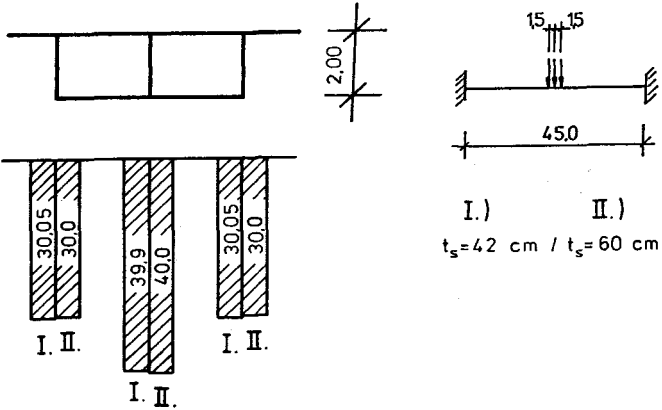


Bild 5.31 Einfluß der Konstruktionselementdicke auf die prozentualen Lastanteile je Steg  
 Bild oben: Variation der Stegdicke  
 Bild unten: Variation der Plattendicken

Ort:  $a = 0,5 \cdot L$

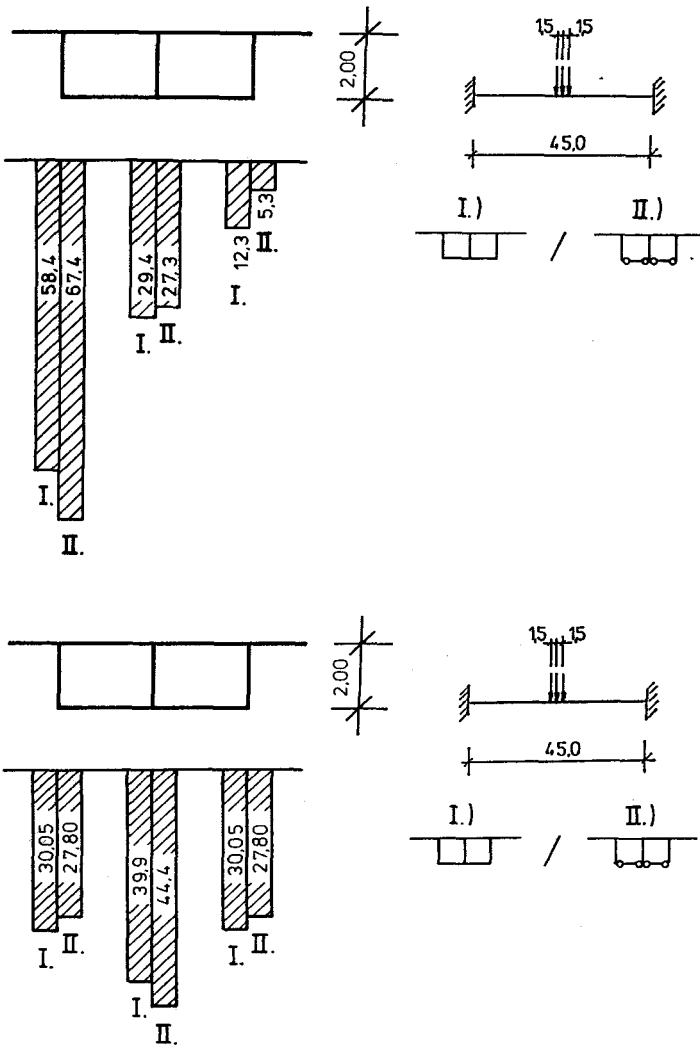


Bild 5.32 Einfluß einer "gerissenen" Bodenplatte auf die prozentualen Lastanteile je Steg  
Bild oben: SLW auf dem Randsteg  
Bild unten: SLW auf dem Mittelsteg

Ort:  $a = 0.5 \cdot L$

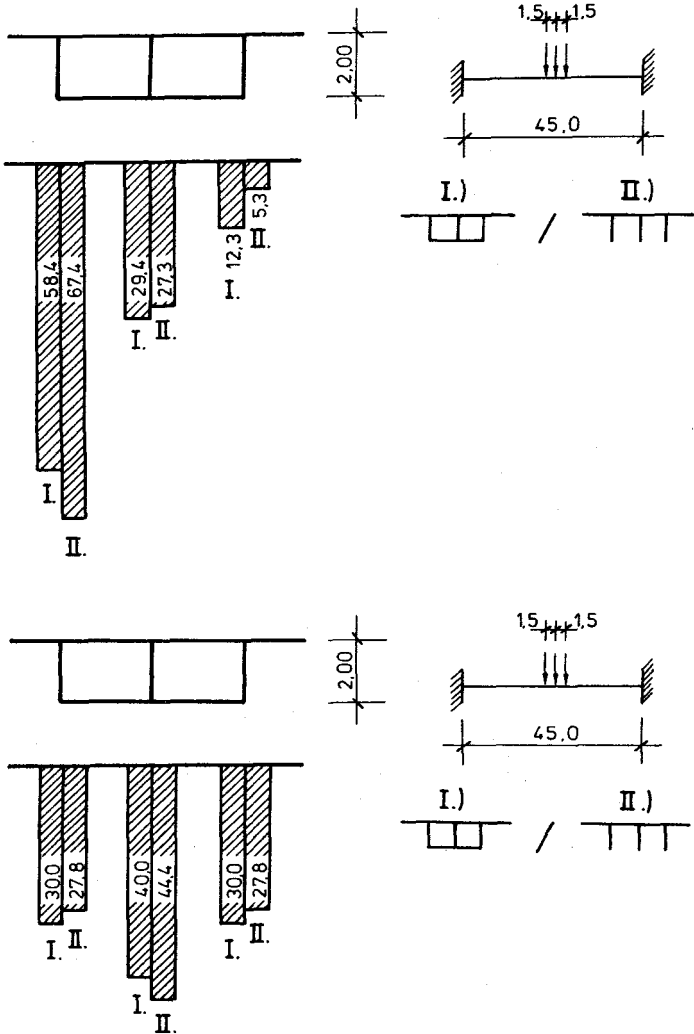


Bild 5.33 Einfluß des Wegfalles der Bodenplatte ( $\rightarrow$ drei-stegiger Plattenbalken) Lastanteile je Steg  
Bild oben: SLW auf dem Randsteg bei  $0.5 L$   
Bild unten: SLW auf dem Mittelsteg bei  $0.5 L$

Ort:  $a = 0.2 \cdot L$

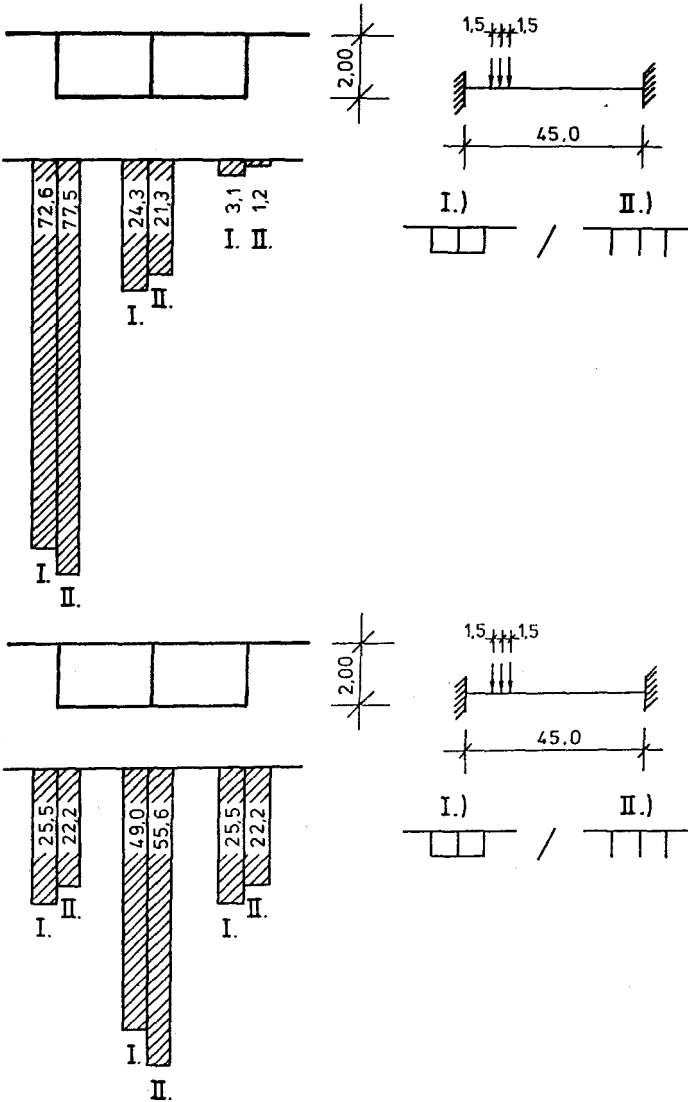
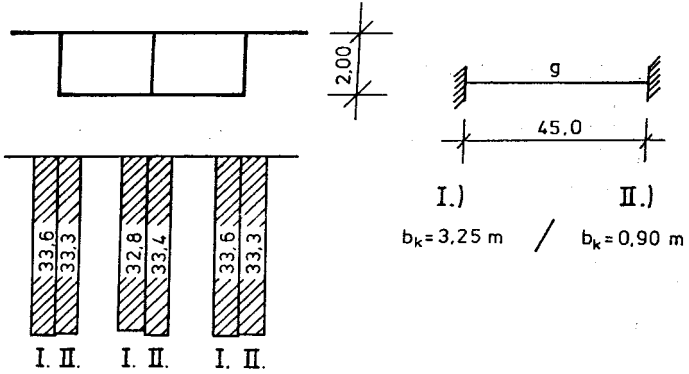


Bild 5.34 Einfluß des Wegfalles der Bodenplatte ( $\rightarrow$ drei-stegiger Plattenbalken) Lastanteile je Steg  
Bild oben: SLW auf dem Randsteg bei  $0.2 L$   
Bild unten: SLW auf dem Mittelsteg bei  $0.2 L$

Ort:  $a = 0,5 \cdot L$



Ort:  $a = 0,2 \cdot L$

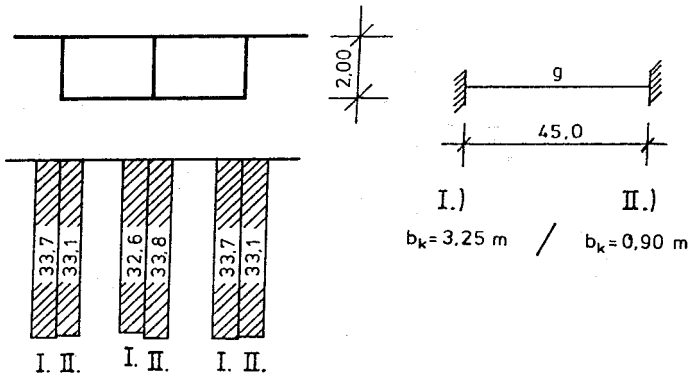


Bild 5.35 Einfluß der Kragarmlänge auf die prozentualen Lastanteile je Steg  
Lastfall Eigengewicht

5.6 Auflagerkräfte und zugehörige Querverteilung je Lagerachse

Zur Kontrolle des gewählten Ansatzes für die Ermittlung der Querverteilung über die vertikalen Durchbiegungen in Kapitel 5.2 wurden in einem zweiten Schritt die Auflagerkräfte zusammengestellt und jeweils pro Lagerachse die daraus resultierenden Querverteilungen ermittelt. Die Auflagerkräfte wurden dabei in Reaktionen R 1 bis R 6 durchnummeriert (Bild 5.18).

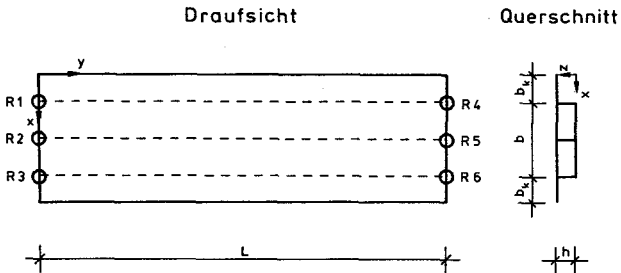


Bild 5.36 Bezeichnungen der Auflagerpunkte unter den Stegen

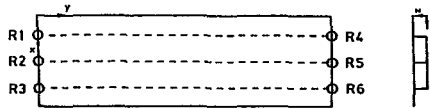
In die Tabellen 5.2 bis 5.13 wurde eine doppelte Kontrolle der SAP-Rechnungen eingebaut. Für die Ermittlung der Querverteilung wurde das gleiche Vorgehen gewählt wie im Kapitel 5.2. Pro Auflagerachse wurde die Summe der Auflagerkräfte zu hundert Prozent gesetzt. Anschließend wurden die prozentualen Anteile der einzelnen Reaktionen unter den Stegen bestimmt (Gleichung 5.3 und 5.4). Die Lastanteile pro Auflagerpunkt ergeben sich zu:

$$\alpha_i = \frac{100 \cdot R_i}{\sum_{i=1}^3 R_i} \quad [\%] \quad (5.3)$$

$$\text{bzw. } \alpha_i = \frac{100 \cdot R_i}{\sum_{i=4}^6 R_i} \quad [\%] \quad (5.4)$$

Diese Querverteilung mußte größenordnungsmäßig eine Fortsetzung der aus den Durchbiegungen ermittelten Querverteilungen im Feld darstellen. Der gewählte Ansatz zur Ermittlung der Querverteilung der Lasten aus den vertikalen Verformungen konnte hierdurch bestätigt werden. Die Ermittlung der Querkraft- und Torsionsbeanspruchung der Konstruktionselemente kann in einer Nachlaufrechnung über die Auflagerkräfte bestimmt werden. Bei den unsymmetrischen Lastfällen addieren sich zu diesen Anteilen noch die Auflagerkräfte zur Aufnahme des Torsionsmoments. Durch die Verdrehung des Querschnitts infolge Torsionsbeanspruchung können die vertikalen Verformungen aus dieser Beanspruchung beim lastfernsten Steg größer werden, als die Durchbiegungen aus den Vertikallasten. Der Steg verformt sich nach oben und es entstehen "negative" Durchbiegungen. Bei der gewählten Auswertung über die vertikalen Durchbiegungen resultieren hieraus "negative" Querverteilungen beim lastfernsten Steg, die nicht für die Bemessung maßgebend sind.

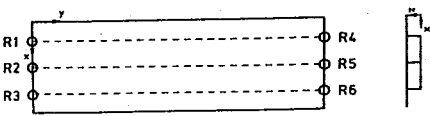
Als zweite Kontrolle wurde bei dieser Auswertung die Gleichgewichtskontrolle durchgeführt, ob die Summe der Auflagerkräfte gleich den aufgebrachten vertikalen Belastungen entspricht. Die Tabellen sind so aufgebaut, daß als konstante Parameter die Stützweite und die Steghöhe des Querschnitts eingehen und sämtliche hierfür betrachteten und untersuchten Belastungen in einer Tabelle zusammengestellt sind.



L = 30.00 m h = 1.60 m Last- typ	Last- stellung	Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						ΣR/P
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
A	L	969.44	993.32	969.44	969.44	993.32	969.44	1.00
		33.06	33.88	33.06	33.06	33.88	33.06	
B	L	137.97	24.05	-12.02	137.97	24.05	-12.02	1.00
		91.98	16.03	-8.01	91.98	16.03	-8.01	
C	0.067L	542.70	60.00	-15.23	25.93	2.73	-16.13	1.00
		92.38	10.21	-2.59	206.94	21.79	-128.73	
	0.10L	526.37	68.52	-17.04	36.70	5.34	-19.89	1.00
		91.09	11.86	-2.95	165.69	24.11	-89.80	
	0.20L	463.09	91.50	-23.07	81.98	18.36	-31.86	1.00
		87.13	17.21	-4.34	119.71	26.81	-46.52	
	0.33L	371.39	99.34	-30.76	156.90	44.07	-40.94	1.00
		84.41	22.58	-6.99	98.04	27.54	-25.58	
	0.50L	260.60	78.80	-39.40	260.60	78.80	-39.40	1.00
		86.87	26.27	-13.13	86.87	26.27	-13.13	
D	L	20.68	108.64	20.68	20.68	108.64	20.68	1.00
		13.79	72.43	13.79	13.79	72.43	13.79	
E	0.067L	59.57	467.00	59.57	2.75	8.36	2.75	1.00
		10.16	79.67	10.16	19.84	60.32	19.84	
	0.10L	66.41	443.66	66.41	4.99	13.54	4.99	1.00
		11.52	76.96	11.52	21.22	57.57	21.22	
	0.20L	83.85	362.54	83.85	16.20	37.36	16.20	1.00
		15.81	68.37	15.81	23.22	53.56	23.22	
	0.33L	88.09	262.98	88.09	38.45	83.94	38.45	1.00
		20.06	59.88	20.06	23.91	52.19	23.91	
	0.50L	68.94	162.12	68.94	68.94	162.12	68.94	1.00
		22.98	54.04	22.98	22.98	54.04	22.98	

Tab. 5.2 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse  
L = 30.00 m; h = 1.60 m

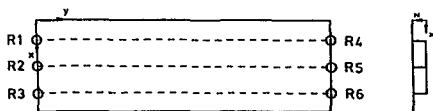




L = 30.00 m h = 2.00 m Last- typ Last- stellung		Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						ΣR/P
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
A	L	1042.17 33.39	1036.86 33.22	1042.17 33.39	1042.17 33.39	1036.86 33.22	1042.17 33.39	1.00
B	L	139.90 93.27	20.20 13.47	-10.10 -6.73	139.90 93.27	20.20 13.47	-10.10 -6.73	1.00
C	0.067L	542.30 92.48	57.47 9.80	-13.39 -2.28	28.06 206.02	1.81 13.29	-16.25 -119.31	1.00
	0.10L	527.40 91.46	64.05 11.11	-14.78 -2.56	38.60 165.45	3.95 16.93	-19.22 -82.38	1.00
	0.20L	468.15 88.29	81.73 15.41	-19.65 -3.71	83.48 119.65	15.01 21.51	-28.72 -41.16	1.00
	0.33L	378.47 86.20	86.93 19.80	-26.36 -6.00	159.33 98.99	37.47 23.28	-35.84 -22.27	1.00
	0.50L	265.88 88.63	68.23 22.74	-34.11 -11.37	265.88 88.63	68.23 22.74	-34.11 -11.37	1.00
D	L	17.93 11.95	114.14 76.09	17.93 11.95	17.93 11.95	114.14 76.09	17.93 11.95	1.00
E	0.067L	58.33 9.97	468.42 80.06	58.33 9.97	2.07 13.87	10.78 72.25	2.07 13.87	1.00
	0.10L	63.76 11.08	447.83 77.84	63.76 11.08	4.01 16.27	16.63 67.46	4.01 16.27	1.00
	0.20L	77.56 14.66	373.96 70.68	77.56 14.66	13.95 19.67	43.02 60.66	13.95 19.67	1.00
	0.33L	80.06 18.26	278.24 63.47	80.06 18.26	34.16 21.13	93.32 57.73	34.16 21.13	1.00
	0.50L	62.13 20.71	175.74 58.58	62.13 20.71	62.13 20.71	175.74 58.58	62.13 20.71	1.00

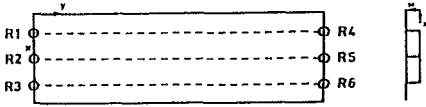
Tab. 5.3 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Quer-  
verteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 30.00 m; h = 2.00 m



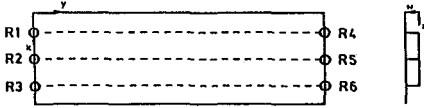
L = 30.00 m h = 4.00 m Last- Last- typ stellung		Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						ΣR/P
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
A	L	1385.09 34.06	1295.90 31.87	1385.09 34.06	1385.09 34.06	1295.90 31.87	1385.09 34.06	1.00
B	L	144.36 96.24	11.27 7.51	-5.63 -3.75	144.36 96.24	11.27 7.51	-5.63 -3.75	1.00
	0.067L	534.12 92.71	53.62 9.31	-11.61 -2.02	40.49 169.63	-2.85 -11.94	-13.77 -57.69	1.00
	0.10L	522.92 92.32	55.75 9.84	-12.27 -2.17	50.08 149.05	-1.76 -5.24	-14.72 -43.81	1.00
C	0.20L	474.26 91.13	60.86 11.69	-14.72 -2.83	93.03 116.87	4.56 5.73	-17.99 -22.60	1.00
	0.33L	381.92 89.60	60.69 14.24	-16.37 -3.84	171.30 98.58	21.09 12.14	-18.63 -10.72	1.00
	0.50L	279.34 93.11	41.32 13.77	-20.66 -6.89	279.34 93.11	41.32 13.77	-20.66 -6.89	1.00
D	L	10.74 7.16	128.52 85.68	10.74 7.16	10.74 7.16	128.52 85.68	10.74 7.16	1.00
	0.067L	57.50 10.00	459.81 79.99	57.50 10.00	-1.63 -6.47	28.45 112.94	-1.63 -6.47	1.00
	0.10L	59.31 10.50	446.50 79.01	59.31 10.50	-0.52 -1.49	35.92 102.98	-0.52 -1.49	1.00
E	0.20L	63.28 12.18	392.89 75.64	63.28 12.18	5.82 7.23	68.91 85.55	5.82 7.23	1.00
	0.33L	59.35 13.74	313.21 72.52	59.35 13.74	20.32 12.09	127.45 75.82	20.32 12.09	1.00
	0.50L	42.28 14.09	215.44 71.81	42.28 14.09	42.28 14.09	215.44 71.81	42.28 14.09	1.00

Tab. 5.4 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Quer-  
verteilung (2. Zeile) je Lagerachse;  
L = 30.00 m; h = 4.00 m

								ER/P
Last- typ	Last- stellung	Auflagerkräfte [KN]						
		Querverteilung [%]						
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
A	L	1715.21	1581.16	1715.21	1715.21	1581.16	1715.21	1.00
		34.22	31.55	34.22	34.22	31.55	34.22	
B	L	145.77	8.45	-4.22	145.77	8.45	-4.22	1.00
		97.18	5.63	-2.81	97.18	5.63	-2.81	
C	0.067L	516.74	52.65	-11.15	60.03	-6.19	-12.08	1.00
		92.57	9.43	-2.00	143.75	-14.82	-28.93	
	0.10L	507.41	53.18	-11.47	68.62	-5.23	-12.51	1.00
		92.40	9.68	-2.09	134.87	-10.28	-24.59	
	0.20L	464.65	53.63	-12.74	108.49	0.10	-14.13	1.00
		91.91	10.61	-2.52	114.85	0.11	-14.96	
	0.33L	389.41	47.79	-14.40	180.51	12.37	-15.68	1.00
		92.10	11.30	-3.41	101.87	6.98	-8.85	
	0.50L	284.21	31.58	-15.79	284.21	31.58	-15.79	1.00
		94.74	10.53	-5.26	94.74	10.53	-5.26	
D	L	8.22	133.56	8.22	8.22	133.56	8.22	1.00
		5.48	89.04	5.48	5.48	89.04	5.48	
E	0.067L	57.61	441.67	57.61	-3.88	50.87	-3.88	1.00
		10.34	79.31	10.34	-9.00	118.00	-9.00	
	0.10L	58.01	431.83	58.01	-2.89	57.93	-2.89	1.00
		10.59	78.82	10.59	-5.54	111.08	-5.54	
	0.20L	57.91	388.81	57.91	2.59	90.19	2.59	1.00
		11.48	77.05	11.48	2.72	94.57	2.72	
	0.33L	51.39	319.58	51.39	15.08	147.48	15.08	1.00
		12.17	75.67	12.17	8.49	83.02	8.49	
	0.50L	34.63	230.74	34.63	34.63	230.74	34.63	1.00
		11.54	76.91	11.54	11.54	76.91	11.54	

Tab. 5.5 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Quer-  
verteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

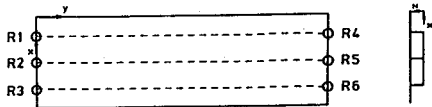
L = 30.00 m; h = 6.00 m



L = 45.00 m h = 1.60 m Last- typ stellung		Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						ΣR/P
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
A	L	1430.72 32.53	1536.86 34.94	1430.72 32.53	1430.72 32.53	1536.86 34.94	1430.72 32.53	1.00
B	L	199.90 88.84	50.20 22.31	-25.10 -11.16	199.90 88.84	50.20 22.31	-25.10 -11.16	1.00
C	0.067L	539.33 91.33	70.74 11.98	-19.56 -3.31	23.67 249.42	3.26 34.35	-17.44 -183.77	1.00
	0.10L	516.06 88.82	87.60 15.08	-22.65 -3.90	36.83 193.94	6.62 34.86	-24.46 -128.80	1.00
	0.20L	440.95 82.42	123.57 23.10	-29.53 -5.52	85.79 131.96	22.94 35.29	-43.72 -67.25	1.00
	0.33L	349.71 79.03	130.13 29.41	-37.34 -8.44	157.76 100.17	54.92 34.87	-55.18 -35.03	1.00
	0.50L	250.21 83.40	99.57 33.19	-49.78 -16.59	250.21 83.40	99.57 33.19	-49.78 -16.59	1.00
D	L	42.49 18.88	140.02 62.23	42.49 18.88	42.49 18.88	140.02 62.23	42.49 18.88	1.00
E	0.067L	68.72 11.65	452.29 76.69	68.72 11.65	2.84 27.65	4.59 44.69	2.84 27.65	1.00
	0.10L	82.19 14.17	415.77 71.67	82.19 14.17	5.59 28.16	8.67 43.68	5.59 28.16	1.00
	0.20L	109.46 20.49	315.17 59.01	109.46 20.49	18.99 28.81	27.93 42.38	18.99 28.81	1.00
	0.33L	112.14 25.38	217.59 49.24	112.14 25.38	45.66 28.87	66.81 42.25	45.66 28.87	1.00
	0.50L	84.06 28.02	131.88 43.96	84.06 28.02	84.06 28.02	131.88 43.96	84.06 28.02	1.00

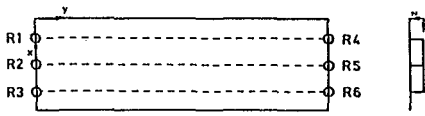
Tab. 5.6 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 45.00 m; h = 1.60 m



Last- typ	Last- stellung	Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						ER/P
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
L	A	1542.37 32.94	1597.06 34.11	1542.37 32.94	1542.37 32.94	1597.06 34.11	1542.37 32.94	1.00
L	B	202.81 90.14	44.38 19.72	-22.19 -9.86	202.81 90.14	44.38 19.72	-22.19 -9.86	1.00
C	0.067L	540.37 91.56	66.38 11.25	-16.60 -2.81	25.04 254.21	2.81 28.53	-18.00 -182.74	1.00
	0.10L	519.01 89.40	80.24 13.82	-18.67 -3.22	37.96 195.47	5.82 29.97	-24.36 -125.44	1.00
	0.20L	447.60 83.75	110.53 20.68	-23.68 -4.43	86.80 132.42	20.66 31.52	-41.91 -63.94	1.00
	0.33L	356.52 80.64	116.93 26.45	-31.34 -7.09	160.06 101.37	49.91 31.61	-52.08 -32.98	1.00
	0.50L	254.83 84.94	90.34 30.11	-45.17 -15.06	254.83 84.94	90.34 30.11	-45.17 -15.06	1.00
L	D	39.00 17.33	147.00 65.33	39.00 17.33	39.00 17.33	147.00 65.33	39.00 17.33	1.00
E	0.067L	66.19 11.23	457.04 77.54	66.19 11.23	2.61 24.67	5.36 50.66	2.61 24.67	1.00
	0.10L	77.62 13.39	424.55 73.22	77.62 13.39	5.21 25.78	9.79 48.44	5.21 25.78	1.00
	0.20L	101.54 19.03	330.59 61.95	101.54 19.03	18.05 27.21	30.23 45.58	18.05 27.21	1.00
	0.33L	104.87 23.75	231.83 52.50	104.87 23.75	43.64 27.55	71.15 44.91	43.64 27.55	1.00
	0.50L	79.78 26.59	140.44 46.81	79.78 26.59	79.78 26.59	140.44 46.81	79.78 26.59	1.00

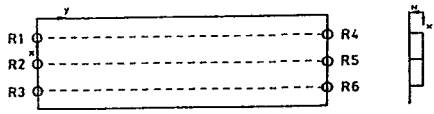
Tab. 5.7 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;  
L = 45.00 m; h = 2.00 m



L = 45.00 m h = 4.00 m Last- typ Last- stellung		Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						ΣR/P
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
A	L	2063.61	1971.89	2063.61	2063.61	1971.89	2063.61	1.00
		33.83	32.33	33.83	33.83	32.33	33.83	
B	L	211.23	27.54	-13.77	211.23	27.54	-13.77	1.00
		93.88	12.24	-6.12	93.88	12.24	-6.12	
C	0.067L	540.12	58.32	-11.58	30.91	-0.38	-17.39	1.00
		92.04	9.94	-1.97	235.24	-2.89	-132.34	
	0.10L	524.91	64.64	-12.52	42.16	1.23	-20.42	1.00
		90.97	11.20	-2.17	183.54	5.35	-88.90	
	0.20L	467.41	78.72	-15.51	87.97	10.51	-29.10	1.00
		88.09	14.84	-2.92	126.79	15.15	-41.94	
	0.33L	380.75	79.56	-20.91	164.08	30.76	-34.24	1.00
		86.65	18.11	-4.76	102.17	19.15	-21.32	
	0.50L	270.14	59.73	-29.87	270.14	59.73	-29.87	1.00
		90.05	19.91	-9.96	90.05	19.91	-9.96	
D	L	26.21	172.58	26.21	26.21	172.58	26.21	1.00
		11.65	76.70	11.65	11.65	76.70	11.65	
E	0.067L	62.36	461.47	62.36	0.06	13.69	0.06	1.00
		10.64	78.72	10.64	0.43	99.13	0.43	
	0.10L	67.95	440.47	67.95	1.65	20.33	1.65	1.00
		11.79	76.42	11.79	6.98	86.03	6.98	
	0.20L	79.82	370.46	79.82	10.71	48.48	10.71	1.00
		15.06	69.88	15.06	15.32	69.36	15.32	
	0.33L	79.07	280.95	79.07	30.41	100.09	30.41	1.00
		18.01	63.98	18.01	18.90	62.20	18.90	
	0.50L	58.86	182.28	58.86	58.86	182.28	58.86	1.00
		19.62	60.76	19.62	19.62	60.76	19.62	

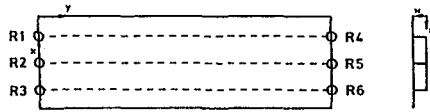
Tab. 5.8 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 45.00 m; h = 4.00 m



L = 45.00 m h = 6.00 m Last- Last- typ stellung		Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						ΣR/P
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
A	L	2561.45 34.08	2393.90 31.85	2561.45 34.08	2561.45 34.08	2393.90 31.85	2561.45 34.08	1.00
B	L	214.70 95.42	20.60 9.16	-10.30 -4.58	214.70 95.42	20.60 9.16	-10.30 -4.58	1.00
C	0.067L	534.39 92.08	57.44 9.90	-11.50 -1.98	38.91 197.81	-4.04 -20.54	-15.20 -77.28	1.00
	0.10L	522.07 91.51	60.62 10.63	-12.19 -2.14	49.09 166.41	-2.94 -9.97	-16.65 -56.44	1.00
	0.20L	471.45 89.91	67.48 12.87	-14.55 -2.77	92.81 122.73	3.99 5.28	-21.18 -28.01	1.00
	0.33L	389.07 89.40	64.18 14.75	-18.04 -4.15	168.64 102.34	20.39 12.37	-24.24 -14.71	1.00
	0.50L	277.40 92.47	45.20 15.07	-22.60 -7.53	277.40 92.47	45.20 15.07	-22.60 -7.53	1.00
D	L	20.07 8.92	184.86 82.16	20.07 8.92	20.07 8.92	184.86 82.16	20.07 8.92	1.00
E	0.067L	63.02 10.87	453.63 78.26	63.02 10.87	-2.94 -14.46	26.21 128.92	-2.94 -14.46	1.00
	0.10L	65.84 11.55	438.21 76.89	65.84 11.55	-1.78 -5.91	33.67 111.82	-1.78 -5.91	1.00
	0.20L	71.50 13.65	380.94 72.71	71.50 13.65	5.33 7.01	65.40 85.98	5.33 7.01	1.00
	0.33L	67.01 15.41	300.95 69.19	67.01 15.41	21.95 13.30	121.13 73.40	21.95 13.30	1.00
	0.50L	47.19 15.73	205.62 68.54	47.19 15.73	47.19 15.73	205.62 68.54	47.19 15.73	1.00

Tab. 5.9 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;  
L = 45.00 m; h = 6.00 m

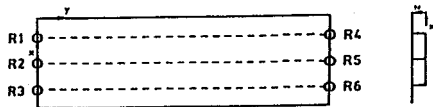


L = 60.00 m h = 1.60 m Last- typ Last- stellung		Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						ER/P
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
A	L	1887.52	2094.03	1887.52	1882.23	2095.26	1882.23	1.00
		32.16	35.68	32.16	32.12	35.76	32.12	
B	L	261.55	77.78	-39.09	260.55	78.03	-38.82	1.00
		87.11	25.91	-13.02	86.92	26.03	-12.95	
C	0.067L	533.90	81.25	-23.84	23.79	3.37	-18.47	1.00
		90.29	13.74	-4.03	273.76	38.78	-212.54	
	0.10L	506.41	104.00	-28.25	38.13	6.91	-27.20	1.00
		86.99	17.86	-4.85	213.73	38.73	-152.47	
	0.20L	426.26	146.13	-35.77	88.48	24.40	-49.50	1.00
		79.43	27.23	-6.67	139.60	38.50	-78.10	
	0.33L	339.07	147.49	-42.77	157.59	59.19	-60.57	1.00
		76.40	33.23	-9.64	100.88	37.89	-38.77	
	0.50L	231.76	110.95	-42.36	230.78	111.03	-42.16	1.00
		77.16	36.94	-14.10	77.02	37.05	-14.07	
D	L	64.87	170.50	64.87	64.80	170.16	64.80	1.00
		21.61	56.79	21.61	21.62	56.77	21.62	
E	0.067L	77.77	435.25	77.77	2.72	3.77	2.72	1.00
		13.16	73.67	13.16	29.53	40.93	29.53	
	0.10L	95.92	389.70	95.92	5.48	7.50	5.48	1.00
		16.49	67.01	16.49	29.69	40.63	29.69	
	0.20L	127.56	280.82	127.56	19.18	25.70	19.18	1.00
		23.80	52.40	23.80	29.94	40.12	29.94	
	0.33L	124.61	194.12	124.61	47.04	62.58	47.04	1.00
		28.11	43.79	28.11	30.03	39.95	30.03	
	0.50L	89.39	121.57	89.39	89.05	121.55	89.05	1.00
		29.76	40.48	29.76	29.72	40.56	29.72	

Tab. 5.10 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 60.00 m; h = 1.60 m

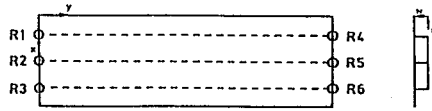




The diagram shows a horizontal beam of length L with six support points labeled R1 through R6. R1, R2, and R3 are on the left side, and R4, R5, and R6 are on the right side. A vertical coordinate system y is shown at the left end, and a horizontal coordinate system x is shown at the right end. A cross-section of the beam is shown to the right of the main diagram.

L = 60.00 m h = 2.00 m Last- Last- typ stellung		Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						ER/P
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
A	L	2037.81 32.62	2170.84 34.75	2037.81 32.62	2033.69 32.60	2171.00 34.80	2033.67 32.60	1.00
B	L	265.02 88.28	70.73 23.56	-35.55 -11.84	264.15 88.11	70.93 23.66	-35.28 -11.77	1.00
C	0.067L	535.89 90.66	75.35 12.75	-20.11 -3.40	24.87 280.38	3.14 35.40	-19.14 -215.78	1.00
	0.10L	510.24 87.69	94.68 16.27	-23.04 -3.96	39.18 216.23	6.47 35.71	-27.53 -151.93	1.00
	0.20L	432.32 80.62	132.15 24.64	-28.23 -5.26	90.16 141.41	22.90 35.92	-49.30 -77.32	1.00
	0.33L	343.73 77.51	135.58 30.57	-35.82 -8.08	160.72 102.69	55.52 35.47	-59.73 -38.16	1.00
	0.50L	249.48 83.08	101.90 33.93	-51.09 -17.01	248.60 82.95	101.94 34.01	-50.83 -16.96	1.00
D	L	61.48 20.48	177.24 59.04	61.48 20.48	61.49 20.51	176.82 58.98	61.49 20.51	1.00
E	0.067L	74.03 12.53	442.57 74.93	74.03 12.53	2.72 29.03	3.93 41.94	2.72 29.03	1.00
	0.10L	89.98 15.48	401.35 69.04	89.98 15.48	5.49 29.37	7.71 41.25	5.49 29.37	1.00
	0.20L	119.58 22.32	296.48 55.35	119.58 22.32	19.22 29.86	25.92 40.27	19.22 29.86	1.00
	0.33L	119.54 26.98	204.00 46.04	119.54 26.98	46.92 29.90	63.08 40.20	46.92 29.90	1.00
	0.50L	87.82 29.25	124.65 41.51	87.82 29.25	87.60 29.23	124.51 41.54	87.60 29.23	1.00

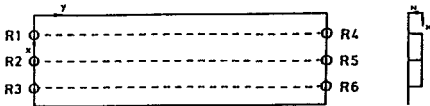
Tab. 5.11 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;  
L = 60.00 m; h = 2.00 m



L = 60.00 m h = 4.00 m		Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						ER/P
Last- typ	Last- stellung	R1	R2	R3	R4	R5	R6	
A	L	2736.56 33.64	2662.26 32.72	2736.56 33.64	2733.83 33.63	2661.26 32.74	2733.83 33.63	1.00
B	L	276.26 92.05	48.21 16.06	-24.35 -8.11	275.41 91.84	48.47 16.16	-24.00 -8.00	1.00
C	0.067L	539.42 91.47	62.44 10.59	-12.15 -2.06	28.73 279.20	1.27 12.34	-19.71 -191.55	1.00
	0.10L	520.27 89.68	72.74 12.54	-12.85 -2.21	41.62 209.78	3.48 17.54	-25.26 -127.32	1.00
	0.20L	454.47 85.08	94.23 17.64	-14.54 -2.72	90.74 137.82	15.36 23.33	-40.26 -61.15	1.00
	0.33L	365.95 82.80	97.23 22.00	-21.21 -4.80	165.47 104.71	39.94 25.27	-47.38 -29.98	1.00
	0.50L	263.31 87.72	74.28 24.75	-37.41 -12.46	262.37 87.51	74.36 24.80	-36.91 -12.31	1.00
D	L	45.74 15.24	208.63 69.52	45.74 15.24	45.97 15.33	207.95 69.34	45.97 15.33	1.00
E	0.067L	66.33 11.26	456.64 77.49	66.33 11.26	1.38 12.90	7.94 74.21	1.38 12.90	1.00
	0.10L	75.49 13.02	428.76 73.96	75.49 13.02	3.50 17.28	13.26 65.45	3.50 17.28	1.00
	0.20L	93.95 17.60	345.88 64.80	93.95 17.60	14.83 22.40	36.56 55.21	14.83 22.40	1.00
	0.33L	94.96 21.50	251.79 57.00	94.96 21.50	38.36 24.23	81.57 51.53	38.36 24.23	1.00
	0.50L	71.68 23.88	156.82 52.24	71.68 23.88	71.71 23.92	156.40 52.16	71.71 23.92	1.00

Tab. 5.12 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 60.00 m; h = 4.00 m

								ΣR/P
Last- typ	Last- stellung	Auflagerkräfte [KN] Querverteilung [%]						
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	
L = 60.00 m h = 6.00 m								
A	L	3403.65 33.94	3220.15 32.11	3403.65 33.94	3400.09 33.94	3218.68 32.13	3400.09 33.94	1.00
B	L	281.84 93.91	36.99 12.32	-18.70 -6.23	281.00 93.71	37.33 12.45	-18.46 -6.16	1.00
C	0.067L	538.38 91.73	59.72 10.17	-11.17 -1.90	32.48 248.51	-1.43 -10.94	-17.98 -137.57	1.00
	0.10L	523.18 90.64	65.90 11.42	-11.87 -2.06	43.85 192.41	0.04 0.18	-21.10 -92.58	1.00
	0.20L	466.19 87.78	78.97 14.87	-14.06 -2.65	89.84 130.39	8.97 13.02	-29.91 -43.41	1.00
	0.33L	380.60 86.53	78.40 17.82	-19.15 -4.35	165.72 103.48	28.96 18.08	-34.53 -21.56	1.00
	0.50L	271.44 90.43	57.84 19.27	-29.11 -9.70	270.65 90.27	57.98 19.34	-28.80 -9.61	1.00
D	L	36.03 12.01	228.06 75.99	36.03 12.01	36.35 12.12	227.18 75.76	36.35 12.12	1.00
E	0.067L	65.55 11.18	455.42 77.65	65.55 11.18	-0.91 -6.75	15.30 113.50	-0.91 -6.75	1.00
	0.10L	71.15 12.33	434.53 75.33	71.15 12.33	0.59 2.55	21.99 94.91	0.59 2.55	1.00
	0.20L	82.44 15.53	365.91 68.94	82.44 15.53	9.57 13.83	50.07 72.35	9.57 13.83	1.00
	0.33L	80.28 18.26	279.10 63.48	80.28 18.26	29.57 18.44	101.20 63.12	29.57 18.44	1.00
	0.50L	58.73 19.57	182.71 60.87	58.73 19.57	58.84 19.62	182.15 60.75	58.84 19.62	1.00

Tab. 5.13 Auflagerkräfte (1. Zeile) und zugehörige Querverteilung (2. Zeile) je Lagerachse;

L = 60.00 m; h = 6.00 m

### 5.7 Vergleich der eigenen Ergebnisse mit Belastungsversuchen an bestehenden Brückenbauwerken

Zur Untermauerung der bisher im Kapitel 5 ermittelten Quertragwirkungen wurden die Ergebnisse mit Probelastungen an bestehenden Brückenbauwerken verglichen. Diese Untersuchungen wurden seinerzeit zur Überprüfung sanierter Koppelfugen durchgeführt. Mit den Messungen wurde das Ziel verfolgt, die Dehnungsänderungen in den am höchsten beanspruchten Spanngliedern unter genau definierten Lasten sowie unter dem Verkehr eines normalen Werktages zu erfassen. Die Wirkung der Verstärkungsmaßnahmen im Bereich der Koppelfugen sollte hierdurch bestätigt werden.

Das Meßprogramm bestand aus mehreren Durchgängen. Dabei führen die Lastkraftwagen sowohl einzeln als auch zu dritt nebeneinander mit konstanter Geschwindigkeit unter Beibehaltung der vorgegebenen Fahrspur über die Brücke. Die Meßwerte wurden mit induktiven Wegaufnehmern, die an den freigestemmt Spanngliedern befestigt waren, festgestellt.

Zur qualitativen Beurteilung der Quertragwirkung wurden die unter den verschiedenen Fahrspuren aufgenommenen Dehnungsänderungen für jede Meßstelle einzeln ermittelt. An den Ergebnissen der Meßstellen ist unmittelbar die unterschiedliche Beteiligung der Spannglieder an der Lastaufnahme abzulesen. Diese Gegenüberstellung der Dehnungsänderungen aller Meßstellen eines Schnittes erlaubt hingegen keine direkte Aussage über die Querverteilung, da die Dehnungsänderungen unterschiedlich freigestemmter Spannglieder nicht unmittelbar vergleichbar sind. Die Dehnungsänderungen und damit die Kraftsteigerung im Spannstahl hängen von der verformbaren Länge ab. Die Länge und Umfang der Verbundstörungen konnten aber nicht bei allen Spanngliedern als konstant unterstellt werden.

Für die quantitative Beurteilung der Quertragwirkung bedarf es einer Bezugsgröße. Hierfür wurden die Meßwerte gewählt, die sich bei einer gemeinsamen Überfahrt von drei Fahrzeugen

ergeben hatten. Dabei wurde die Anordnung der Fahrspuren so gewählt, daß direkt über jedem Steg ein Fahrzeug fuhr. Bei dieser Anordnung ergibt sich eine nahezu gleiche Beanspruchung der Stege; d. h. auf jeden Steg entfällt ein Fahrzeug. Das Verhältnis der Meßwerte aus den Einzelüberfahrten zu den Meßwerten aus der gemeinsamen Überfahrt ergibt dann den jeweiligen Prozentsatz, mit dem jeder Steg an der Lastabtragung beteiligt ist. Dazu wird die Summe der Dehnungen der drei Spannglieder einer Spanngliedlage unter jeder Einzelfahrt zu 100 gesetzt und der prozentuale Anteil bestimmt, der auf die einzelnen Spannglieder entfällt.

Getrennt nach den Stegen ist in den Bildern 5.37 aufgetragen, welchen Lastanteil die Spannglieder, abhängig von der Stellung der Last, übernehmen.

Zum Vergleich wurden zwei Brückenbauwerke herangezogen:

Die Talbrücke Büschergrund - Bauwerk 217 im Zuge der A 45 bei Freudenberg - wurde in den Jahren 1969/70 erbaut. Der Überbau der Brücke besteht pro Richtungsfahrbahn aus je einem zweizelligen Kastenträger mit je zwei Fahrstreifen und einer Standspur. Die Fahrbahnplattenbreite ergibt sich hieraus zu 15.45 m. Die Kastenbreite beträgt  $b = 8.50$  m und die Konstruktionshöhe  $d = 2.70$  m.

Das Bauwerk mit einer Gesamtlänge von 387 m ist in Längsrichtung in neun Felder unterteilt. Die Spannweiten des durchlaufenden Brückenüberbaus betragen:  $36$  m -  $7 \times 45$  m -  $36$  m. Neben den Stützquerträgern ist auch noch ein Feldquerträger angeordnet.

Die Überbauten wurden abschnittsweise hergestellt. Zwischen den beiden Überbauten besteht keine Verbindung. Der Querschnitt ist längs und quer mit Spanngliedern beschränkt vorgespannt. Die Arbeitsfugen, in denen sämtliche Längsspannglieder gekoppelt sind bzw. enden (Stützzulagen), sind in einem konstanten Abstand von  $l_k = 8.75$  m zur Auflagerachse angeordnet.

Im folgenden wird die Querverteilung in Feldmitte nach eigenen Ergebnissen für die Talbrücke Büschergrund ermittelt. Die prozentualen Lastanteile der Stege können durch lineare Interpolation zwischen den Tabellen des Anhangs direkt errechnet werden. Auf die Berücksichtigung der elastischen Durchlaufwirkung kann hier verzichtet werden. Die Zusatzlasten aus den Fahrzeugen haben nur einen geringen Anteil am Gesamtmoment bestehend aus dem Eigengewichts- und dem Verkehrslastanteil, so daß bei ausgewogenen Längstragwerken von einer horizontalen Tangente über den Mittelauflagern ausgegangen werden kann.

Die Höhe ergibt sich zu:

$$h = d - t_o/2 - t_u/2$$
$$h \approx 2.50 \text{ m}$$

Das Fahrzeug auf dem Randsteg entspricht dem Lastfall - C - in den Anlagen A 9 (h = 2.00 m) und A 10 (h = 4.00 m):

	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
h = 2.00 m	58.42	29.42	12.16
h = 4.00 m	74.92	25.00	0.08
h = 2.50 m	62.64	28.32	9.14

Das Fahrzeug auf dem Mittelsteg entspricht dem Lastfall - E - in den Anlagen A 23 (h = 2.00 m) und A 24 (h = 4.00 m):

	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
h = 2.00 m	30.06	39.88	30.06
h = 4.00 m	25.74	48.72	25.74
h = 2.50 m	28.98	42.04	28.98

Die mit eigenen Ergebnissen ergänzten Querverteilungen (entnommen aus /41/) sind in Bild 5.37 aufgezeichnet. Die Darstellungen zeigen, daß die in dieser Arbeit gefundenen Lösungen das Tragverhalten von Hohlkastenbrücken, im Rahmen der Meß- und Rechengenauigkeiten, wirklichkeitsnah beschreiben.

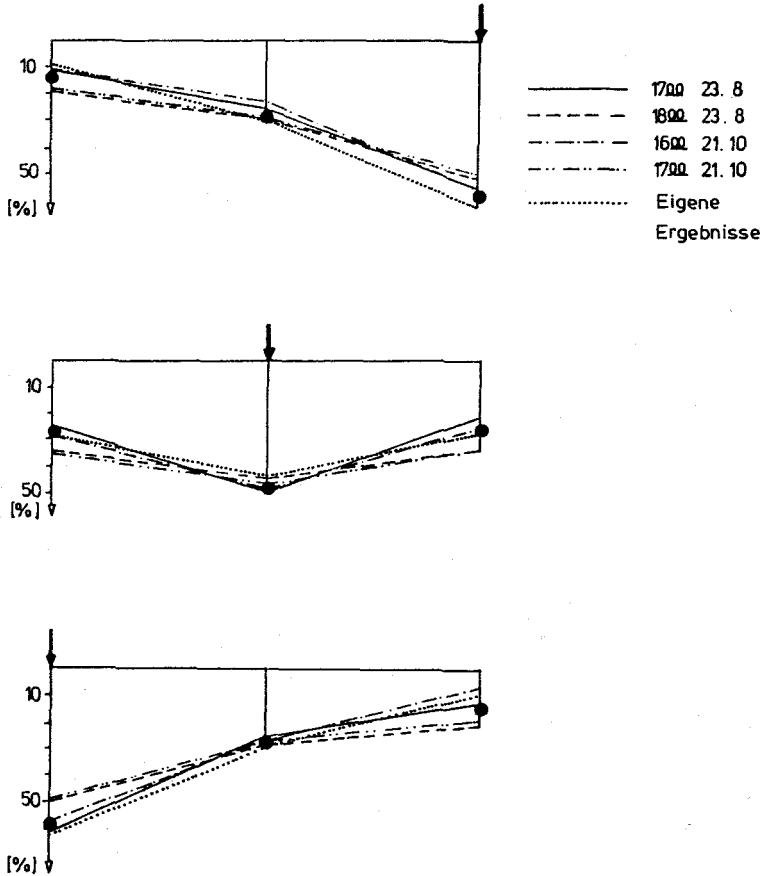


Bild 5.37 Prozentuale Lastanteile der einzelnen Stege  
Die Darstellungen wurden entnommen aus /41/ und  
mit eigenen Ergebnissen ergänzt

Die Talbrücke Sterbecke - Bauwerk A 45/120 im Zuge der BAB A 45 bei Lüdenscheid - wurde im Jahre 1965 erbaut. Der Überbau der Brücke besteht pro Richtungsfahrbahn aus je einem zweizelligen Hohlkastenträger. In der einen Fahrtrichtung sind drei Fahrspuren, in der anderen zwei Fahrspuren, eine Beschleunigungsspur und eine Standspur vorhanden. Die Fahrbahnplattenbreiten ergeben sich so für den östlichen Überbau zu 19.45 m und für den westlichen Überbau zu 15.20 m. Die äußere Kastenbreite beträgt bei beiden Überbauten  $b = 8.50$  m, die Konstruktionshöhe ca. 2.70 m.

Die Talbrücke Sterbecke besitzt eine Gesamtlänge von 265 m und ist in Brückenlängsrichtung in sieben Felder unterteilt. Die Stützweiten des durchlaufenden Brückenüberbaus betragen 32.5 m - 5 x 40.0 m - 32.5 m.

Die Überbauten wurden abschnittsweise hergestellt. Zwischen den beiden Überbauten besteht keine Verbindung. Der Querschnitt ist längs und quer mit Spanngliedern beschränkt vorgespannt. Die Arbeitsfugen, in denen sämtliche Längsspannglieder gekoppelt sind (Koppelfugen), sind in einem Abstand von  $l_k = 6.25$  m zur Auflagerachse angeordnet.

Die Querverteilung im Bereich der Koppelfuge für die Talbrücke Sterbecke ergibt sich wie folgt.

Die Lastanteile der einzelnen Stege in Prozent können für die Höhen  $h = 2.00$  m und  $h = 4.00$  m direkt aus den Nomogrammen des Kapitels 5.2.1 abgegriffen werden (bzw. Bild 5.38). Es wurde die Stützweite  $L = 45$  m zugrundegelegt, die der tatsächlichen Feldweite von  $L = 40$  m am nächsten kommt. Durch lineare Interpolation zwischen den Werten ergeben sich die maßgebenden Werte.

Die Höhe ergibt sich zu:

$$h = d - t_o/2 - t_u/2$$
$$h \approx 2.50 \text{ m}$$



Lage der Koppelfuge:

$$a/L = 6.25/40.00 \approx 0.16$$

Das Fahrzeug auf dem Randsteg entspricht dem Lastfall - C -  
in Bild 5.10 (bzw. Bild 5.38):

	Randsteg (Steg 1) [%]
h = 2.00 m	76
h = 4.00 m	86
h = 2.50 m	78
aus /40/	75 - 80

Das Fahrzeug auf dem Mittelsteg entspricht dem Lastfall - E -  
in Bild 5.16 (bzw. Bild 5.38):

	Mittelsteg (Steg 1) [%]
h = 2.00 m	54
h = 4.00 m	63
h = 2.50 m	56
aus /40/	50 - 60

Gleiche Tendenzen konnten auch bei zusätzlich gesichteten Unterlagen über Probelastungen von Brückenbauwerken festgestellt werden. Auf weitere quantitative Vergleiche mußte wegen ausgefallener Meßstellen bzw. fehlender Bezugsgröße verzichtet werden.

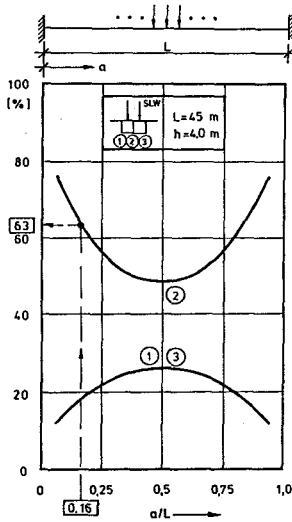
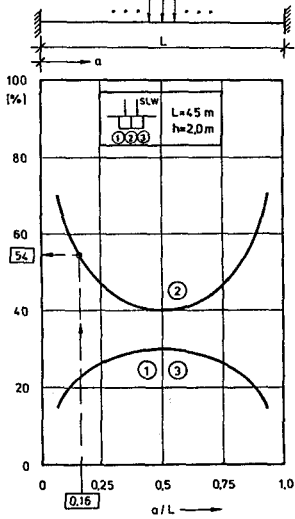
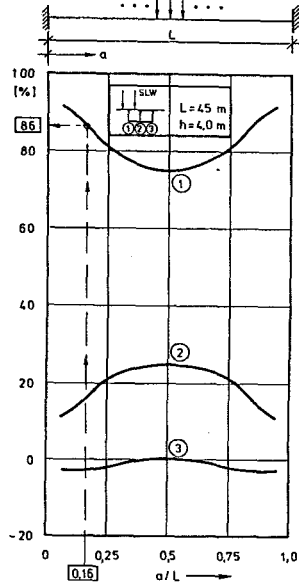
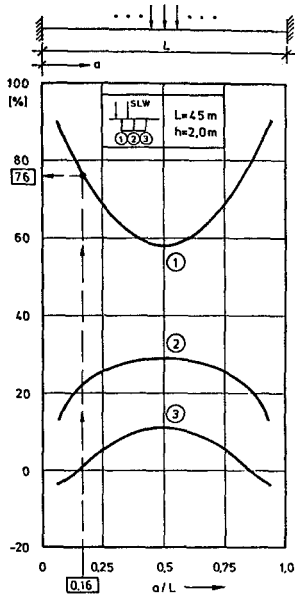


Bild 5.38 Zusammenstellung der zur Ermittlung der Querverteilung in der Koppelfuge der Talbrücke Sterbecke herangezogenen rechnerischen Ergebnisse

## 6. BEMESSUNGSDIAGRAMME UND NÄHERUNGSVERFAHREN ZUR ERFASSUNG DES TRAGVERHALTENS VON ZWEIZELLIGEN KASTENTRÄGERN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER GEOMETRIE UND DER BELASTUNG

### 6.1 Allgemeines

Aus der allgemeinen Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 5.2 wurde für jeden Lastfall pro untersuchter Stützweite ein Bemessungsdiagramm entwickelt. Hiermit werden die am weitesten verbreiteten Geometrien der zweizelligen Hohlkästen erfaßt. Beispiele zur Anwendung der Diagramme und der Vergleich mit anderen Lösungen folgt im Anschluß an dieses Kapitel.

Für Entwurfsberechnungen und die Nachrechnung bestehender Brücken mit ähnlichen Querschnittsgeometrien wurde ein Näherungsverfahren für zweizellige Kastenträger erarbeitet.

### 6.2 Entwickelte Diagramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors $\alpha_n$ des direkt belasteten Steges

Die Abhängigkeit des Lastabtrags von der Kastengeometrie und dem Lasttyp erfordert pro Lastfall (A - E) und pro Stützweite ( $L = 30 \text{ m}$ ,  $45 \text{ m}$  und  $60 \text{ m}$ ) je ein Diagramm.

Eine Interpolation ist je Lastfall sowohl zwischen den Diagrammen mit unterschiedlichen Stützweiten als auch den Steifigkeitszahlen  $K$  pro Diagramm möglich.

Voraussetzung für die Anwendung der Diagramme auf geometrisch vergleichbare Querschnitte ist ein zweizelliger Hohlkasten mit ungefähr identischen Konstruktionselementdicken und gleicher Kastenbreite.

Bei der Ermittlung des Lastverteilungsfaktors durch lineare Interpolation zwischen benachbarten Stützweiten oder Steifigkeitszahlen beträgt der Fehler  $\alpha_F = 0.01 - 0.02$  (1 - 2 %) je nach Interpolationsrichtung (Stützweite bzw. Steifigkeitszahl) zur sicheren bzw. unsicheren Seite. Wird eine lineare

Interpolation zwischen den Grenzwerten der Parameterstudie durchgeführt, vergrößert sich der Fehler  $\alpha_F$  auf 0.06 - 0.08. Die Interpolation der  $\alpha_n$ -Werte sollte zur Vermeidung unnötiger Rechenungenauigkeiten nur zwischen den der tatsächlichen Geometrien am nächsten liegenden Stützweiten und Steifigkeitszahlen erfolgen.

Die Diagramme für den Lastfall Eigengewicht - A - gelten wegen der geringen Abweichungen der Lastverteilungsfaktoren bei ausgewogenen Querschnitten für alle untersuchten Steifigkeitsverhältnisse  $K = EIb/GIt$ .

In den Diagrammen für die Verkehrslastfälle (B bis E) erhält man die Lastverteilungsfaktoren  $\alpha_n$  der direkt belasteten Stege in Abhängigkeit von der Steifigkeitszahl  $K$ .

Auf der Abszissenachse ist das Verhältnis der Laststellung zur Tragwerkslängsrichtung aufgetragen.

Auf der Ordinatenachse findet man den zugehörigen Lastverteilungsfaktor  $\alpha_n$ .

Die Zuordnung der Lastverteilungsfaktoren zu den einzelnen Lasttypen erfolgt über den Index:

- $\alpha_1$ : Eigengewicht
- $\alpha_2$ : Linienlasten
- $\alpha_3$ : SLW - Lasten (Einzellasten)

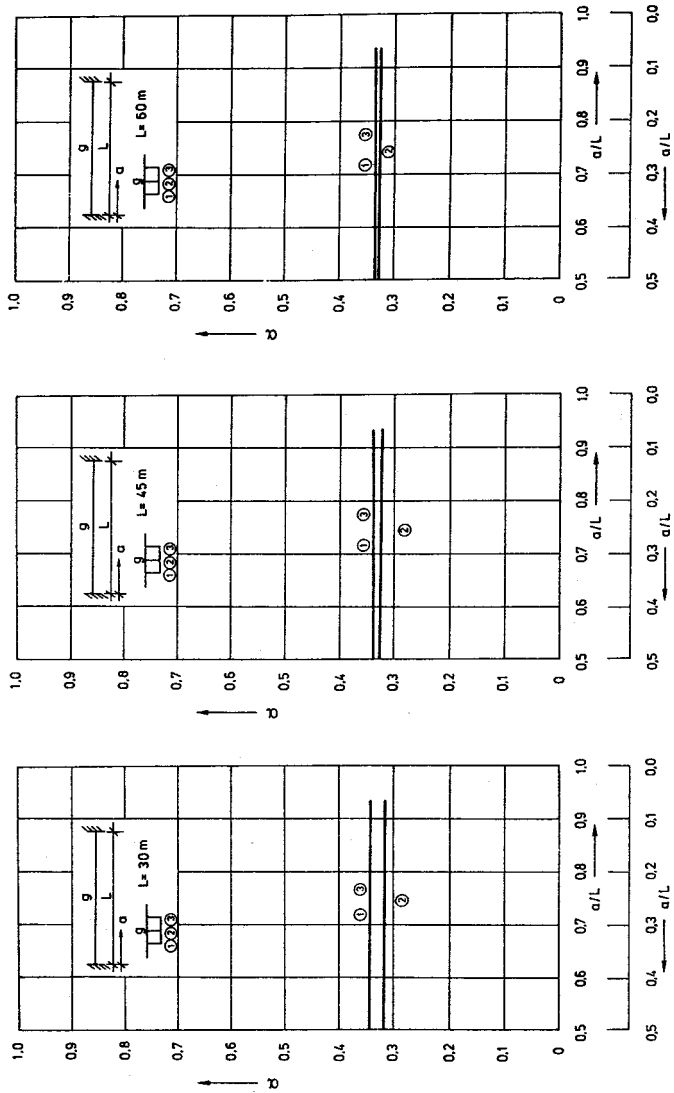


Bild 6.1 Diagramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors  $\alpha_1$  für den Lastfall - A - Eigengewicht;  $L, h = \text{variabel}$

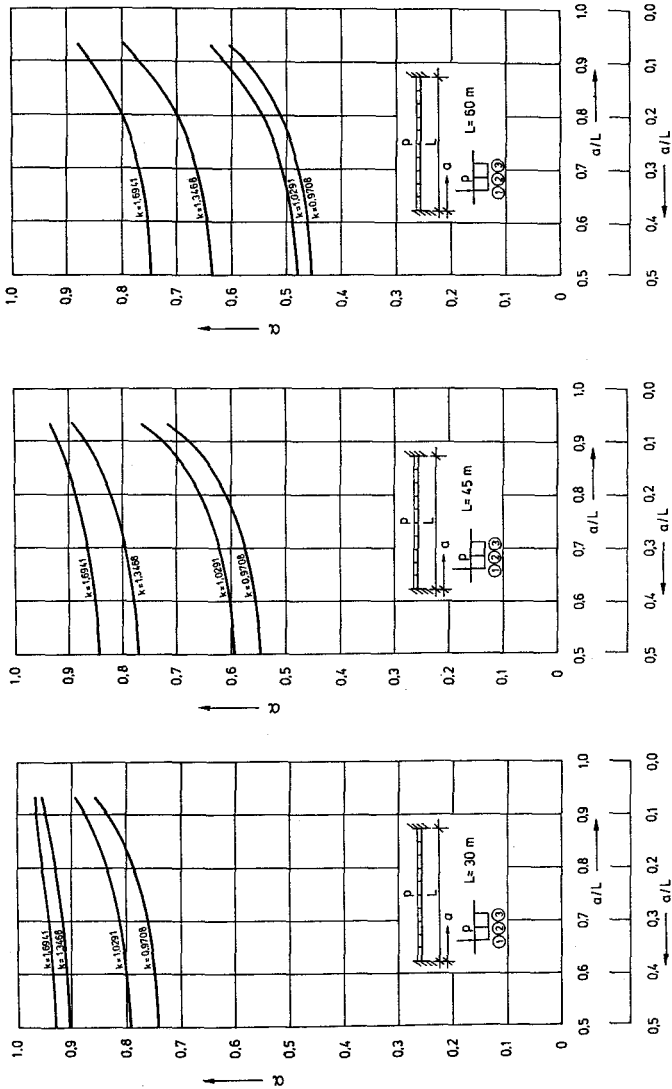


Bild 6.2 Diagramme zur Ermittlung des Lastverteilungs-faktors  $\alpha_2$  für den Lastfall - B - Linienlast auf dem Randsteg;  $L, h =$  variabel

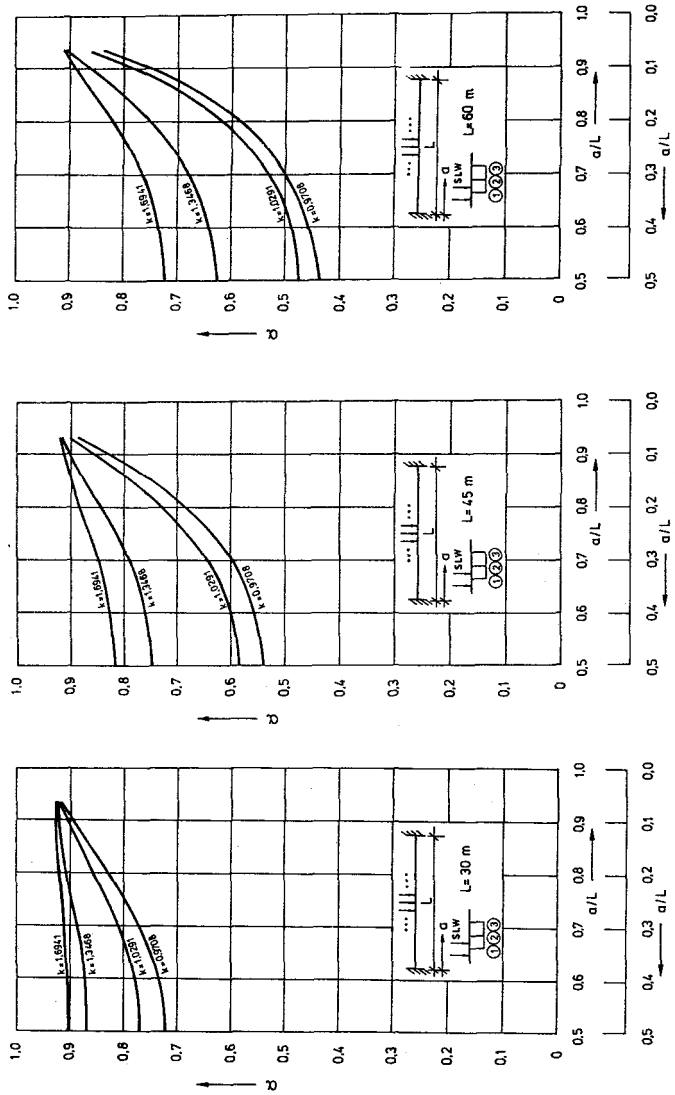


Bild 6.3 Diagramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors  $\alpha_3$  für den Lastfall - C - SLW auf dem Randsteg;  $L, h = \text{variabel}$

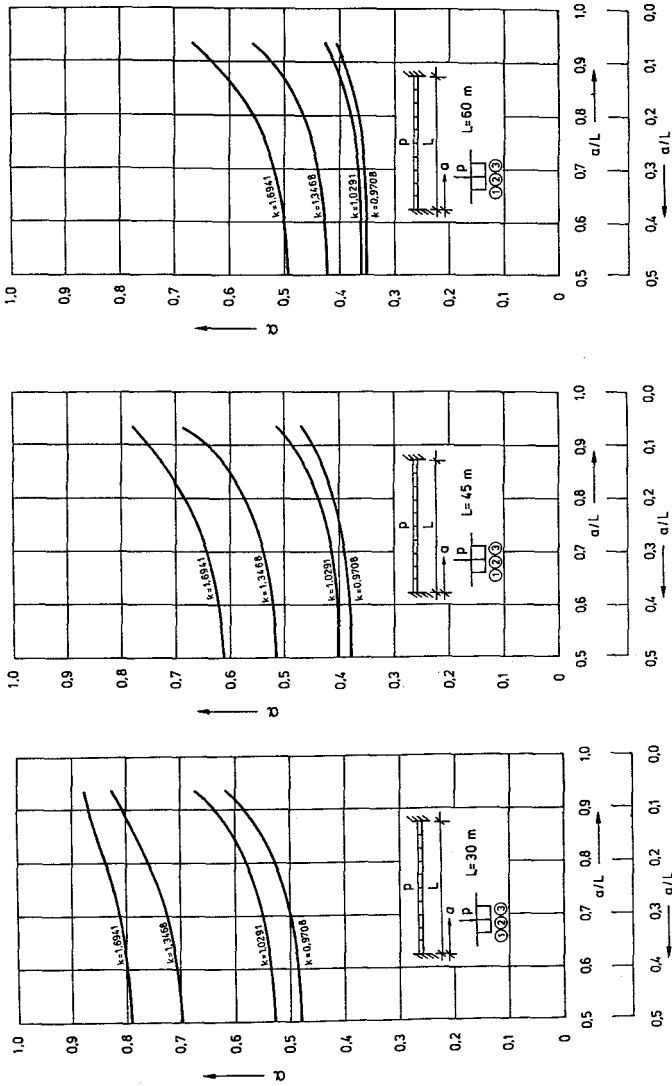


Bild 6.4 Diagramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors  $\alpha_2$  für den Lastfall - D - Linienlast auf dem Mittelsteg;  $L, h = \text{variabel}$



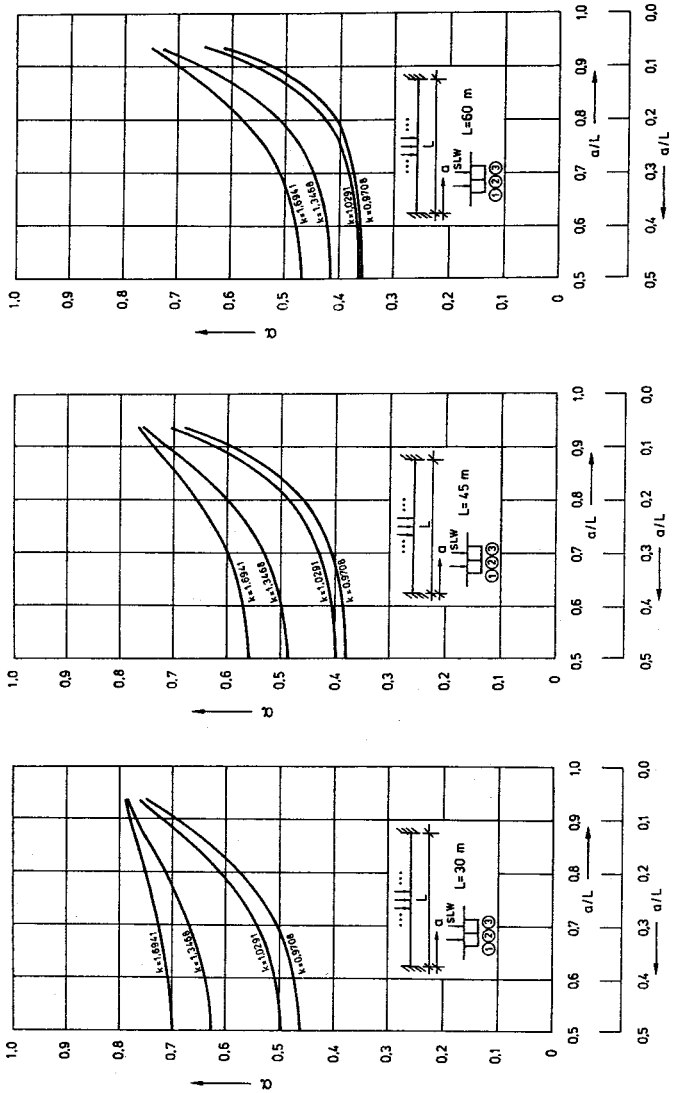


Bild 6.5 Diagramme zur Ermittlung des Lastverteilungsfaktors  $\alpha_3$  für den Lastfall - E - SLW auf dem Mittelsteg;  $L, h = \text{variabel}$

### 6.3 Beispiele

#### 6.3.1 Verdeutlichung des Rechenablaufs

Die untere Randspannung des direkt belasteten Stegs ergibt mit Hilfe der Bemessungsdiagramme und der folgenden Gleichung:

$$\sigma_u = 3 \cdot \alpha_n \cdot \text{zug} M \cdot y_u / I_b$$

$\alpha_n$  = Lastverteilungsfaktor nach den Diagrammen

zug M = Moment nach ebener Stabstatik

(hier: Innenfeld eines Durchlaufträgers)

$y_u$  = Schwerpunktabstand vom unteren Rand

$I_b$  = Flächenmoment 2. Grades des Gesamtquerschnitts

#### 6.3.2 Kastengeometrien

Die Berechnungen sind exemplarisch für zwei Kastengeometrien ausgeführt:

Für den Standardquerschnitt (1. Kastengeometrie) mit

$$L = 45,00 \text{ m und } h = 2,00 \text{ m}$$

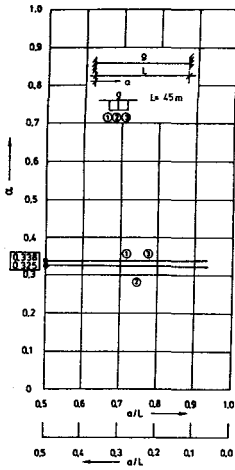
$$\rightarrow I_b = 5,7573 \text{ m}^4 ; y_u = 1,43 \text{ m}$$

und für eine 2. Kastengeometrie mit

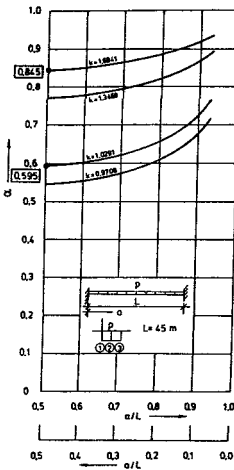
$$L = 45,00 \text{ m und } h = 6,00 \text{ m}$$

$$\rightarrow I_b = 69,70 \text{ m}^4 ; y_u = 3,723 \text{ m.}$$

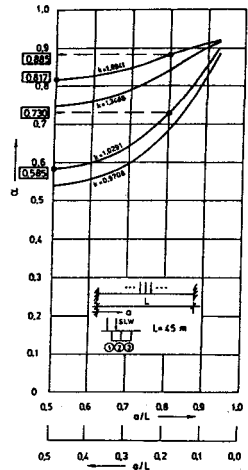
6.3.3 Ermittlung der Lastverteilungsfaktoren aus den Diagrammen für die 1. Kastengeometrie



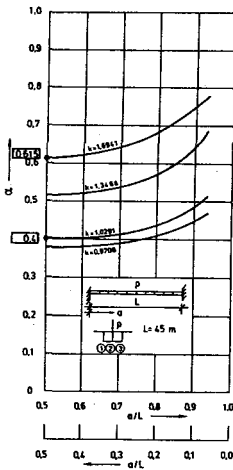
Lastfall - A -



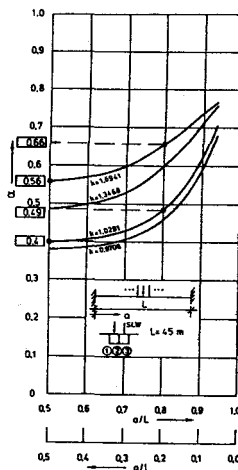
Lastfall - B -



Lastfall - C -



Lastfall - D -



Lastfall - E -

### 6.3.4 Ermittlung der Randspannungen

#### 1. Kastengeometrie

##### Lastfall - A - Eigengewicht

Ort: Steg 1; 0.5 L

zug M = 17.56 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.338 \cdot 17.56 \cdot 1.43/5.7573 = 4.43 \text{ MN/m}^2$$

Ort: Steg 2; 0.5 L

zug M = 17.56 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.325 \cdot 17.56 \cdot 1.43/5.7573 = 4.25 \text{ MN/m}^2$$

##### Lastfall - B - Linienlast auf dem Randsteg

Ort: 0.5 L

zug M = 0.84 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.595 \cdot 0.84 \cdot 1.43/5.7573 = 0.37 \text{ MN/m}^2$$

##### Lastfall - C - SLW auf dem Randsteg

Ort: 0.2 L; Laststellung: 0.2 L

zug M = 1.10 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.73 \cdot 1.10 \cdot 1.43/5.7573 = 0.60 \text{ MN/m}^2$$

Ort: 0.5 L; Laststellung: 0.5 L

zug M = 3.09 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.585 \cdot 3.09 \cdot 1.43/5.7573 = 1.35 \text{ MN/m}^2$$

##### Lastfall - D - Linienlast auf dem Mittelsteg

Ort: 0.5 L

zug M = 0.84 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.4 \cdot 0.84 \cdot 1.43/5.7573 = 0.25 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - E - SLW auf dem Mittelsteg

Ort: 0.2 L; Laststellung: 0.2 L

zug M = 1.10 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.49 \cdot 1.10 \cdot 1.43/5.7573 = 0.40 \text{ MN/m}^2$$

Ort: 0.5 L; Laststellung: 0.5 L

zug M = 3.09 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.4 \cdot 3.09 \cdot 1.43/5.7573 = 0.92 \text{ MN/m}^2$$

2. Kastengeometrie

Lastfall - A - Eigengewicht

Ort: Steg 1; 0.5 L

zug M = 27.81 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.338 \cdot 27.81 \cdot 3.723/69.70 = 1.51 \text{ MN/m}^2$$

Ort: Steg 2; 0.5 L

zug M = 27.81 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.325 \cdot 27.81 \cdot 3.723/69.70 = 1.45 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - B - Linienlast auf dem Randsteg

Ort: 0.5 L

zug M = 0.84 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.845 \cdot 0.84 \cdot 3.723/69.70 = 0.11 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - C - SLW auf dem Randsteg

Ort: 0.2 L; Laststellung: 0.2 L

zug M = 1.10 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.885 \cdot 1.10 \cdot 3.723/69.70 = 0.16 \text{ MN/m}^2$$

Ort: 0.5 L; Laststellung: 0.5 L

zug M = 3.09 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.817 \cdot 3.09 \cdot 3.723/69.70 = 0.41 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - D - Linienlast auf dem Mittelsteg

Ort: 0.5 L

zug M = 0.84 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.615 \cdot 0.84 \cdot 3.723/69.70 = 0.08 \text{ MN/m}^2$$

Lastfall - E - SLW auf dem Mittelsteg

Ort: 0.2 L; Laststellung: 0.2 L

zug M = 1.10 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.66 \cdot 1.10 \cdot 3.723/69.70 = 0.12 \text{ MN/m}^2$$

Ort: 0.5 L; Laststellung: 0.5 L

zug M = 3.00 MNm

$$\sigma_u = 3 \cdot 0.556 \cdot 3.09 \cdot 3.723/69.70 = 0.28 \text{ MN/m}^2$$

6.3.5 Vergleich mit anderen Lösungen

Steghöhe [m]	Last- fall	Last- stellung	Ort	Spannungen [MN/m <sup>2</sup> ]		
				I	II	III
2.00	A	L	Steg1;0.5L	1.94	1.98	2.09
	A	L	Steg2;0.5L	1.94	1.85	1.85
	B	L	0.5L	0.09	0.22	0.22
	C	0.2L	0.2L	0.16	0.42	0.70
	C	0.5L	0.5L	0.49	1.13	1.40
	D	L	0.5L	0.09	0.15	0.11
	E	0.2L	0.2L	0.16	0.32	0.41
	E	0.5L	0.5L	0.49	0.73	0.76
4.00	A	L	Steg1;0.5L	0.98	1.01	1.06
	A	L	Steg2;0.5L	0.98	0.92	0.92
	B	L	0.5L	0.36	0.98	0.99
	C	0.2L	0.2L	0.06	0.17	0.27
	C	0.5L	0.5L	0.19	0.49	0.57
	D	L	0.5L	0.04	0.07	0.05
	E	0.2L	0.2L	0.06	0.13	0.17
	E	0.5L	0.5L	0.18	0.35	0.32
6.00	A	L	Steg1;0.5L	0.67	0.69	0.71
	A	L	Steg2;0.5L	0.67	0.63	0.62
	B	L	0.5L	0.02	0.06	0.06
	C	0.2L	0.2L	0.04	0.10	0.15
	C	0.5L	0.5L	0.11	0.29	0.30
	D	L	0.5L	0.02	0.05	0.03
	E	0.2L	0.2L	0.05	0.08	0.10
	E	0.5L	0.5L	0.02	0.05	0.18

I : gleichmäßiger Lastabtrag  
über alle Stege

II : eigener Ansatz

III : SAP V - Rechnung

Tab. 6.1 Vergleich der Randspannungen nach unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten für L = 30 m

Steghöhe [m]	Last- fall	Last- stellung	Ort	Spannungen [MN/m <sup>2</sup> ]		
				I	II	III
2.00	A	L	Steg1;0.5L	4.36	4.43	4.32
	A	L	Steg2;0.5L	4.36	4.25	4.09
	B	L	0.5L	0.21	0.37	0.31
	C	0.2L	0.2L	0.27	0.60	0.92
	C	0.5L	0.5L	0.77	1.35	1.61
	D	L	0.5L	0.21	0.25	0.21
	E	0.2L	0.2L	0.27	0.40	0.50
4.00	E	0.5L	0.5L	0.77	0.92	1.01
	A	L	Steg1;0.5L	2.22	2.23	2.24
	A	L	Steg2;0.5L	2.22	2.14	2.10
	B	L	0.5L	0.08	0.19	0.17
	C	0.2L	0.2L	0.11	0.27	0.36
	C	0.5L	0.5L	0.30	0.67	0.76
	D	L	0.5L	0.08	0.13	0.09
6.00	E	0.2L	0.2L	0.11	0.23	0.22
	E	0.5L	0.5L	0.30	0.56	0.43
	A	L	Steg1;0.5L	1.49	1.51	1.53
	A	L	Steg2;0.5L	1.49	1.45	1.43
	B	L	0.5L	0.05	0.11	0.11
	C	0.2L	0.2L	0.06	0.16	0.20
	C	0.5L	0.5L	0.16	0.41	0.43
6.00	D	L	0.5L	0.05	0.08	0.06
	E	0.2L	0.2L	0.06	0.12	0.12
	E	0.5L	0.5L	0.16	0.28	0.24

I : gleichmäßiger Lastabtrag  
über alle Stege

II : eigener Ansatz

III : SAP V - Rechnung

Tab. 6.2 Vergleich der Randspannungen nach unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten für L = 45 m



Steghöhe [m]	Last- fall	Last- stellung	Ort	Spannungen [MN/m <sup>2</sup> ]		
				I	II	III
2.00	A	L	Steg1;0.5L	7.74	7.77	8.20
	A	L	Steg2;0.5L	7.74	7.68	7.69
	B	L	0.5L	0.37	0.54	0.47
	C	0.2L	0.2L	0.39	0.72	1.17
	C	0.5L	0.5L	1.04	1.49	1.96
	D	L	0.5L	0.37	0.42	0.38
	E	0.2L	0.2L	0.39	0.49	0.62
	E	0.5L	0.5L	1.05	1.14	1.35
4.00	A	L	Steg1;0.5L	3.91	3.93	4.05
	A	L	Steg2;0.5L	3.91	3.88	3.85
	B	L	0.5L	0.14	0.21	0.25
	C	0.2L	0.2L	0.15	0.34	0.48
	C	0.5L	0.5L	0.40	0.76	0.90
	D	L	0.5L	0.14	0.18	0.15
	E	0.2L	0.2L	0.15	0.23	0.30
	E	0.5L	0.5L	0.40	0.50	0.55
6.00	A	L	Steg1;0.5L	2.68	2.70	2.73
	A	L	Steg2;0.5L	2.68	2.62	2.61
	B	L	0.5L	0.08	0.18	0.17
	C	0.2L	0.2L	0.08	0.21	0.26
	C	0.5L	0.5L	0.23	0.49	0.54
	D	L	0.5L	0.08	0.12	0.09
	E	0.2L	0.2L	0.08	0.15	0.15
	E	0.5L	0.5L	0.25	0.32	0.30

I : gleichmäßiger Lastabtrag  
über alle Stege

II : eigener Ansatz

III : SAP V - Rechnung

Tab. 6.3 Vergleich der Randspannungen nach unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten für L = 60 m

## 6.4 Eigenes Näherungsverfahren zur Ermittlung der Lastverteilungsfaktoren

### 6.4.1 Diskretisierung und Querschnittswerte

Als statisches Ersatzsystem für die Längs- und Querrichtung des zweizelligen Kastenträgers wird ein ebener Trägerrost gewählt. Die Berechnung dieser Stabtragwerke ist heute mit leistungsfähigen PC-Systemen ohne Schwierigkeiten möglich, während für FE-Berechnungen aufgrund der großen Anzahl der Elemente auf Großrechner zurückgegriffen werden muß.

Die gewählte Form der Diskretisierung des Kastenträgers als Trägerrost erfolgt nach den Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit über das Trag- und Verformungsverhalten dieser Strukturen.

Für die Stege und die Fahrbahnplatte werden einzelne Stäbe angenommen. Die Anzahl der Längsträger entspricht der Anzahl der Hohlkastenstege. An den sechs Auflagerpunkten unter den drei Längsträgern sind die Stäbe vertikal unverschieblich gehalten und voll eingespannt. Die Querträger werden von der Fahrbahn- und Bodenplatte gebildet. Die Anzahl der Querträger ist im Prinzip beliebig wählbar; mit zunehmender Stückzahl steigt die Genauigkeit der Ergebnisse. Ihre Anzahl wird deshalb vorrangig durch die vom verwendeten Trägerrostprogramm verarbeitbare Gesamtstabanzahl bestimmt.

Die wichtigste Grundlage für dieses Vorgehen liegt im richtigen Ansatz der Steifigkeiten der Stäbe, da der räumliche Lastabtrag von Kastenträgern auf ein ebenes Problem zurückgeführt wird. Die Querschnittswerte werden nach Zustand I angesetzt und gegebenenfalls mit Reduktionsfaktoren versehen.

- Längsträger:

Bei der Ermittlung der Steifigkeiten der Stege des Hohlkastens kann von dem idealisierten Kastenquerschnitt mit konstanten Platten- und Scheibendicken ausgegangen werden.

Die Biegesteifigkeit wird für jeden Längsträger getrennt ermittelt. Die Stege haben dabei die Form von einsteigigen Plattenbalkenquerschnitten mit oben- und unten liegenden Flanschen. Die Bestimmung der mittragenden Breite kann nach DIN 1075 /103/ erfolgen.

Die Torsionssteifigkeit wird für den äußeren Kastenquerschnitt unter Vernachlässigung des geringen Einflusses des Mittelstegs bestimmt. Um das Tragverhalten genauer zu erfassen, werden 50 Prozent der Torsionssteifigkeit des Querschnitts im Zustand I zu gleichen Teilen auf alle drei Stege verteilt, da Versuche gezeigt haben, daß die Torsionssteifigkeit schon im Zustand I erheblich abfällt, bevor Risse an der Oberfläche feststellbar sind.

- Querträger:

Die Biegesteifigkeit der Querträger ergibt sich aus der Summe der Flächenmomente 2.Grades der Fahrbahn- und der Bodenplatte. Die Breite der Rechteckquerschnitte ermittelt sich aus der Stützweite dividiert durch die Anzahl der Querträger. Als Querschnittshöhen sind die tatsächlichen Plattendicken an den Übergangsstellen Fahrbahnplatte zum Längsträger bzw. Bodenplatte zum Längsträger einzusetzen. Dieses Modell gibt am einfachsten die Wirkung der elastischen Bettung der Längsträger infolge Biegesteifigkeit des Querrahmens wieder.

Die Torsionssteifigkeit der Querträger ist von untergeordneter Bedeutung. Wie bei der Biegesteifigkeit der Querstäbe wird die Summe der Torsionssteifigkeiten der Einzellemente Fahrbahn- und Bodenplatte an der Einspannstelle der Platten errechnet. In Anlehnung an die Torsionsstei-

figkeit der Längsträger wird 50 % der so ermittelten Steifigkeit des Querschnitts im Zustand I in die Rechnung eingeführt.

#### - Auflagerquerträger

Durch die unverschiebliche Lagerung und volle Einspannung der Längsträger ist die Erfassung von Auflagerquerträgern bei der hier vorgenommenen Diskretisierung überflüssig.

Aus der Vielzahl der möglichen Kombinationen der Querschnittswerte - von denen zehn Möglichkeiten selbst untersucht wurden - gibt die gewählte Variante das Trag- und Verformungsverhalten solcher Konstruktionen hinreichend genau wieder. Eine formelmäßige Zusammenfassung der oben beschriebenen Steifigkeiten der Stäbe ist in Bild 6.6 zu finden.

Die Ermittlung des Lastverteilungsfaktors  $\alpha_{0n}$  erfolgt, wie schon bei der Auswertung der Parameterstudie in Kapitel 5 näher erläutert, durch Gegenüberstellung der vertikalen Verformungen in Feldmitte des direkt belasteten Steges der Summe der Verformungen aller drei Längsträger.

#### 6.4.2 Verlauf der Lastverteilungsfaktoren in Längsrichtung

Ausgehend vom Lastverteilungsfaktor  $\alpha_{0n}$  in Feldmitte werden lineare Verläufe für den Lastanteil des direkt belasteten Steges unterschiedlich für die einzelne Bereiche in Tragwerkslängsrichtung angegeben. Bei Linien- und Einzellasten ist im Trägerabschnitt 0.3 bis 0.7 L der Ansatz des für die Feldmitte errechneten Wertes  $\alpha_{0n}$  hinreichend genau. Für die Bereiche 0.0 - 0.3 L und 0.7 bis 1.0 L ist der Anstieg des Lastverteilungsfaktors abhängig von dem Lasttyp (Linienlast oder SLW-Lasten) und für die SLW-Lasten zusätzlich von der Laststellung auf Rand- oder Mittelsteg.

Der Anstieg von  $\alpha_2$  für Linienlasten beträgt, unabhängig von der Laststellung,  $\tan \alpha = 0.5$ . Der Verlauf des Lastvertei-

lungsfaktors für die SLW-Lasten ist abhängig vom Endwert über der Auflagerachse. Dieser Wert, hier mit  $\beta$  bezeichnet, läßt sich vereinfachend nach dem Hebelgesetz bestimmen. Der Wert  $\beta$  ist bei zentrischer Anordnung des SLW über dem Randsteg gleich 1.0 und bei der hier vorliegenden Kastengeometrie für den Mittelsteg  $\beta = (4.25-1.00)/4.25 = 0.765$ .

Es ergeben sich somit folgende Gleichungen für die einzelnen Bereiche:

-  $\alpha_2$  für Linienlasten

Bereich  $0.0 < a/L < 0.3 L$ :

$$\alpha_2 = \alpha_{02} + 0.5 \cdot (0.3 - a/L) \leq 1.0$$

Bereich  $0.3 \leq a/L \leq 0.7 L$ :

$$\alpha_2 = \alpha_{02}$$

Bereich  $0.7 < a/L < 1.0 L$ :

$$\alpha_2 = \alpha_{02} + 0.5 \cdot (a/L - 0.7) \leq 1.0$$

-  $\alpha_3$  für SLW - Lasten (Einzellasten)

Bereich  $0.0 < a/L < 0.3 L$ :

$$\alpha_3 = \alpha_{03} + (\beta - \alpha_{03}) \cdot (0.3 - a/L)/0.3 \leq 1.0$$

Bereich  $0.3 \leq a/L \leq 0.7 L$ :

$$\alpha_3 = \alpha_{03}$$

Bereich  $0.7 < a/L < 1.0 L$ :

$$\alpha_3 = \alpha_{03} + (\beta - \alpha_{03}) \cdot (a/L - 0.7)/0.3 \leq 1.0$$

$\alpha_{0n}$ : Lastverteilungsfaktor in Feldmitte aus der Trägerrost-berechnung

$\beta$ : Lastverteilungsfaktor nach dem Hebelgesetz über der Auflagerachse ( $\beta \leq 1.0$ )

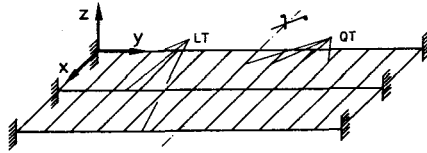
Bild 6.7 zeigt beispielhaft den Vergleich der linearisierten Verläufe des Lastverteilungsfaktors mit den in Kapitel 5 ermittelten Verteilungen. Es ist zu erkennen, daß der Fehler bei den gewählten geradlinigen Verläufen, die aber für alle Geometrien des jeweiligen Lastfalles gelten, 2 - 3 % beträgt. In untergeordneten und für die Konstruktionen nicht maßgebenden Grenzfällen steigt die Ungenauigkeit bis auf 5 %.

#### 6.4.3 Anwendungsgrenzen des Verfahrens

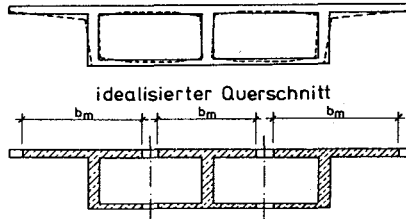
Die Beschreibung des räumlichen Kastenträgers als ebener Trägerrost wurde bei der baupraktisch üblichen Schlankheit des Systems von  $L/h = 20$  entwickelt. Mit den Steifigkeiten der Stäbe (Tabelle in Bild 6.6) erreicht man Genauigkeiten des Lastverteilungsfaktors in Feldmitte gegenüber einer FE-Berechnung von einem Prozent. Mit zunehmender Steifigkeit des Längstragwerks wird der Fehler größer und beträgt bei  $L/h = 10$  für einzelne Lastfälle drei Prozent. Die überprüften Anwendungsgrenzen für das Näherungsverfahren von

$$12 \leq L/h \leq 28$$

beinhalten den baupraktisch relevanten Bereich.

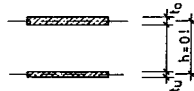


statisches System



idealisierter Querschnitt

3 Längsträger



n Querträger

Steifigkeiten	Längsträger (LT)	Querträger (QT)
Biegesteifigkeit	$I_b = \int z^2 dA$	$I_b = \frac{b \cdot (t_0^3 + t_1^3)}{12}$ $b = L/n$ $t = \text{Plattendicke an der Einspannstelle}$
Torsionssteifigkeit	$I_t = 0,5 \cdot \frac{4 \cdot A_m^2}{3 \oint \frac{1}{t} ds}$ $t = \text{idealisierte Steg- bzw. Plattendicke}$	$I_t = 0,5 \cdot \frac{b \cdot (t_0^3 + t_1^3)}{3}$ $b = L/n$ $t = \text{Plattendicke an der Einspannstelle}$

**Bild 6.6** Diskretisierung des zweizelligen Kastenträgers als ebenes Trägerrostsystem und zugehörige Steifigkeiten der Einzelstäbe

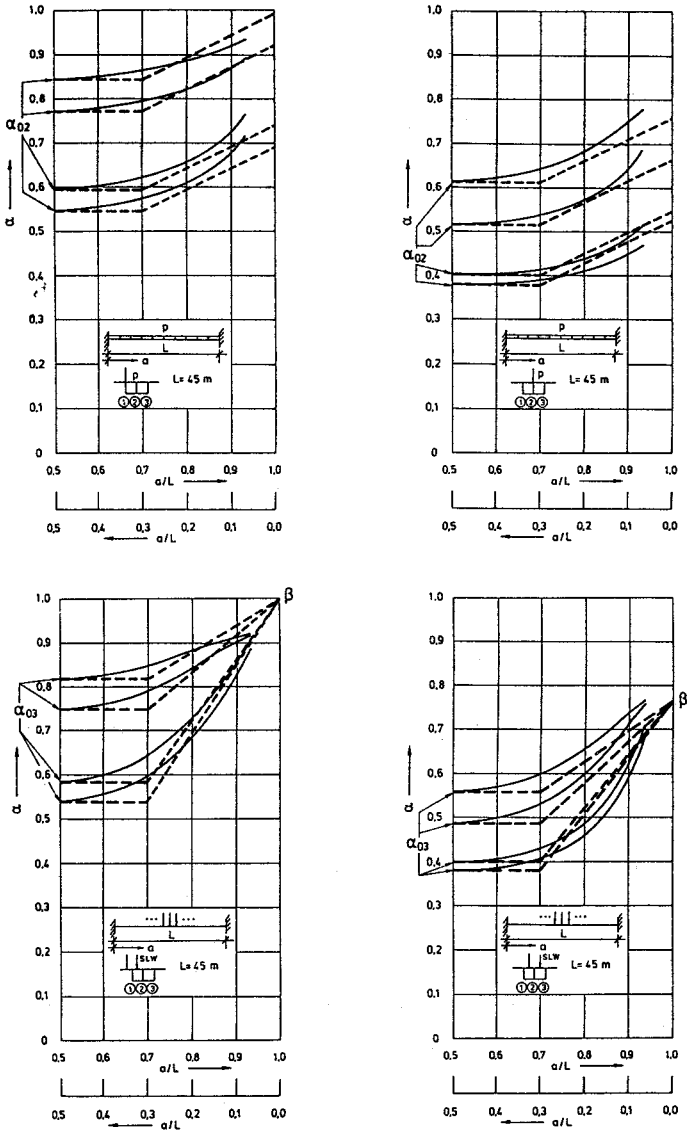


Bild 6.7 Die gestrichelten Linien zeigen den Verlauf der Lastverteilungsfaktoren beim Näherungsverfahren für die Linienlasten und die SLW-Lasten



### 6.5 Besonderheiten der Querverteilung im Bereich von Koppelfugen

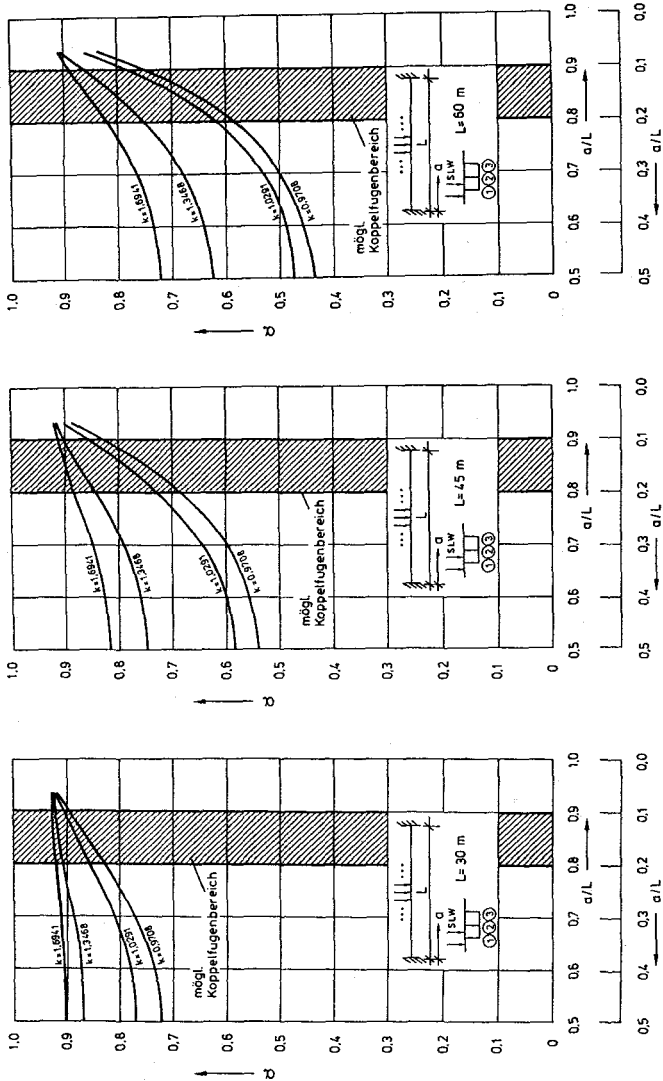
Durchlaufende Spannbetonbrücken werden oft abschnittsweise hergestellt. Durch den mehrfachen Einsatz des Lehrgerüsts erhält man so ein kostengünstiges Bauverfahren. Die Bauwerke können hierbei konventionell eingerüstet werden, indem man die Überbauschalung auf Rüsttürmen absetzt. Wenn sich die Schalung des Überbaus nicht mehr kostengünstig und statisch einwandfrei über Rüsttürme in der angestrebten Bauhöhe - dieses ist vor allem in den Mittel- und Hochgebirgen der Fall - einbauen läßt, so wird häufig mit einer Vorschubrüstung gearbeitet. Diese Rüsttechnik wurde erstmals in den Jahren 1957/58 angewandt. Hierbei wird die Überbauschalung auf Rüstträgern aufgebaut, die direkt unter dem Querschnitt verlaufen (Foto 1.2). Mit Hilfe eines Vorbauträgers kann so die Schalung in der Länge einer Stützweite abschnittsweise vorgefahren werden.

Im Regelfall wird ein ganzes Feld betoniert. In den Arbeitsfugen zwischen zwei benachbarten Bauabschnitten müssen aufgrund des segmentweisen Herstellens die Spannglieder miteinander verbunden - gekoppelt - werden. Die Anordnung dieser "Koppelfugen" erfolgt im allgemeinen in der Nähe des Momentennullpunktes für den Lastfall Eigengewicht.

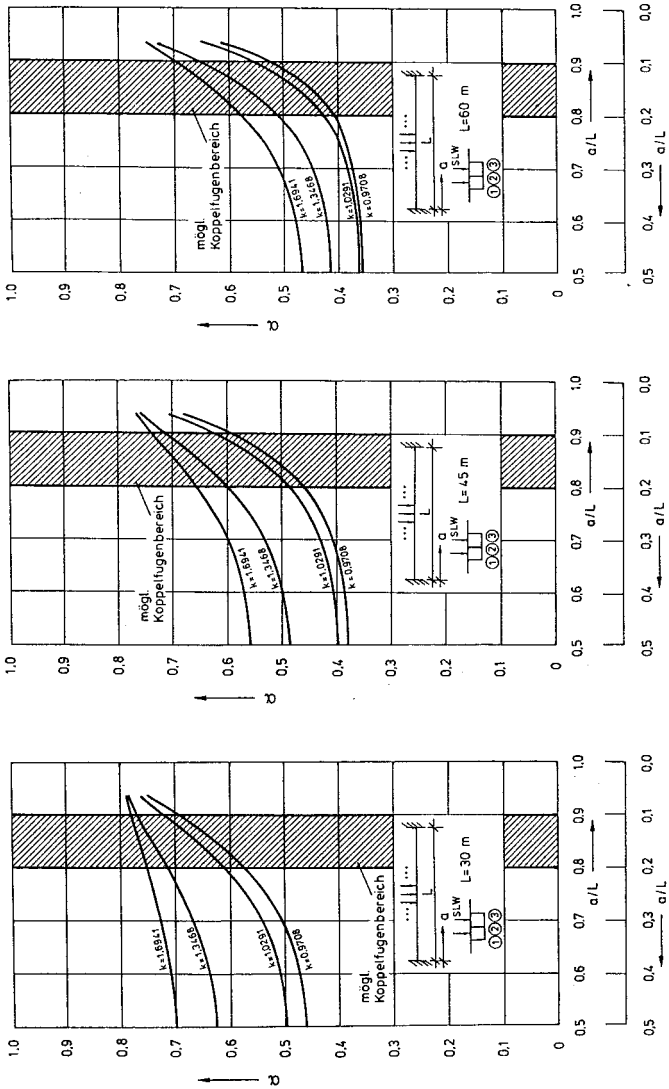
Diese Lage der Koppelfuge in Brückenlängsrichtung hat statische und konstruktive Gründe. Die Biegemomente im sind hier klein im Verhältnis zu den Stütz- bzw. Feldmomenten. Sie haben jedoch bei ungleichmäßiger Eigengewichtsverteilung und wandernder Verkehrslast wechselndes Vorzeichen. Der Kragarm zur Befestigung einer Vorschubrüstung darf nicht zu lang werden, da sonst ungünstigerweise Bauzustände für die Bemessung des Tragwerks zu stark durchschlagen und der Spannstahtbedarf für den Bauzustand wesentlich über dem des Endzustandes liegt. Der mögliche Bereich zur Anordnung von Koppelfugen liegt demzufolge bei 0.1 bis 0.2 L der Stützweite.

In den Bildern 6.6 und 6.7 sind die Bereiche, in denen Koppelfugen angeordnet werden können, für die Lastfälle Schwerlastwagen (SLW) auf dem Rand- bzw. Mittelsteg durch Schraffur hervorgehoben. Der Anstieg des Lastverteilungsfaktors  $\alpha_n$  und die resultierende Erhöhung der Lastanteile des direkt belasten Steges im Bereich von 0.1 bis 0.2 L betragen bis zu 20 % und weichen bis zu 100 % vom Lastverteilungsfaktor in Feldmitte ab.

Die Nichtbeachtung dieses Tragverhaltens von Hohlkästen im Bereich von Koppelfugen und die daraus resultierenden Spannungserhöhungen haben neben den bisher bekannten Ursachen sicherlich dazu beigetragen, daß in früheren Jahren in vielen Koppelfugen Risse auftraten.



**Bild 6.8** Lastverteilungsfaktoren  $\alpha$  im Bereich von Koppelfugen (schraffierte Fläche) für SLW - Belastung auf dem Randsteg in Abhängigkeit von der Kastensteifigkeit



**Bild 6.9** Lastverteilungsfaktoren  $\alpha$  im Bereich von Koppelfugen (schraffierte Fläche) für SLW - Belastung auf dem Mittelsteg in Abhängigkeit von der Kastensteifigkeit

## 7. SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN ERGEBNISSEN

### 7.1 Allgemeines

Um einen größeren Einblick in das Tragverhalten von Kasten-trägern zu erhalten, wurden Parameterstudien mit der Finite-Elemente-Methode durchgeführt. Die Untersuchungen zum Quertragverhalten von zweizelligen, unausgesteiften Hohlkastenquerschnitten vermitteln einen Einblick in das tatsächliche Tragverhalten solcher Konstruktionen.

Zu den einzelnen Themen kann folgendes festgestellt werden:

### 7.2 Tragverhalten

Die Ergebnisse zeigen, daß die Querschnittsform bei der Verformung der Träger unter Lasten weitgehend nicht erhalten bleibt. Bei einem auf dem Mittelsteg belasteten zweizelligen Hohlkasten entsteht eine Durchbiegungsdifferenz zwischen Außen- und Innenstegen.

Zur Vereinfachung wird häufig das Quertragverhalten durch einen für die Trägermitte berechneten Lastverteilungsfaktor erfaßt. Die Ermittlung der Querverteilung nur in Feldmitte liefert keine ausreichende Aussage über den Lastabtrag eines solchen Tragwerks, da nicht vernachlässigbare Veränderungen der Quertragwirkung in Brückenlängsrichtung vorhanden sind. Die über die Brückenlänge variable Querverteilung ist last- und geometrieabhängig.

Beim mehrzelligen Kastenträger treten auch bei symmetrischen Lasten Zusatzspannungen aus Faltwerkwirkung und Profilverformung auf. Die Zusatzbeanspruchungen infolge ungleichmäßigen Lastabtrags über alle Stege steigen sehr stark im Bereich  $a/L = 0.1 - 0.2 L$  an.

Das Quertragverhalten des nicht durch Feldquerträger ausgesteiften Kastenträgers im Massivbrückenbau mit wirtschaftlich

vertretbaren Bauteildicken ist für Verkehrslasten mit einem Plattenbalkenrost vergleichbar. Diese Aussage bezieht sich auf die Verformungen der Querschnittspunkte relativ zueinander, nicht auf die absoluten Durchbiegungen der Träger. Die Gesamtdurchbiegungen sind beim Kastenträger wesentlich kleiner als beim vergleichbaren Trägerrost.

### 7.3 Statische Systeme

Der Lastabtrag wird erheblich beeinflusst vom statischen System des Kastenträgers. Die Lastverteilung in Querrichtung wird infolge einer Einspannung der Stege in Tragwerkslängsrichtung und der daraus resultierenden größeren Steifigkeit des Systems wesentlich geringer.

Dieses Ergebnis ist besonders interessant im Hinblick auf Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Querverteilung von Kastenträgern unter unsymmetrischer Belastung, da die Lösungen zur Erlangung von einfachen geschlossenen Formeln meist von einer gelenkigen Lagerung des Kastenträgers ausgehen.

### 7.4 Querschnittsgeometrie

Der Lastabtrag ist auch von der Querschnittsform, der Aussteifung des Querschnitts sowie von den Verhältnissen Spannweite/Querschnittshöhe und Spannweite/Querschnittsbreite, abhängig.

Die Längsbiegesteifigkeit der Hohlkastenstege, bei konstanter Kastenbreite wesentlich beeinflusst von der Kastenhöhe, ist mit für die Lastverteilung maßgebend, da sich das Verhältnis der Längs- zur Querbiegesteifigkeit ändert. Der Lastabtrag erfolgt mit zunehmender Kastenhöhe hauptsächlich über den von der Last direkt beanspruchten Steg in Tragwerkslängsrichtung bei nur geringer Querverteilung der Lasten zu den nicht direkt belasteten Stegen.

Eine Versteifung des Quertragwerks durch Erhöhung der Platten- und Scheibendicken bewirkt eine Vergrößerung der Lastverteilung; sie ist aber, bezogen auf das Gesamtbauwerk, nur selten sinnvoll. Die Nachteile, die durch eine Verstärkung der Steg- und Plattenelemente in Kauf genommen werden, sind erheblich. Für die Bemessung der Verkehrslastfälle ist diese Maßnahme günstig, jedoch nicht für den Lastfall Eigengewicht und keinesfalls für Zwangsschnittgrößen aus Stützensenkung sowie Temperatur bei statisch unbestimmter Lagerung. Massivere Querschnitte haben größeres Gewicht aus dem Lastfall Eigengewicht, was eine Erhöhung der Vorspannkkräfte nach sich zieht, wodurch die Kosten überproportional steigen. Bei der Wahl der Abmessungen des Quertragwerks ist deshalb immer eine Abstimmung zwischen konstruktiv sinnvollen und wirtschaftlich vertretbaren Lösungen anzustreben.

Der Einfluß einer Stegverbreiterung hat vernachlässigbare Auswirkung auf die Lastverteilung. Erst die zusätzliche Erhöhung der Dicke der oberen und unteren Kastenplatten hat eine spürbare Versteifung des Querrahmens zur Folge, die sich günstiger auf die Lastverteilung auswirkt. Dieses ist aus o. g. Gründen meist jedoch nicht sinnvoll.

Um ausgenutzte Querschnitte und wirtschaftliche Konstruktionen zu erhalten, werden die Fahrbahn- und Bodenplatte von Hohlkastenquerschnitten häufig mit Vouten versehen. Beträgt die Voutenlänge ca. ein Viertel der Stützweite der Fahrbahnplatte, so liegt der Einfluß der Vouten auf die Querverteilung im Bereich der Rechenungenauigkeit und kann deshalb vernachlässigt werden. Verjüngt sich die Voute kontinuierlich von der Einspannstelle am Steg bis zur Plattenmitte, so ist aus statischen und konstruktiven Gründen - die Fahrbahnplatte darf in Feldmitte nicht zu dünn werden - eine größere Plattendicke an der Einspannstelle in den Steg erforderlich. Hierdurch tritt eine Steigerung der Lastverteilung in Brückenquerrichtung ein, die zu berücksichtigen ist.

Ein unausgewogener Querschnitt mit kurzen Kragarmen hat eine Veränderung der Querverteilung von ein bis zwei Prozent zur

Folge und ist bei den betrachteten Massivbrücken dieser Arbeit nicht ausschlaggebend. Einfluß gewinnt dieses Problem im Großbrückenbau (Fluß- oder Talbrücken mit großer Spannweite), wo der größte Momentenanteil aus den Eigengewichtslasten resultiert und die Verkehrslasten nur geringe Momentenanteile erzeugen. Diese Brücken sind jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit.

### 7.5 Lastfälle

Der Lastfall Eigengewicht zeigt für die hier untersuchten ausgewogenen konstanten Querschnittsformen keine signifikanten Änderungen der Lastverteilung entlang der Tragwerkslängsrichtung. Die Lasten werden konstant zu ungefähr einem Drittel von jedem Steg über die gesamte Brückenlänge abgetragen.

Für die Verkehrslastfälle ist die Lastverteilung im Querschnitt wesentlich ungünstiger als nach Ansätzen, die auch für Verkehrslasten gleiche Beanspruchung aller Längsträger ansetzen. In diesen Lastfällen verändert sich der Lastabtrag in Brückenlängsrichtung erheblich. Eine wesentliche geringere Querverteilung tritt in den Bereichen 0.00 - 0.30 L und 0.70 - 1.00 L auf. Sie ist unter wandernden Lastgruppen bei schlanken Tragwerken größer als bei biegesteiferen Konstruktionen.

Auch für Linienlasten auf dem Randsteg über die gesamte Stützweite ist der Lastabtrag in Tragwerkslängsrichtung veränderlich. Die relativen vertikalen Durchbiegungen werden in der Nähe der Auflager geringer. Die Lasten der direkt belasteten Stege werden auf kürzestem Wege zum Auflager übertragen.

Noch ausgeprägter wird dieses Tragverhalten bei wandernden Einzellasten infolge Schwerlastwagen. In einem Querschnitt mit einer Biegeschlankheit von  $L/h = 45.00/2.00 = 22.5$  beträgt der Lastanteil an der Stelle 0.2 L vom Auflager 73 % und wächst mit zunehmender Biegeschlankheit ( $L/h = 45.00/2.00$



= 11.25) auf 84 %. In Brückenlängsrichtung ist bei schlanken Tragwerken die Abnahme der Querverteilung in Richtung Auflagerung wesentlich stärker, da infolge der großen Relativedurchbiegungen in Feldmitte andere Tragwerksteile mehr zum Mittragen herangezogen werden. Bei einem Kastenträger mit mäßiger Schlankheit ist die Änderung des Lastabtrags entlang der Trägerachse nicht so groß, da infolge großer Biegesteifigkeit des belasteten Stegs die Durchbiegungen geringer sind. Bei Tragwerken mit mäßiger Schlankheit und baupraktisch üblichen Konstruktionselementdicken ist die Querverteilung grundsätzlich geringer als bei schlankeren Konstruktionen.

Die Aussagen zu den Verkehrslastfällen gelten sowohl für symmetrisch wie unsymmetrisch zur Tragwerkslängsachse angreifenden Lasten. Beim Vergleich des qualitativen Verlaufs entlang der Tragwerkslängsachse zeigen sich Gemeinsamkeiten zwischen den Lastfällen Linienlast und Schwerlastwagen, wengleich sich die Lastverteilungsfaktoren  $\alpha_n$  in ihrer absoluten Größe unterscheiden. Die Querverteilung wird in allen Fällen zur Feldmitte hin größer. Der Einfluß der direkten Lagerung und der Einspannung macht sich ab ca. 0.3 L durch starken Anstieg des Lastverteilungsfaktors  $\alpha_n$  in Richtung des Auflagers (Ver-ringerung der Querverteilung) bemerkbar.

Bei exzentrisch angreifenden Linien- oder Einzellasten beteiligen sich im belasteten Querschnitt bei Biegeschlankheiten von  $h/L = 1/10$  bis  $1/20$  lediglich z w e i Stege am Lastabtrag. Der lastfernste dritte Steg erhält nur sehr geringe Lastanteile. Bei biegeweicheren Tragwerken mit Schlankheiten von  $h/L = 1/20$  bis  $1/35$  und üblichen Plattendicken beteiligt sich der lastfernste Steg bis maximal 20 % am Lastabtrag.

Die vorangegangenen Ausführungen zum Einfluß der Geometrie- und Lastabhängigkeit der Beanspruchung des Randstegs sind prinzipiell auf Belastungen des Mittelstegs übertragbar. Lediglich die Torsionsbeanspruchung des Querschnitts aus exzentrischer Beanspruchung entfällt, und der absolute Betrag der Querverteilung der Lasten ist wegen des beidseitigen Lastabtrags wesentlich geringer. Es wurde jedoch für symmetrisch

auftretende Verkehrslasten bei keiner der untersuchten Geometrien ein gleichmäßiger Lastabtrag über alle Stege ermittelt.

Der Einfluß des Lasttyps, z. B. Eingabe des SLW als eine idealisierte Einzellast, wirkt sich gering auf die Querverteilung mit Werten zwischen ein bis zwei Prozent aus. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß der Unterschied der maximalen Momente zwischen einer Einzellast und drei Einzellasten gleicher Summe im Abstand von 1.50 m zwischen 10 und 15 Prozent liegt. Diese Differenz geht bei der Multiplikation mit einem Lastverteilungsfaktor direkt in die Schnittgrößen bzw. Spannungen ein.

## 7.6 Rißbildungen

Bei der Spannbetonbauweise verbleibt der Baustoff Beton während der überwiegenden Zeit seiner Lebensdauer im wesentlichen im Zustand I. Rißbildungen sind deshalb meist auf Ausführungsmängel, Rechenungenauigkeiten oder Vernachlässigung von Sonderproblemen zurückzuführen.

Durch Nullsetzen der Biegesteifigkeit der Bodenplatte des Kastenträgers wurde grob angenähert eine gerissene Bodenplatte simuliert. Die Ermittlung des Verlaufs der Querverteilung ergab, daß zwar eine Verschlechterung der Lastverteilung eintrat, jedoch der prozentuale Anteil - trotz der auf ganzer Tragwerkslänge gerissenen Bodenplatte - gering war.

Läßt man die Bodenplatte des Kastenträgers ganz entfallen, erhält man den dreistegigen Plattenbalken als Querschnittsform. Die Lastverteilung in Feldmitte ist vergleichbar mit dem zweizelligen Hohlkasten mit gerissener Bodenplatte.

## 7.7 Koppelfugen

Ganz besondere Bedeutung gewinnen die in dieser Arbeit ermittelten Lastverteilungsfaktoren  $\alpha_n$  im Bereich des Momenten-

nullpunktes für den Lastfall Eigengewicht bei 0.2 L der Stützweite. In diesem Tragwerksabschnitt werden die Koppelfugen bei abschnittsweise hergestellten Brücken angeordnet.

Das in Veröffentlichungen häufig zu findende Argument, daß die schlechte Querverteilung im Bereich der Koppelfuge auf den Übergang des Querschnitts in den Zustand II zurückzuführen ist, konnte nicht bestätigt werden. Die unbefriedigende Querverteilung im Bereich der Koppelfugen ist nicht überwiegend auf die Rißbildung zurückzuführen, sondern wird wesentlich durch die vereinfachten Rechenannahmen beeinflußt. Der Überbau verhält sich im Koppelfugenbereich - auch im gerissenen Zustand - weitgehend elastisch; Rißverpressungen gerissener Koppelfugen führen deshalb zu keiner nennenswerten Verbesserung der Querverteilung, lediglich wird ein ausreichender Korrosionsschutz der Spannglieder und der Betonstahlbewehrung gewährleistet sowie der Zustand I annähernd wieder hergestellt. Tritt Rißbildung nur in einem Steg auf, werden Lastanteile auf benachbarte steifere Bauteile umgelagert.

Die Fehleinschätzung des Tragverhaltens hat durch ungünstige Überlagerungen mit weiteren Problemen dieser Arbeitsfugen zu einem wesentlich höheren Anteil an gerissenen Koppelfugen bei Hohlkastenbrücken (ca. 80 %) als bei Brücken mit Plattenbalkenquerschnitt (ca. 50 %) geführt. Bei Plattenbalkenbrücken wurde die Quertragwirkung wegen des wesentlich klareren Lastabtrags von jeher genauer erfaßt.

In den untersuchten Systemen wurde die Beanspruchung in den direkt belasteten Stegen im Koppelfugenbereich bis zu 75 % höher ermittelt, als sich aus der Annahme gleichmäßiger Verteilung der Lasten auf alle Stege ergibt. Dies führt bei Einzellasten auch zu erheblich höheren Schwellbeanspruchungen der Koppelkonstruktionen. Da die für Ermüdungsuntersuchungen maßgebenden Lasten in der Praxis erheblich kleiner sind als die Normenlasten, kann dennoch bei bestehenden Brückenbauwerken der Dauerschwingnachweis der Koppelanker erbracht werden.

Daß nicht mehr Schäden auftreten, sondern nur Querschnitte mit Koppelankern ausfallen, ist darauf zurückzuführen, daß jeder Querschnitt für die ungünstigste Schnittgrößenkombination bemessen wird - Umlagerungen sind somit möglich - und die Größe der häufig auftretenden Verkehrslasten nur ca. 25 % der Schnittgrößen unter Vollast nach DIN 1072 von 1972 beträgt. Selbst bei stark befahrenen Brücken überfährt stündlich nur ein LKW die Brücke, der z. B. Schwingbreiten in den Koppelankern verursacht, deren rechnerische Verkehrslasten die Größe  $P/4$  erreichen. Dieser Wert wurde bei Messungen unter laufendem Verkehr an verschiedenen Brückenbauwerken gewonnen.

### 7.8 Konsequenzen

Bei bestehenden Bauwerken werden Konsequenzen aus den hier vorgelegten Ergebnissen für den tatsächlich auftretenden Verkehr z. Z. nicht für erforderlich gehalten.

Jedoch sind bei der Zulassung von Schwertransporten auf Hohlkastenbrücken, die mit gleichmäßigen Lastanteilen auf allen Stegen gerechnet wurden, die hier ermittelten genaueren Querverteilungen zugrunde zu legen. Da der Fehler bei unzureichender Ermittlung der Querverteilung für symmetrische Lasten kleiner ist, wird empfohlen, in Grenzfällen die Fahrspur der Schwertransporte auf den Mittelsteg zu legen.

Die Einhaltung der zulässigen Schwellbeanspruchungen von Koppelkonstruktionen an bestehenden Bauwerken ist mit den in dieser Arbeit ermittelten Querverteilungen teilweise nur unter Berücksichtigung des tatsächlichen Verkehrsaufkommens möglich.

Die Ergebnisse dieser Arbeit können als Grundlage dienen, um bei der Berechnung neuer Hohlkastenbrücken eine ausreichende Übereinstimmung von statischer Berechnung und wirklichem Tragverhalten zu erhalten. Die in der Norm DIN 1075 erlaubten Idealisierungen hinsichtlich der Längsspannungen und der zu-

gehörigen Schubspannungen von ein- und mehrzelligen Kasten-trägern liegen z. T. erheblich auf der unsicheren Seite. Eine Erweiterung des maßgebenden Abschnitts 5.3 der DIN 1075 ist bei der nächsten Überarbeitung anzustreben.

Zusammenfassend ergibt sich, daß eine Verbesserung der Quer-verteilerung von Verkehrslasten durch verschiedene Maßnahmen möglich ist; eine annähernd gleichmäßige Verteilerung der Lasten auf alle Stege läßt sich jedoch für praxisrelevante Geometrien und Belastungen im Massivbrückenbau nicht erzielen.

## 8. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird die Querverteilung von symmetrischen und unsymmetrischen Eigen- und Verkehrslasten auf zweizellige Hohlkastenträger für praxisgerechte Geometrien und Belastungen untersucht.

Ausgehend von einem Überblick der in der Literatur veröffentlichten Lösungsmöglichkeiten des räumlichen Lastabtrags von Kastenträgern werden die bekanntesten und wichtigsten Berechnungsverfahren näher beschrieben.

Die daran anschließenden rechnerischen Untersuchungen zum Tragverhalten von Kastenträgern wurden mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode durchgeführt. Im wesentlichen wurde die Kastenengeometrie für das Innenfeld einer mehrfeldrigen Brücke mit Stützweiten zwischen 30 und 60 m in Form einer Parameterstudie variiert. Ein weiterer Hauptparameter bei der Variation der Geometrie war die Kastenhöhe zwischen 1.60 m und 6.00 m. Als Belastung wurden Einheitslastfälle angesetzt, die aus den in der Bundesrepublik Deutschland vorgeschriebenen normenspezifischen Lasten für Brückenbauwerke entwickelt wurden. Der Wahl dieser Parameter gingen umfangreiche Testrechnungen und Fehleruntersuchungen voraus.

Es konnte gezeigt werden, daß die Querverteilung symmetrisch oder unsymmetrisch angreifender Verkehrslasten beim zweizelligen Hohlkastenträger wesentlich ungünstiger ist als bei Ansätzen, die gleiche Beanspruchung aller Längsträger voraussetzen. Entlang der Tragwerkslängsachse zeigen die Querverteilungsfaktoren  $\alpha_n$  deutliche Veränderungen. In allen Fällen wird die Querverteilung zur Feldmitte hin größer. Der Einfluß der direkten Lagerung und der Endeinspannung macht sich ab 0.3 L vom Auflager durch Verringerung der Querverteilung bemerkbar. In diesem Bereich befinden sich bei abschnittsweise hergestellten Brücken die Koppelfugen. Eine Fehleinschätzung des Tragverhaltens kann hier zu ungünstigen Beanspruchungen führen und zur Bildung von Koppelrissen beitragen.

Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse wurden Diagramme und ein Näherungsverfahren entwickelt, das die wesentlichen Einflußfaktoren - nämlich Schlankheit, Querschnittsform und -geometrie sowie die Belastungsvorgaben von DIN 1072 - berücksichtigt. Diese Rechenhilfen erlauben es, das Quertragverhalten von Kastenträgern besser und schneller zu ermitteln.

Der Einfluß der Profilverformung, wie er nach DIN 1075 (Betonbrücken; Bemessung und Ausführung, April 1987) gefordert wird, kann für das Haupttragwerk ohne großen Aufwand durch Berücksichtigung des entsprechenden Lastverteilungsfaktors  $\alpha_n$  erfaßt werden.

Die Diagramme und das Näherungsverfahren wurden anhand der Ergebnisse von Probelastungen an diversen Brückenbauwerken überprüft. Die Gegenüberstellungen zeigen, daß die in dieser Arbeit aufgezeigten Lösungen das Tragverhalten von zweizelligen Hohlkästen hinreichend zutreffend beschreiben.

Die dargestellten Lösungen bieten Hilfen für eine wirtschaftliche Berechnung der Querverteilung von zweizelligen Hohlkastenträgern und die einfache Prüfung komplexer Ausführungsrechnungen unter Berücksichtigung normenspezifischer Lasten.

Als Abschluß werden die erweiterten Erkenntnisse und wesentliche Schlußfolgerungen zum tatsächlichen Quertragverhalten von zweizelligen Hohlkastenträgern zusammengefaßt.

## 9. LITERATURVERZEICHNIS

- / 1/ Alam, K.M.A; Hongladaromp, T.; Lee, S.L.  
Curved Box Girder Bridges with Intermediate Diaphragms  
and Supports  
IVBH-Abhandlungen, 33-II/1973, S. 17 - 36
  
- / 2/ Bachmann, H.; Horisberger, W.  
The Collapse and Reconstruction of a Prestressed Concrete  
Box-Section Girder  
IABSE-PROCEEDINGS 10/77, S. 1 - 19
  
- / 3/ Bathe, K.-J.  
Finite-Elemente-Methoden  
Berlin: Springer-Verlag 1986
  
- / 4/ Bathe, K.-J.; Wilson, E.L.; Peterson, F.E.  
SAP IV, A Structural Analysis Programm for Static and  
Dynamic Response of Linear Systems  
University of California, Berkeley, Report No. EERC  
73-11, June 1973
  
- / 5/ Bakht, B. Jaeger, L.G.; Cheung, M.S.  
Cellular and Voided Slab Bridges  
Proc. of the Amer. Soc. of Civ. Eng. (ASCE), 9/1981,  
S. 1797 - 1813
  
- / 6/ Borck, H.-G.; Wittfoht, H.  
Die Brücke Volmetalstraße in Hagen  
Beton- und Stahlbetonbau 11/1979, S. 265 - 271
  
- / 7/ Bornscheuer, F.W.  
Systematische Darstellung des Biege- und Verdrehvorganges  
unter besonderer Berücksichtigung der Wölbkraft-  
torsion  
Stahlbau 1/1952, S. 1 - 9
  
- / 8/ Bornscheuer, F.W.  
Beispiel und Formelsammlung zur Spannungsberechnung  
dünnwandiger Stäbe mit wölbbehindertem Querschnitt  
Stahlbau 12/1952, S. 225 - 232; 2/1953, S. 32 - 44



- / 9/ Castrillón, E.A.  
Beitrag zur Berechnung langer dünnwandiger dreizelliger  
Träger unter Berücksichtigung der Profilverformung  
Dissertation, Universität Stuttgart, 1975
  
- / 10/ Cheung, M.S.; Cheung, Y.K.  
Analysis of Curved Box Girder Bridges by Finite Strip  
Method  
IVBH-Abhandlung, 31-I/1971
  
- / 11/ Cheung, Y.K.; Cheung, M.S.  
Free Vibration of Curved and Straight Beam-Slab or Box-  
Girder-Bridges  
IVBH-Abhandlungen, 32-II/1972, S. 41 - 52
  
- / 12/ Cheung, M.S.  
Analysis of box girder bridges by grillage and ortho-  
tropic plate methods  
Canadian Journal of Civ. Eng., 9/1982, S. 595 - 601
  
- / 13/ Clough, R.W.; Felippa, C.A.  
A Refined Quadrilateral Element for Analysis of Plate  
Bending  
Proceedings 2nd Conference on Matrix Methods in Struc-  
tural Mechanics, Wright Patterson, AFB, Ohio, 1968
  
- / 14/ Dabrowski, R.  
Der Schubverformungseinfluß auf die Wölbkrafttorsion  
der Kastenträger mit verformbarem biegesteifem Profil  
Bauingenieur 11/1965, S. 444 - 449
  
- / 15/ Dauner, H.-G.  
Zur Berechnung des dünnwandigen Trapezkastenprofils  
ohne Querschotte als biegesteifes Faltwerk  
Dissertation, TH Stuttgart, 1967
  
- / 16/ Dittler, J.  
Querbiegung und Profilverformung des ein- und zwei-  
zelligen Hohlkastens (unter Berücksichtigung der Schei-  
benwirkung der Gurte)  
Bauingenieur 10/1980, S. 317 - 321

- / 17/ Eibl, J.; Pelle, K.  
Zur Schnittgrößenermittlung des schiefen, einzelligen  
Hohlkastens im Betonbrückenbau  
Forschungsbeiträge für die Baupraxis, S. 183 - 201  
Berlin: W. Ernst u. Sohn 1979
- / 18/ Eibl, J.; Iványi, G.  
Ermittlung der Querbiegung von Druckplatten gevouteter  
Hohlkastenträger  
Bautechnik 4/1971, S. 113 - 118
- / 19/ Eßlinger, M.  
Deformationen und Spannungen eines torsionsbeanspruch-  
ten Kastenträgers, der an den Krafteinleitungsstellen  
keine Querschotte hat  
Stahlbau 7/1956, S. 164 - 166
- / 20/ Ewald, G.  
Zur Tragwirkung und Bemessung von Kastenträgern unter  
Berücksichtigung wirklichkeitsnahen Werkstoffverhaltens  
Beton- und Stahlbetonbau 12/1982, S. 301 - 305
- / 21/ Fillo, L.; Tesár, A.  
Parametrická Stúdia Tenkostenných Komorových Prútov  
Stavebnický Casopis 1978, S. 749 - 759
- / 22/ Gallagher, R. H.  
Finite-Element-Analysis  
Berlin, Heidelberg, New York; Springer-Verlag 1976
- / 23/ Glahn, H.  
Die Berechnung der Profilverformung symmetrischer, ein-  
zelliger Kastenträger mit in Längs- und Querrichtung  
veränderlichen Querschnittsverhältnissen  
Beton- und Stahlbetonbau 1/1980, S. 5 - 9
- / 24/ Goschy, B.  
Der Kastenträger ohne Zwischenschotte, Berechnung auf  
Torsion  
Bautechnik 5/1966, S. 159 - 163

- / 25/ Haser, H.  
Zur Berechnung und Bemessung von massiven Kastenträger-  
brücken  
Die Straße 2/1980, S. 56 - 61
- / 26/ Haß, B.  
Die vereinfachte Berechnung der Lastverteilung sehr  
drillsteifer Brücken (Hohlkästen)  
Bauingenieur 4/1965, S. 166 - 168
- / 27/ Hees, G.  
Querschnittsverformungen des einzelligen Kastenträgers  
mit vier Wänden in einer zur Wölbkrafttorsion analogen  
Darstellung  
Bautechnik 11/1971, S. 370 - 377  
Bautechnik 1/1972, S. 21 - 28
- / 28/ Hees, G.; Sulke, B.-M.  
Vereinfachte Berechnung mehrzelliger dünnwandiger  
langer Kastenträger  
Bautechnik 10/1978, S. 325 - 331
- / 29/ Hees, G.  
Lastverzerrungsmoment bei symmetrischen Rechteckkästen  
Bautechnik 10/1972, S. 335 - 337
- / 30/ Helig, R.  
Beitrag zur Theorie der Kastenträger beliebiger Quer-  
schnittsform  
Stahlbau 11/1961, S. 333 - 349
- / 31/ Hetényi, H.  
Beams on Elastic Foundation  
Ann Arbor: The University of Michigan Press,  
Ninth Printing, 1971
- / 32/ Hofbauer, E.  
Zur Berechnung des unsymmetrisch belasteten  
Kastenträgers  
Konstruktiver Ingenieurbau - Berichte 38/39, S. 26 - 33

- / 33/ Ishac, I.I.; Smith, T.R.G.  
Approximations for Moments in Box Girders  
Journal of Structural 11/1985, S. 2333 - 2342
- / 34/ Janssen, J.D.; Veldpaus, F.E.  
Der Einfluß von Querschotten auf das Verhalten von  
Kastenträgern mit Rechteckquerschnitt  
IVBH-Abhandlungen, 33-I/1973, S. 65 - 88
- / 35/ Janssen, J.D.; Veldpaus, F.E.  
Über die Stärke und Steifigkeit von Kastenträgern mit  
Rechteckquerschnitt  
IVBH-Abhandlungen, 32-II/1972, S. 85 - 106
- / 36/ Kliminski, S.  
Structures en poutres-caissons reliées par des dalles  
IVBH-Abhandlungen, 35-I/1975, S. 115 - 148
- / 37/ Knittel, G.  
Zur Berechnung des dünnwandigen Kastenträgers mit  
gleichbleibendem symmetrischen Querschnitt  
Beton- und Stahlbetonbau 9/1965, S. 205 - 211
- / 38/ Koepcke, W.  
Zur Berechnung der Beanspruchungen von dünnwandigen  
Hohlträgern quer zur Längsachse  
Festschrift Walther Schütte, Verlag Baustahlgewebe GmbH  
Düsseldorf, 1959
- / 39/ König, G.; Heunisch, M.  
Bericht über die an der Lahnbrücke Limburg  
durchgeführten Messungen der Dehnungsänderungen und der  
Rißbreitenänderungen unter dem täglichem Verkehr und  
unter definierten Lasten (Mai 1980)  
Frankfurt, 1980

- / 40/ König, G.; Heunisch, M.  
Bericht über die an der Talbrücke Sterbecke  
durchgeführten Messungen der Dehnungsänderungen und der  
Rißbreitenänderungen unter täglichem Verkehr und unter  
definierten Lasten (Juni - Oktober 1981)  
Frankfurt, 1982
- / 41/ König, G.; Heunisch, M.  
Bericht über die an der Talbrücke Büschergrund  
durchgeführten Messungen der Dehnungsänderungen und der  
Rißbreitenänderungen unter täglichem Verkehr und unter  
definierten Lasten (August - Oktober 1982)  
Frankfurt, 1983
- / 42/ Kordina, K.; Eibl, J.; Pelle, K.  
Das Tragverhalten massiver unausgesteifter Hohlkasten-  
träger  
Unveröffentlichte Arbeit im Rahmen eines Forschungs-  
auftrages
- / 43/ Kordina, K.; Ivanyi, G.; Nölting, D.  
Bericht über eine im Dezember 1977 durchgeführte  
Probebelastung an der Krähwinkler Brücke im Zuge der  
L 412  
Braunschweig, April 1978
- / 44/ Kordina, K.; Weber, V.  
Bericht über Messungen am Überbau der Talbrücke  
Kattenohl zur Beurteilung der Quertragfähigkeit im  
Bereich verpreßter Koppelfugenrisse  
Braunschweig, November 1982
- / 45/ Krebs, A.; Lindlar H.-G.  
Zur Profilverformung einzelliger Kastenträger  
Beton- und Stahlbetonbau 1/1988, S. 13 - 18
- / 46/ Kristek, V.  
Tapered Box Girders of Deformable Cross Section  
Journal of the STRUCTURAL DIVISION  
Proc. of the Amer. Soc. of Civ. Eng. (ASCE), 8/1970,  
S. 1761 - 1793

- / 47/ Kristek, V.  
Theory of Box Girders  
Chichester: A Wiley-Interscience Publication, 1979
- / 48/ Kupfer, H.  
Kastenträger mit elastisch ausgesteiftem Querschnitt  
unter Linien- und Einzellasten  
Festschrift Rüsck: Berichte aus Forschung und Praxis  
Berlin: W. Ernst u. Sohn 1969, S. 251 - 263
- / 49/ Lacher, G.  
Zur Berechnung des Einflusses der Querschnittsver-  
formung auf die Spannungsverteilung bei durch elas-  
tische oder starre Querschotte versteiften Tragwerken  
mit prismatischem, offenem oder geschlossenem biege-  
steifem Querschnitt unter Querlast  
Stahlbau 10/1962, S. 299 - 308  
Stahlbau 11/1962, S. 325 - 335
- / 50/ Leonhardt, F.; Walther, R.; Vogler, O.  
Torsions- und Schubversuche an vorgespannten Hohl-  
kastenträgern  
Heft 202 aus der Schriftenreihe des DAfStb, 1968
- / 51/ Lindlar, H.-G.  
Zur Profilverformung einzelliger Kastenträger  
Dissertation, TH Darmstadt, 1984
- / 52/ Lippoth, W.  
Zur Beanspruchung mehrzelliger Hohlkastenquerschnitte  
quer zur Längsachse aus Umlenkkraften der Längsvorspan-  
nung  
Beton- und Stahlbetonbau 12/1970, S. 279 - 289
- / 53/ Malek, J.  
Zum Tragverhalten von vorgespannten Massivbrücken mit  
einzelligem Kastenquerschnitt im elastischen und im  
gerissenen Zustand  
Dissertation, TH Darmstadt, 1984

- / 54/ Maquoi, R.; Massonnet, Ch.  
Théorie non-linéaire de la résistance postcritique des  
grandes poutres en caisson raidies  
IVBH-Abhandlung, 31-II/1971, S. 91 - 140
- / 55/ Maurer, G; Mehlhorn, G.  
Zum Tragverhalten des einzelligen vorgespannten Kasten-  
trägers unter Berücksichtigung wirklichkeitsnahen Werk-  
stoffverhaltens  
Heft 270 aus der Schriftenreihe Forschung, Straßenbau  
und Straßenverkehrstechnik, 1979
- / 56/ Maurer, G.  
Spannbetonkastenträger  
Bauingenieur 5/1976, S. 180 - 182
- / 57/ Manko, Z.  
Die Berechnung von Kastenbrückenfeldern  
Stahlbau 8/1980, S. 246 - 250
- / 58/ May, B.; Wehlmann, T.  
Zur Querbiegung der Fahrbahnplatten von Fertigteil-  
brücken mit Kastenträgern  
Beton- und Stahlbetonbau 2/1984, S. 29 - 35
- / 59/ Mok, K.-S.  
Über Bemessung von Hohlquerschnitten  
Bauingenieur 1/1966, S. 28
- / 60/ Moreau, P.; Virlogeux, M.  
Lessons from a shear-cracked bridge  
International Association for Bridge and Structural  
Engineering  
Eleventh Congress  
Vienne - September 1 - 5/1980, S. 119 - 124
- / 61/ Moustafa, S.D.  
Beitrag zur Berechnung von unausgesteiften einzelligen  
und zweizelligen Hohlkastenträgern mit Querschotten an  
den Auflagern  
Dissertation, TU Hannover, 1965

- / 62/ Mrotzek, M.  
Berechnung von Hohlkastenträgern ohne Querschotte  
Beton- und Stahlbetonbau 12/1971, S. 281 - 285
- / 63/ Müller, P.  
Torsion von Kastenträgern mit elastisch verformbarem  
symmetrischem Querschnitt  
Schweizerische Bauzeitung 11/1953, S. 673 - 676
- / 64/ Nyffeler, H.  
Faltwerke im Hallen- und Brückenbau  
Düsseldorf; Werner-Verlag 1967
- / 65/ Pahl, J.; Stein, E.; Wunderlich, W.  
Finite Elemente in der Baupraxis  
Berlin; Verlag Wilhelm Ernst & Sohn
- / 66/ Pelle, K.  
Beitrag zur Berechnung schief gelagerter einzelliger  
massiver Kastenbrücken  
Dissertation, Universität Dortmund, 1976
- / 67/ Prakash Rao, D.S.  
Einfluß der Querschnittsabmessungen auf die Profilver-  
formungen von massiven Hohlkastenträgern  
Beton- und Stahlbetonbau 1/1981, S. 6 - 9
- / 68/ Du Preez, R.  
Berechnung prismatischer Flächentragwerke mit Hilfe von  
finiten Streifenelementen  
Bautechnik 5/1972, S. 151 - 162
- / 69/ Pulmano, V.A.  
Analysis of Continuous Box Girder Bridges Without  
Interior Diaphragms  
IVBH-Abhandlung 34-II/1974, S. 131 - 148
- / 70/ Resinger, F.  
Der dünnwandige Kastenträger  
Forschungshefte aus dem Gebiet des Stahlbaus  
Köln: Stahlbau-Verlag 1959, Heft 13



- / 71/ Rockey, K.C.; Evans, H.R.  
The Nodal Section Method for the Analysis of Box Girders  
IVBH-Abhandlung Band 35-I/1975, S. 185 - 216
- / 72/ Roßner, W.  
Sawoe - Brückensystem aus Spannbetonfertigteilen  
Beton- und Stahlbetonbau 12/1977, S. 289 - 294
- / 73/ Schardt, R.  
Eine Erweiterung der technischen Biegelehre für die  
Berechnung biegesteifer prismatischer Faltwerke  
Stahlbau 6/1966, S.161 - 171
- / 74/ Schlaich, J.; Scheef, H.  
Betonhohlkastenbrücken  
Structural Engineering Documents  
Verlag: IVBH - Zürich
- / 75/ Schmitz, H.  
Ziele und Aufgaben im Massivbrückenbau  
Konstruktiver Ingenieurbau in Forschung und Praxis,  
S. 239 - 252  
Düsseldorf: Werner-Verlag, 1976
- / 76/ Schwarz, H.R.  
Methode der finiten Elemente  
Stuttgart, Teubner-Verlag, 1980
- / 77/ Scordelis, A.C.; Bouwkamp, J.G.; u.a.  
Ultimate Strength of Skew RC Box Girder Bridge  
Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. (ASCE), 5/1979, S. 105 - 121
- / 78/ Scordelis, A.C.; Elfgren, L.G.; Larsen, P.K.  
Time-Dependent Behavior of Concrete Box Girder Bridges  
ACI - Journal 1/1979, S. 159 - 177
- / 79/ Scordelis, A.C.; Seible, F.  
Time-Dependent Behavior of a Skew Reinforced Concrete  
Box Girder Bridge  
ACI-Journal 1/1983, S. 84 - 92

- / 80/ Scordelis, A.C.; Tanvir Wasti, S.; Seible, F.  
Structural Response of Skew RC Box Girder Bridge  
Proc. of the Amer. Soc. of Civ. Eng. (ASCE), 1/1982,  
S. 89 - 104
- / 81/ Sedlacek, G.  
Die Anwendung der erweiterten Biege- und Verdrehtheorie  
auf die Berechnung von Kastenträgern mit verformbarem  
Querschnitt  
Straße Brücke Tunnel 9/1971, S. 241 - 244  
Straße Brücke Tunnel 12/1971, S. 329 - 325
- / 82/ Seible, F.; Scordelis, A.C.  
Nonlinear behaviour and failure analysis of multicell  
reinforced concrete box girder bridges  
Can. J. Civ. Eng. 11/1984, S. 411 - 422
- / 83/ Simon, G.  
Die Güte von Berechnungsmodellen für Verformungsber-  
echnungen von dreistegigen Kastenträgern  
Stahlbau 4/1985, S. 107 - 111
- / 84/ Sisodiya, R.G.; Cheung, Y.K.; Ghali, A.  
Finite Element Analysis of Skew Curved Box-Girder  
Bridge  
IVBH-Abhandlung, 30-II, S. 191 - 199
- / 85/ Sisodiya, R.G.; Ghali, A.  
Analysis of Box Girder Bridges of Arbitrary Shape  
IVBH-Abhandlung, 33-I/1973, S. 203 - 218
- / 86/ Stampf, W.  
Längs- und Querbeanspruchung des Zweistegträgers bei  
exzentrischer Belastung  
Straße Brücke Tunnel 3/1973, S. 57 - 67
- / 87/ Steinle, A.  
Torsion und Profilverformung  
Dissertation, TH Stuttgart, 1967

- / 88/ Steinle, A.  
Torsion und Profilverformung beim einzelligen Kasten-  
träger  
Beton- und Stahlbetonbau 9/1970, S. 215 - 222
- / 89/ Steinle, A.  
Praktische Berechnung eines durch Verkehrslasten unsym-  
metrisch belasteten Kastenträgers am Beispiel der  
Henschbachtalbrücke  
Beton- und Stahlbetonbau 10/1970, S. 249 - 253
- / 90/ Steinle, A.  
Ergänzung zu den Aufsätzen  
Beton- und Stahlbetonbau 6/1972, S. 143 - 144
- / 91/ Sulke, B.-M.  
Berechnung dünnwandiger prismatischer Faltwerke mit  
verformbarem mehrzelligen Querschnitt  
Dissertation, Universität Stuttgart, 1977
- / 92/ Usuki, T.  
Ein Beitrag zur Theorie dünnwandiger prismatischer  
Stäbe mit offen-geschlossenem Profil aus vier Scheiben  
Bautechnik 1/1983, S. 14 - 23
- / 93/ Valentin, G.  
Zum Einfluß der Querkräfte auf die Formänderungen dünn-  
wandiger, mehrzelliger Stäbe  
Bauingenieur 6/1967, S. 218 - 221
- / 94/ Valentin, G.  
Zum Einfluß der Querkräfte auf die Formänderungen dünn-  
wandiger Hohlquerschnitte  
Bauingenieur 12/1964, S. 495 - 496
- / 95/ Wittfoht, H.  
Betrachtungen zur Querschnittsbildung von Spann-  
betonbrücken an Bauausführungen 1960  
Beton- und Stahlbetonbau 6/1962, S. 129 - 141

- / 96/ Wlassow, W.S.  
Dünnwandige elastische Stäbe, Band 1  
Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1964
- / 97/ Wunderlich, W.  
SAP IV - B, Beschreibung und Benutzerhandbuch  
Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Mitteilung  
Nr. 79-3, Ruhr Universität Bochum, 1979
- / 98/ Yajima, S.  
Zur Berechnung von einzelligen Hohlkästenträgern mit  
Querschotten  
Bauingenieur 1985, S. 99 - 104
- / 99/ Zelger, C.  
Verformungsmessungen an Brücken  
Stahlbetonbau, Berichte aus Forschung und Praxis 1969,  
S. 217 - 225

#### Vorschriften

- /100/ DIN 1045 Beton- und Stahlbeton
- /101/ DIN 1055 Lastannahmen für Bauten
- /102/ DIN 1072 Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen
- /103/ DIN 1075 Betonbrücken; Bemessung und Ausführung
- /104/ DIN 4227 Spannbeton
- /105/ ZTV - K 80 Zusätzliche Technische Vorschriften für  
Kunstbauten
- /106/ EZV - K - NS 84 Technische und vertragliche  
Ergänzungen zu den ZTV - K 80 für den Geschäftsbereich  
der Niedersächsischen Straßenbauverwaltung
- /107/ RAS - Q Richtlinie für die Anlage von Landstraßen;  
Teil I: Querschnitt

/108/ Richtzeichnungen für Straßenbrücken

/109/ Allgemeines Rundschreiben Straßenbau für den Brücken-  
und Ingenieurbau Nr. 14/81

Erlaubnis für Schwertransporte

hier: Nachrechnen von Brücken

**A. ANHANG**

Querverteilung für Lastfall - A Eigengewicht; L = 30.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	L	0.067L	0.542	0.512	0.542	33.96	32.08	33.96
		0.10L	0.905	0.847	0.905	34.06	31.88	34.06
		0.20L	2.212	2.064	2.212	34.09	31.81	34.09
		0.33L	3.813	3.587	3.813	34.01	31.99	34.01
		0.50L	4.657	4.401	4.657	33.96	32.09	33.96
2.00	L	0.067L	0.448	0.419	0.448	34.07	31.86	34.07
		0.10L	0.704	0.653	0.704	34.16	31.68	34.16
		0.20L	1.608	1.489	1.608	34.18	31.65	34.18
		0.33L	2.704	2.524	2.704	34.09	31.82	34.09
		0.50L	3.279	3.074	3.279	34.04	31.91	34.04
4.00	L	0.067L	0.357	0.325	0.357	34.36	31.28	34.36
		0.10L	0.461	0.419	0.461	34.38	31.25	34.38
		0.20L	0.778	0.708	0.778	34.36	31.27	34.36
		0.33L	1.142	1.045	1.142	34.30	31.39	34.30
		0.50L	1.329	1.221	1.329	34.26	31.48	34.26
6.00	L	0.067L	0.373	0.337	0.373	34.44	31.12	34.44
		0.10L	0.455	0.411	0.455	34.44	31.11	34.44
		0.20L	0.655	0.593	0.655	34.42	31.16	34.42
		0.33L	0.863	0.785	0.863	34.37	31.26	34.37
		0.50L	0.968	0.883	0.968	34.34	31.32	34.34

Querverteilung für Lastfall - A Eigengewicht; L = 45.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	L	0.067L	1.654	1.615	1.654	33.60	32.81	33.60
		0.10L	3.055	2.966	3.055	33.66	32.68	33.66
		0.20L	8.363	8.138	8.363	33.63	32.73	33.63
		0.33L	15.179	14.847	15.179	33.58	32.84	33.58
		0.50L	18.858	18.479	18.858	33.56	32.88	33.56
2.00	L	0.067L	1.244	1.203	1.244	33.70	32.59	33.70
		0.10L	2.213	2.131	2.213	33.75	32.50	33.75
		0.20L	5.842	5.652	5.842	33.70	32.60	33.70
		0.33L	10.465	10.191	10.465	33.63	32.75	33.63
		0.50L	12.953	12.643	12.953	33.60	32.80	33.60
4.00	L	0.067L	0.716	0.670	0.716	34.06	31.87	34.06
		0.10L	1.050	0.983	1.050	34.06	31.88	34.06
		0.20L	2.224	2.105	2.224	33.94	32.12	33.94
		0.33L	3.669	3.505	3.669	33.84	32.33	33.84
		0.50L	4.434	4.251	4.434	33.80	32.40	33.80
6.00	L	0.067L	0.678	0.625	0.678	34.23	31.55	34.23
		0.10L	0.886	0.817	0.886	34.22	31.56	34.22
		0.20L	1.539	1.437	1.539	34.09	31.83	34.09
		0.33L	2.312	2.180	2.312	33.98	32.04	33.98
		0.50L	2.715	2.570	2.715	33.94	32.13	33.94

Querverteilung für Lastfall - A Eigengewicht; L = 60.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	L	0.075L	4.769	4.742	4.769	33.40	33.21	33.40
		0.10L	7.664	7.592	7.664	33.44	33.12	33.44
		0.20L	22.373	22.127	22.373	33.46	33.09	33.46
		0.33L	41.820	41.390	41.820	33.45	33.10	33.45
		0.50L	52.563	52.032	52.563	33.45	33.11	33.45
2.00	L	0.075L	3.444	3.396	3.444	33.49	33.02	33.49
		0.10L	5.445	5.358	5.445	33.51	32.98	33.51
		0.20L	15.523	15.297	15.523	33.50	33.01	33.50
		0.33L	28.755	28.402	28.755	33.47	33.06	33.47
		0.50L	36.033	35.614	36.033	33.46	33.07	33.46
4.00	L	0.075L	1.513	1.451	1.513	33.79	32.41	33.79
		0.10L	2.171	2.086	2.171	33.77	32.45	33.77
		0.20L	5.364	5.205	5.364	33.67	32.67	33.67
		0.33L	9.440	9.218	9.440	33.60	32.81	33.60
		0.50L	11.648	11.397	11.648	33.57	32.85	33.57
6.00	L	0.075L	1.198	1.128	1.198	34.00	32.01	34.00
		0.10L	1.566	1.479	1.566	33.96	32.08	33.96
		0.20L	3.271	3.132	3.271	33.81	32.38	33.81
		0.33L	5.391	5.208	5.391	33.71	32.57	33.71
		0.50L	6.527	6.323	6.527	33.68	32.63	33.68
Querverteilung für Lastfall - B Linienlast; L = 30.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	L	0.067L	0.071	0.016	-0.004	85.83	19.02	-4.85
		0.10L	0.115	0.028	-0.005	83.33	20.29	-3.62
		0.20L	0.267	0.076	-0.006	79.23	22.55	-1.78
		0.33L	0.439	0.141	0.001	75.56	24.27	0.17
		0.50L	0.526	0.177	0.007	74.08	24.93	0.99
2.00	L	0.067L	0.057	0.010	-0.003	89.27	16.14	-5.41
		0.10L	0.088	0.017	-0.005	87.45	17.39	-4.84
		0.20L	0.192	0.046	-0.008	83.48	20.00	-3.48
		0.33L	0.311	0.085	-0.010	80.57	22.02	-2.59
		0.50L	0.371	0.106	-0.009	79.27	22.65	-1.92
4.00	L	0.067L	0.037	0.003	-0.002	95.41	8.55	-3.96
		0.10L	0.047	0.005	-0.002	94.70	9.39	-4.09
		0.20L	0.078	0.010	-0.004	92.65	11.72	-4.38
		0.33L	0.113	0.017	-0.006	91.13	13.71	-4.84
		0.50L	0.130	0.021	-0.007	90.28	14.58	-4.86
6.00	L	0.067L	0.032	0.002	-0.001	96.86	6.08	-2.93
		0.10L	0.038	0.003	-0.001	96.52	6.50	-3.02
		0.20L	0.055	0.005	-0.002	95.33	7.95	-3.28
		0.33L	0.071	0.007	-0.003	94.03	9.46	-3.49
		0.50L	0.079	0.009	-0.003	92.94	10.59	-3.53



Querverteilung für Lastfall - B Linienlast; L = 45.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	L	0.067L	0.182	0.067	0.005	71.65	26.38	1.97
		0.10L	0.318	0.128	0.022	67.95	27.35	4.70
		0.20L	0.784	0.373	0.123	61.25	29.14	9.61
		0.33L	1.313	0.702	0.308	56.52	30.22	13.26
		0.50L	1.577	0.883	0.427	54.62	30.59	14.79
2.00	L	0.067L	0.136	0.043	-0.001	76.40	24.16	-0.56
		0.10L	0.231	0.081	0.006	72.64	25.47	1.89
		0.20L	0.554	0.232	0.052	66.11	27.68	6.21
		0.33L	0.922	0.437	0.145	61.30	29.06	9.64
		0.50L	1.106	0.549	0.206	59.43	29.50	11.07
4.00	L	0.067L	0.070	0.012	-0.004	89.42	15.58	-5.00
		0.10L	0.100	0.020	-0.005	86.96	17.39	-4.35
		0.20L	0.200	0.051	-0.007	81.97	20.90	-2.87
		0.33L	0.316	0.093	-0.007	78.61	23.13	-1.74
		0.50L	0.375	0.116	-0.005	77.16	23.87	-1.03
6.00	L	0.067L	0.056	0.007	-0.003	93.55	10.99	-4.54
		0.10L	0.072	0.010	-0.003	92.19	12.30	-4.49
		0.20L	0.120	0.021	-0.006	88.89	15.56	-4.44
		0.33L	0.175	0.037	-0.008	85.78	18.14	-3.92
		0.50L	0.203	0.046	-0.009	84.58	19.17	-3.75
Querverteilung für Lastfall - B Linienlast; L = 60.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	L	0.075L	0.442	0.220	0.072	60.22	29.97	9.81
		0.10L	0.678	0.358	0.141	57.60	30.42	11.98
		0.20L	1.751	1.080	0.600	51.03	31.48	17.49
		0.33L	2.999	2.053	1.358	46.79	32.03	21.19
		0.50L	3.642	2.594	1.820	45.21	32.20	22.59
2.00	L	0.075L	0.318	0.142	0.036	64.11	28.63	7.26
		0.10L	0.481	0.230	0.074	61.27	29.30	9.43
		0.20L	1.215	0.686	0.333	54.39	30.71	14.91
		0.33L	2.059	1.303	0.777	49.75	31.48	18.77
		0.50L	2.489	1.645	1.052	47.99	31.72	20.29
4.00	L	0.075L	0.132	0.037	-0.003	79.52	22.29	-1.81
		0.10L	0.183	0.056	-0.001	76.89	23.53	-0.42
		0.20L	0.413	0.156	0.021	70.00	26.44	3.56
		0.33L	0.681	0.292	0.067	65.48	28.08	6.44
		0.50L	0.818	0.367	0.098	63.76	28.60	7.64
6.00	L	0.075L	0.093	0.018	-0.005	87.82	16.68	-4.50
		0.10L	0.119	0.025	-0.005	85.61	17.99	-3.60
		0.20L	0.232	0.064	-0.006	80.00	22.07	-2.07
		0.33L	0.364	0.117	-0.001	75.83	24.38	-0.21
		0.50L	0.433	0.146	0.002	74.53	25.13	0.34

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 30.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	0.067L	0.067L	0.176	0.022	-0.007	92.15	11.52	-3.66
		0.10L	0.228	0.031	-0.011	91.94	12.50	-4.44
		0.20L	0.288	0.053	-0.024	90.85	16.72	-7.57
		0.33L	0.277	0.068	-0.035	89.35	21.94	-11.29
		0.50L	0.217	0.061	-0.040	91.18	25.63	-16.81
		0.67L	0.137	0.037	-0.036	99.28	26.81	-26.09
		0.80L	0.070	0.017	-0.024	112.02	26.76	-38.78
		0.90L	0.027	0.005	-0.012	131.50	25.74	-57.23
		0.933L	0.016	0.003	-0.007	143.90	25.02	-68.92
		1.60	0.10L	0.067L	0.207	0.029	-0.008	90.79
0.10L	0.292			0.044	-0.012	90.12	13.58	-3.70
0.20L	0.419			0.084	-0.024	87.47	17.54	-5.01
0.33L	0.414			0.111	-0.033	84.15	22.56	-6.71
0.50L	0.325			0.102	-0.037	83.33	26.15	-9.49
0.67L	0.203			0.064	-0.036	87.88	27.71	-15.58
0.80L	0.102			0.029	-0.026	97.14	27.62	-24.76
0.90L	0.039			0.009	-0.013	111.95	26.71	-38.66
0.933L	0.022			0.005	-0.009	121.08	26.17	-47.24
1.60	0.20L			0.067L	0.242	0.049	-0.009	85.82
		0.10L	0.392	0.082	-0.014	85.22	17.83	-3.04
		0.20L	0.814	0.191	-0.022	82.81	19.43	-2.24
		0.33L	0.955	0.285	-0.020	78.28	23.36	-1.64
		0.50L	0.777	0.279	-0.017	74.78	26.85	-1.64
		0.67L	0.485	0.180	-0.027	76.02	28.21	-4.23
		0.80L	0.242	0.084	-0.028	81.21	28.19	-9.40
		0.90L	0.090	0.028	-0.018	89.78	27.83	-17.61
		0.933L	0.052	0.015	-0.012	95.19	27.52	-22.71
		1.60	0.33L	0.067L	0.219	0.062	-0.010	80.81
0.10L	0.372			0.107	-0.012	79.66	22.91	-2.57
0.20L	0.938			0.283	-0.009	77.39	23.35	-0.74
0.33L	1.555			0.494	0.012	75.45	23.97	0.58
0.50L	1.464			0.539	0.029	72.05	26.53	1.43
0.67L	0.940			0.370	0.006	71.43	28.12	0.46
0.80L	0.471			0.179	-0.017	74.41	28.28	-2.69
0.90L	0.174			0.061	-0.017	79.82	27.98	-7.80
0.933L	0.100			0.033	-0.013	83.33	27.50	-10.83
1.60	0.50L			0.067L	0.163	0.055	-0.011	78.74
		0.10L	0.283	0.098	-0.013	76.90	26.63	-3.53
		0.20L	0.755	0.277	-0.003	73.37	26.92	-0.29
		0.33L	1.457	0.538	0.034	71.81	26.52	1.68
		0.50L	1.972	0.699	0.060	72.21	25.60	2.20
		0.67L	1.457	0.538	0.034	71.81	26.52	1.68
		0.80L	0.755	0.277	-0.003	73.37	26.92	-0.29
		0.90L	0.283	0.098	-0.013	76.90	26.63	-3.53
		0.933L	0.163	0.055	-0.011	78.74	26.57	-5.31

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 30.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
2.00	0.067L	0.067L	0.151	0.017	-0.005	92.64	10.43	-3.07
		0.10L	0.186	0.023	-0.008	92.54	11.44	-3.98
		0.20L	0.224	0.036	-0.018	92.56	14.88	-7.44
		0.33L	0.212	0.045	-0.027	92.17	19.57	-11.74
		0.50L	0.166	0.040	-0.032	95.40	22.99	-18.39
		0.67L	0.105	0.024	-0.028	103.96	23.76	-27.72
		0.80L	0.054	0.011	-0.019	118.44	23.08	-41.52
		0.90L	0.022	0.003	-0.009	139.34	20.90	-60.24
		0.933L	0.013	0.002	-0.006	152.85	19.34	-72.18
2.00	0.10L	0.067L	0.172	0.022	-0.006	91.49	11.70	-3.19
		0.10L	0.229	0.031	-0.009	91.24	12.35	-3.59
		0.20L	0.313	0.055	-0.019	89.68	15.76	-5.44
		0.33L	0.306	0.071	-0.028	87.68	20.34	-8.02
		0.50L	0.241	0.064	-0.033	88.60	23.53	-12.13
		0.67L	0.151	0.040	-0.030	93.79	24.84	-18.63
		0.80L	0.077	0.018	-0.021	103.83	24.27	-28.10
		0.90L	0.030	0.006	-0.011	119.06	22.53	-41.58
		0.933L	0.018	0.003	-0.007	128.78	21.31	-50.09
2.00	0.20L	0.067L	0.193	0.035	-0.008	87.73	15.91	-3.64
		0.10L	0.296	0.054	-0.012	87.57	15.98	-3.55
		0.20L	0.583	0.120	-0.023	85.74	17.65	-3.38
		0.33L	0.677	0.175	-0.030	82.36	21.29	-3.65
		0.50L	0.553	0.171	-0.032	79.91	24.71	-4.62
		0.67L	0.347	0.111	-0.032	81.46	26.06	-7.51
		0.80L	0.175	0.052	-0.025	86.63	25.74	-12.38
		0.90L	0.068	0.017	-0.014	95.34	24.59	-19.93
		0.933L	0.041	0.010	-0.010	100.76	23.82	-24.58
2.00	0.33L	0.067L	0.173	0.042	-0.009	83.98	20.39	-4.37
		0.10L	0.278	0.069	-0.013	83.23	20.66	-3.89
		0.20L	0.665	0.175	-0.022	81.30	21.39	-2.69
		0.33L	1.088	0.301	-0.026	79.82	22.08	-1.91
		0.50L	1.026	0.328	-0.023	77.08	24.64	-1.73
		0.67L	0.663	0.225	-0.025	76.83	26.07	-2.90
		0.80L	0.337	0.110	-0.024	79.67	26.00	-5.67
		0.90L	0.130	0.039	-0.016	84.97	25.49	-10.46
		0.933L	0.079	0.022	-0.012	88.40	24.62	-13.02
2.00	0.50L	0.067L	0.129	0.037	-0.011	83.23	23.87	-7.10
		0.10L	0.212	0.063	-0.014	81.23	24.14	-5.36
		0.20L	0.537	0.170	-0.021	78.28	24.78	-3.06
		0.33L	1.021	0.327	-0.019	76.82	24.60	-1.43
		0.50L	1.376	0.425	-0.016	77.09	23.81	-0.90
		0.67L	1.021	0.327	-0.019	76.82	24.60	-1.43
		0.80L	0.537	0.170	-0.021	78.28	24.78	-3.06
		0.90L	0.212	0.063	-0.014	81.23	24.14	-5.36
		0.933L	0.129	0.037	-0.011	83.23	23.87	-7.10

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 30.00 m								
Steghöhe Last- [m] stellung	Ort	Verformung			Querverteilung			
		Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]	
4.00	0.067L	0.067L	0.116	0.012	-0.003	92.80	9.60	-2.40
		0.10L	0.129	0.014	-0.004	92.81	10.07	-2.88
		0.20L	0.136	0.016	-0.007	93.79	11.03	-4.83
		0.33L	0.119	0.016	-0.009	94.44	12.70	-7.14
		0.50L	0.090	0.012	-0.011	98.45	13.62	-12.07
		0.67L	0.056	0.006	-0.010	106.87	12.04	-18.90
		0.80L	0.031	0.002	-0.007	120.07	7.71	-27.78
		0.90L	0.016	0.000	-0.004	139.78	0.16	-39.94
		0.933L	0.011	0.000	-0.003	149.88	-3.86	-46.02
4.00	0.10L	0.067L	0.120	0.013	-0.003	92.31	10.00	-2.31
		0.10L	0.140	0.015	-0.004	92.72	9.93	-2.65
		0.20L	0.161	0.020	-0.007	92.53	11.49	-4.02
		0.33L	0.146	0.021	-0.010	92.99	13.38	-6.37
		0.50L	0.111	0.017	-0.012	95.69	14.66	-10.34
		0.67L	0.070	0.009	-0.011	101.75	13.73	-15.48
		0.80L	0.039	0.004	-0.008	112.06	10.20	-22.26
		0.90L	0.019	0.001	-0.005	127.24	4.06	-31.29
		0.933L	0.014	0.000	-0.004	134.81	0.87	-35.68
4.00	0.20L	0.067L	0.122	0.016	-0.004	91.04	11.94	-2.99
		0.10L	0.155	0.020	-0.005	91.18	11.76	-2.94
		0.20L	0.235	0.033	-0.010	91.09	12.79	-3.88
		0.33L	0.253	0.042	-0.014	90.04	14.95	-4.98
		0.50L	0.203	0.038	-0.016	90.22	16.89	-7.11
		0.67L	0.131	0.024	-0.014	92.91	17.02	-9.93
		0.80L	0.072	0.011	-0.010	98.24	14.72	-12.96
		0.90L	0.036	0.004	-0.006	106.38	10.87	-17.25
		0.933L	0.026	0.002	-0.005	110.24	8.98	-19.22
4.00	0.33L	0.067L	0.103	0.017	-0.005	89.57	14.78	-4.35
		0.10L	0.136	0.023	-0.006	88.89	15.03	-3.92
		0.20L	0.248	0.044	-0.011	88.26	15.66	-3.91
		0.33L	0.369	0.069	-0.017	87.65	16.39	-4.04
		0.50L	0.347	0.072	-0.019	86.75	18.00	-4.75
		0.67L	0.232	0.050	-0.015	86.89	18.73	-5.62
		0.80L	0.130	0.025	-0.010	89.66	17.24	-6.90
		0.90L	0.066	0.010	-0.006	93.87	14.98	-8.84
		0.933L	0.048	0.007	-0.005	95.73	13.84	-9.56
4.00	0.50L	0.067L	0.077	0.012	-0.005	91.80	14.73	-6.53
		0.10L	0.104	0.018	-0.007	90.43	15.65	-6.09
		0.20L	0.200	0.039	-0.013	88.50	17.26	-5.75
		0.33L	0.340	0.070	-0.019	86.96	17.90	-4.86
		0.50L	0.442	0.089	-0.023	87.01	17.52	-4.53
		0.67L	0.340	0.070	-0.019	86.96	17.90	-4.86
		0.80L	0.200	0.039	-0.013	88.50	17.26	-5.75
		0.90L	0.104	0.018	-0.007	90.43	15.65	-6.09
		0.933L	0.077	0.012	-0.005	91.80	14.73	-6.53

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 30.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
6.00	0.067L	0.067L	0.102	0.010	-0.002	92.73	9.09	-1.82
		0.10L	0.114	0.012	-0.003	92.68	9.76	-2.44
		0.20L	0.120	0.013	-0.004	93.02	10.08	-3.10
		0.33L	0.104	0.012	-0.006	94.55	10.91	-5.45
		0.50L	0.077	0.008	-0.006	98.19	9.82	-8.00
		0.67L	0.050	0.003	-0.006	105.58	6.63	-12.21
		0.80L	0.030	0.000	-0.005	116.71	0.77	-17.48
		0.90L	0.018	-0.001	-0.003	130.30	-6.92	-23.38
		0.933L	0.014	-0.001	-0.003	135.58	-9.97	-25.60
		6.00	0.10L	0.067L	0.103	0.011	-0.003	92.79
0.10L	0.117			0.012	-0.003	92.86	9.52	-2.38
0.20L	0.129			0.014	-0.005	93.48	10.14	-3.62
0.33L	0.116			0.014	-0.006	93.55	11.29	-4.84
0.50L	0.087			0.010	-0.007	96.75	10.60	-7.35
0.67L	0.057			0.004	-0.006	103.02	7.94	-10.96
0.80L	0.034			0.001	-0.005	112.54	2.85	-15.38
0.90L	0.020			-0.001	-0.003	123.95	-3.75	-20.21
0.933L	0.016			-0.001	-0.003	128.30	-6.31	-21.98
6.00	0.20L			0.067L	0.100	0.012	-0.003	91.74
		0.10L	0.121	0.014	-0.004	92.37	10.69	-3.05
		0.20L	0.159	0.019	-0.005	91.91	10.98	-2.89
		0.33L	0.164	0.022	-0.007	91.62	12.29	-3.91
		0.50L	0.131	0.018	-0.008	92.91	12.77	-5.67
		0.67L	0.087	0.010	-0.007	96.59	11.25	-7.85
		0.80L	0.053	0.004	-0.005	102.34	8.00	-10.34
		0.90L	0.032	0.001	-0.004	109.02	3.85	-12.87
		0.933L	0.025	0.001	-0.003	111.44	2.30	-13.74
		6.00	0.33L	0.067L	0.087	0.011	-0.003	91.58
0.10L	0.108			0.014	-0.004	91.53	11.86	-3.39
0.20L	0.163			0.022	-0.006	91.06	12.29	-3.35
0.33L	0.213			0.030	-0.009	91.03	12.82	-3.85
0.50L	0.197			0.030	-0.010	90.78	13.82	-4.61
0.67L	0.138			0.020	-0.009	92.62	13.42	-6.04
0.80L	0.086			0.010	-0.006	95.36	11.53	-6.89
0.90L	0.052			0.005	-0.004	99.00	9.01	-8.01
0.933L	0.041			0.003	-0.003	100.26	8.12	-8.37
6.00	0.50L			0.067L	0.064	0.008	-0.004	94.15
		0.10L	0.081	0.010	-0.004	93.10	11.49	-4.60
		0.20L	0.130	0.018	-0.007	92.20	12.77	-4.96
		0.33L	0.197	0.030	-0.009	90.37	13.76	-4.13
		0.50L	0.243	0.038	-0.011	90.00	14.07	-4.07
		0.67L	0.197	0.030	-0.009	90.37	13.76	-4.13
		0.80L	0.130	0.018	-0.007	92.20	12.77	-4.96
		0.90L	0.081	0.010	-0.004	93.58	11.50	-5.08
		0.933L	0.064	0.008	-0.004	94.15	11.02	-5.17

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 45.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	0.067L	0.067L	0.279	0.046	-0.010	88.57	14.60	-3.17
		0.10L	0.376	0.073	-0.015	86.64	16.82	-3.46
		0.20L	0.462	0.137	-0.017	79.38	23.54	-2.92
		0.33L	0.439	0.175	-0.006	72.20	28.78	-0.99
		0.50L	0.343	0.152	-0.006	70.14	31.08	-1.23
		0.67L	0.218	0.092	-0.023	75.96	32.06	-8.01
		0.80L	0.113	0.041	-0.028	89.68	32.54	-22.22
		0.90L	0.043	0.012	-0.017	111.09	32.29	-43.38
		0.933L	0.024	0.006	-0.011	124.57	32.35	-56.92
		1.60	0.10L	0.067L	0.360	0.072	-0.009	85.11
0.10L	0.540			0.120	-0.009	82.95	18.43	-1.38
0.20L	0.762			0.247	0.008	74.93	24.29	0.79
0.33L	0.743			0.325	0.047	66.64	29.15	4.22
0.50L	0.581			0.289	0.050	63.15	31.41	5.43
0.67L	0.366			0.176	0.005	66.91	32.18	0.91
0.80L	0.187			0.079	-0.023	76.95	32.51	-9.47
0.90L	0.069			0.024	-0.019	93.15	32.46	-25.61
0.933L	0.038			0.012	-0.013	103.27	32.55	-35.82
1.60	0.20L			0.067L	0.417	0.134	0.006	74.87
		0.10L	0.733	0.245	0.024	73.15	24.45	2.40
		0.20L	1.652	0.621	0.135	68.60	25.79	5.61
		0.33L	1.898	0.920	0.310	60.68	29.41	9.91
		0.50L	1.538	0.872	0.352	55.68	31.57	12.74
		0.67L	0.966	0.549	0.185	56.82	32.29	10.88
		0.80L	0.484	0.251	0.036	62.78	32.56	4.67
		0.90L	0.174	0.078	-0.013	72.80	32.64	-5.44
		0.933L	0.095	0.039	-0.014	79.17	32.72	-11.90
		1.60	0.33L	0.067L	0.381	0.169	0.027	66.03
0.10L	0.697			0.321	0.074	63.83	29.40	6.78
0.20L	1.879			0.918	0.322	60.24	29.43	10.32
0.33L	3.215			1.632	0.710	57.85	29.37	12.78
0.50L	2.983			1.750	0.873	53.21	31.22	15.57
0.67L	1.914			1.168	0.555	52.63	32.11	15.26
0.80L	0.953			0.548	0.194	56.22	32.33	11.45
0.90L	0.337			0.173	0.024	63.11	32.40	4.49
0.933L	0.182			0.088	0.001	67.16	32.47	0.37
1.60	0.50L			0.067L	0.290	0.146	0.026	62.77
		0.10L	0.538	0.285	0.077	59.78	31.67	8.56
		0.20L	1.516	0.870	0.365	55.11	31.62	13.27
		0.33L	2.978	1.750	0.876	53.14	31.23	15.63
		0.50L	4.100	2.305	1.199	53.92	30.31	15.77
		0.67L	2.978	1.750	0.876	53.14	31.23	15.63
		0.80L	1.516	0.870	0.365	55.11	31.62	13.27
		0.90L	0.538	0.285	0.077	59.78	31.67	8.56
		0.933L	0.290	0.146	0.026	62.77	31.60	5.63

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 45.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
2.00	0.067L	0.067L	0.219	0.033	-0.008	89.75	13.52	-3.28
		0.10L	0.284	0.049	-0.012	88.47	15.26	-3.74
		0.20L	0.341	0.089	-0.020	83.17	21.71	-4.88
		0.33L	0.325	0.113	-0.020	77.75	27.03	-4.78
		0.50L	0.255	0.099	-0.023	77.04	29.91	-6.95
		0.67L	0.163	0.060	-0.029	84.02	30.93	-14.95
		0.80L	0.085	0.026	-0.026	99.32	30.89	-30.21
		0.90L	0.033	0.008	-0.014	123.13	30.47	-53.60
		0.933L	0.019	0.004	-0.009	138.72	30.16	-68.88
2.00	0.10L	0.067L	0.274	0.049	-0.008	86.98	15.56	-2.54
		0.10L	0.398	0.079	-0.011	85.41	16.95	-2.36
		0.20L	0.549	0.157	-0.009	78.77	22.53	-1.29
		0.33L	0.536	0.206	0.005	71.75	27.58	0.67
		0.50L	0.421	0.184	0.005	69.02	30.16	0.82
		0.67L	0.266	0.113	-0.016	73.28	31.13	-4.41
		0.80L	0.136	0.051	-0.025	83.95	31.48	-15.43
		0.90L	0.051	0.016	-0.017	101.88	30.92	-32.80
		0.933L	0.029	0.008	-0.011	113.36	30.71	-44.07
2.00	0.20L	0.067L	0.311	0.088	-0.002	78.34	22.17	-0.50
		0.10L	0.529	0.156	0.004	76.78	22.64	0.58
		0.20L	1.162	0.388	0.049	72.67	24.27	3.06
		0.33L	1.334	0.575	0.133	65.33	28.16	6.51
		0.50L	1.083	0.548	0.158	60.54	30.63	8.83
		0.67L	0.680	0.347	0.074	61.76	31.52	6.72
		0.80L	0.342	0.159	0.002	67.99	31.61	0.40
		0.90L	0.125	0.050	-0.016	78.62	31.45	-10.06
		0.933L	0.070	0.026	-0.014	85.77	31.30	-17.07
2.00	0.33L	0.067L	0.283	0.110	0.008	70.57	27.43	2.00
		0.10L	0.502	0.204	0.029	68.30	27.76	3.95
		0.20L	1.318	0.574	0.144	64.73	28.19	7.07
		0.33L	2.243	1.017	0.335	62.39	28.29	9.32
		0.50L	2.083	1.093	0.427	57.81	30.34	11.85
		0.67L	1.337	0.733	0.268	57.19	31.35	11.46
		0.80L	0.669	0.346	0.083	60.93	31.51	7.56
		0.90L	0.241	0.111	0.002	68.08	31.36	0.56
		0.933L	0.134	0.058	-0.007	72.43	31.35	-3.78
2.00	0.50L	0.067L	0.214	0.096	0.007	67.51	30.28	2.21
		0.10L	0.386	0.182	0.031	64.44	30.38	5.18
		0.20L	1.064	0.547	0.172	59.67	30.68	9.65
		0.33L	2.077	1.093	0.431	57.68	30.35	11.97
		0.50L	2.854	1.437	0.594	58.42	29.42	12.16
		0.67L	2.077	1.093	0.431	57.68	30.35	11.97
		0.80L	1.064	0.547	0.172	59.67	30.68	9.65
		0.90L	0.386	0.182	0.031	64.44	30.38	5.18
		0.933L	0.214	0.096	0.007	67.51	30.28	2.21

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 45.00 m								
Steghöhe [m]	Last- stellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
4.00	0.067L	0.067L	0.133	0.016	-0.004	91.72	11.03	-2.76
		0.10L	0.153	0.020	-0.006	91.62	11.98	-3.59
		0.20L	0.164	0.028	-0.010	90.11	15.38	-5.49
		0.33L	0.150	0.033	-0.016	89.82	19.76	-9.58
		0.50L	0.117	0.027	-0.020	94.35	21.77	-16.13
		0.67L	0.074	0.016	-0.019	104.47	22.06	-26.53
		0.80L	0.039	0.006	-0.013	122.00	19.84	-41.84
		0.90L	0.017	0.002	-0.007	151.44	14.41	-65.85
		0.933L	0.011	0.001	-0.005	171.20	10.42	-81.62
		4.00	0.10L	0.067L	0.149	0.020	-0.004	90.30
0.10L	0.186			0.026	-0.006	90.29	12.62	-2.91
0.20L	0.227			0.043	-0.012	87.98	16.67	-4.65
0.33L	0.215			0.052	-0.016	85.66	20.72	-6.37
0.50L	0.168			0.045	-0.020	87.05	23.32	-10.36
0.67L	0.106			0.027	-0.020	93.81	23.89	-17.70
0.80L	0.056			0.012	-0.015	105.93	22.06	-27.99
0.90L	0.024			0.003	-0.008	127.00	17.85	-44.85
0.933L	0.016			0.002	-0.006	140.86	14.83	-55.69
4.00	0.20L			0.067L	0.156	0.029	-0.005	86.67
		0.10L	0.223	0.043	-0.008	86.43	16.67	-3.10
		0.20L	0.410	0.092	-0.014	84.02	18.85	-2.87
		0.33L	0.459	0.129	-0.016	80.24	22.55	-2.80
		0.50L	0.376	0.122	-0.016	78.01	25.31	-3.32
		0.67L	0.238	0.077	-0.019	80.41	26.01	-6.42
		0.80L	0.123	0.035	-0.017	87.23	24.82	-12.06
		0.90L	0.052	0.012	-0.011	98.38	22.25	-20.63
		0.933L	0.034	0.006	-0.008	105.80	20.39	-26.18
		4.00	0.33L	0.067L	0.138	0.033	-0.006	83.64
0.10L	0.206			0.053	-0.008	82.07	21.12	-3.19
0.20L	0.454			0.129	-0.011	79.37	22.55	-1.92
0.33L	0.736			0.222	-0.010	77.64	23.42	-1.05
0.50L	0.688			0.237	-0.006	74.86	25.79	-0.65
0.67L	0.450			0.160	-0.010	75.00	26.67	-1.67
0.80L	0.234			0.077	-0.014	78.79	25.93	-4.71
0.90L	0.098			0.027	-0.011	85.92	23.95	-9.86
0.933L	0.063			0.016	-0.009	90.40	22.59	-12.99
4.00	0.50L			0.067L	0.103	0.028	-0.008	83.74
		0.10L	0.157	0.046	-0.009	80.93	23.71	-4.64
		0.20L	0.369	0.122	-0.009	76.56	25.31	-1.87
		0.33L	0.686	0.237	-0.004	74.65	25.79	-0.44
		0.50L	0.926	0.309	0.001	74.92	25.00	0.08
		0.67L	0.686	0.237	-0.004	74.65	25.79	-0.44
		0.80L	0.369	0.122	-0.009	76.56	25.31	-1.87
		0.90L	0.157	0.046	-0.009	80.93	23.71	-4.64
		0.933L	0.103	0.028	-0.008	83.74	22.76	-6.50



Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 45.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
6.00	0.067L	0.067L	0.116	0.013	-0.003	92.06	10.32	-2.38
		0.10L	0.129	0.015	-0.004	92.14	10.71	-2.86
		0.20L	0.132	0.019	-0.006	91.03	13.10	-4.14
		0.33L	0.115	0.019	-0.009	92.00	15.20	-7.20
		0.50L	0.087	0.014	-0.011	96.17	16.05	-12.23
		0.67L	0.055	0.007	-0.010	106.01	14.26	-20.27
		0.80L	0.030	0.002	-0.008	122.69	8.99	-31.68
		0.90L	0.015	0.000	-0.005	150.11	-1.35	-48.76
		0.933L	0.011	0.000	-0.004	165.37	-7.37	-58.00
6.00	0.10L	0.067L	0.122	0.015	-0.003	91.04	11.19	-2.24
		0.10L	0.143	0.018	-0.004	91.08	11.46	-2.55
		0.20L	0.161	0.024	-0.007	90.45	13.48	-3.93
		0.33L	0.146	0.027	-0.010	89.57	16.56	-6.13
		0.50L	0.111	0.021	-0.012	92.50	17.50	-10.00
		0.67L	0.070	0.012	-0.011	99.18	16.53	-15.72
		0.80L	0.039	0.004	-0.008	111.93	12.35	-24.28
		0.90L	0.019	0.001	-0.005	132.61	4.22	-36.83
		0.933L	0.014	0.000	-0.004	143.77	-0.39	-43.38
6.00	0.20L	0.067L	0.123	0.019	-0.004	89.13	13.77	-2.90
		0.10L	0.159	0.025	-0.006	89.33	14.04	-3.37
		0.20L	0.244	0.043	-0.010	88.09	15.52	-3.61
		0.33L	0.262	0.056	-0.013	85.90	18.36	-4.26
		0.50L	0.211	0.051	-0.014	85.08	20.56	-5.65
		0.67L	0.136	0.031	-0.013	88.31	20.13	-8.44
		0.80L	0.074	0.014	-0.010	95.01	17.87	-12.88
		0.90L	0.037	0.004	-0.007	106.27	12.92	-19.18
		0.933L	0.027	0.002	-0.005	112.01	10.27	-22.28
6.00	0.33L	0.067L	0.106	0.019	-0.005	88.33	15.83	-4.17
		0.10L	0.142	0.027	-0.006	87.12	16.56	-3.68
		0.20L	0.260	0.057	-0.011	84.97	18.63	-3.59
		0.33L	0.388	0.091	-0.015	83.62	19.61	-3.23
		0.50L	0.360	0.095	-0.016	82.00	21.64	-3.64
		0.67L	0.240	0.064	-0.014	82.76	22.07	-4.83
		0.80L	0.134	0.032	-0.011	86.45	20.65	-7.10
		0.90L	0.066	0.012	-0.007	93.41	17.08	-10.50
		0.933L	0.048	0.008	-0.006	96.68	15.36	-12.03
6.00	0.50L	0.067L	0.078	0.015	-0.006	89.55	16.98	-6.54
		0.10L	0.107	0.022	-0.007	87.70	18.03	-5.74
		0.20L	0.208	0.051	-0.011	83.87	20.56	-4.44
		0.33L	0.359	0.095	-0.015	81.78	21.64	-3.42
		0.50L	0.472	0.123	-0.017	81.66	21.28	-2.94
		0.67L	0.359	0.095	-0.015	81.78	21.64	-3.42
		0.80L	0.208	0.051	-0.011	83.87	20.56	-4.44
		0.90L	0.107	0.022	-0.007	87.70	18.03	-5.74
		0.933L	0.078	0.015	-0.006	89.55	16.98	-6.54

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 60.00 m								
Steghöhe Last- [m] stellung	Ort	Verformung			Querverteilung			
		Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]	
1.60	0.067L	0.067L	0.410	0.088	-0.007	83.50	17.92	-1.43
		0.100L	0.556	0.144	-0.003	79.77	20.66	-0.43
		0.200L	0.688	0.281	0.041	68.12	27.82	4.06
		0.333L	0.659	0.350	0.103	59.26	31.47	9.26
		0.500L	0.520	0.300	0.099	56.58	32.64	10.77
		0.661L	0.340	0.184	0.034	60.93	32.97	6.09
		0.796L	0.178	0.082	-0.014	72.36	33.33	-5.69
		0.898L	0.067	0.024	-0.018	92.04	33.46	-25.51
		0.932L	0.036	0.012	-0.013	104.32	33.67	-37.99
1.60	0.10L	0.075L	0.620	0.167	0.008	77.99	21.01	1.01
		0.100L	0.838	0.248	0.025	75.43	22.32	2.25
		0.200L	1.188	0.522	0.141	64.18	28.20	7.62
		0.333L	1.171	0.673	0.284	55.03	31.63	13.35
		0.500L	0.933	0.590	0.278	51.80	32.76	15.44
		0.661L	0.606	0.366	0.133	54.84	33.12	12.04
		0.796L	0.312	0.163	0.016	63.54	33.20	3.26
		0.898L	0.114	0.049	-0.018	78.62	33.79	-12.41
		0.932L	0.062	0.024	-0.015	87.91	33.69	-21.59
1.60	0.20L	0.075L	0.752	0.328	0.083	64.66	28.20	7.14
		0.100L	1.115	0.519	0.157	62.26	28.98	8.77
		0.200L	2.734	1.362	0.599	58.23	29.01	12.76
		0.333L	3.168	1.997	1.149	50.17	31.63	18.20
		0.500L	2.630	1.866	1.199	46.18	32.77	21.05
		0.661L	1.708	1.193	0.705	47.37	33.08	19.55
		0.796L	0.854	0.540	0.230	52.59	33.25	14.16
		0.898L	0.301	0.163	0.023	61.81	33.47	4.72
		0.932L	0.159	0.080	-0.003	67.37	33.90	-1.27
1.60	0.33L	0.075L	0.710	0.410	0.165	55.25	31.91	12.84
		0.100L	1.122	0.667	0.305	53.58	31.85	14.57
		0.200L	3.151	1.997	1.156	49.98	31.68	18.34
		0.333L	5.527	3.599	2.360	48.12	31.33	20.55
		0.500L	5.209	3.836	2.749	44.17	32.53	23.31
		0.661L	3.450	2.590	1.812	43.94	32.99	23.08
		0.796L	1.712	1.205	0.716	47.12	33.17	19.71
		0.898L	0.589	0.369	0.149	53.21	33.33	13.46
		0.932L	0.308	0.181	0.052	56.93	33.46	9.61
1.60	0.50L	0.075L	0.538	0.355	0.171	50.56	33.36	16.07
		0.100L	0.861	0.587	0.318	48.75	33.24	18.01
		0.200L	2.542	1.877	1.262	44.75	33.04	22.21
		0.333L	5.070	3.867	2.847	43.02	32.82	24.16
		0.500L	6.993	5.201	3.855	43.57	32.41	24.02
		0.661L	5.192	3.962	2.923	42.99	32.81	24.20
		0.796L	2.630	1.946	1.317	44.63	33.02	22.35
		0.898L	0.902	0.616	0.337	48.63	33.21	18.17
		0.932L	0.469	0.306	0.142	51.15	33.37	15.49

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 60.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
2.00	0.067L	0.067L	0.308	0.059	-0.008	85.79	16.43	-2.23
		0.100L	0.410	0.095	-0.008	82.49	19.11	-1.61
		0.200L	0.499	0.182	0.009	72.32	26.38	1.30
		0.333L	0.476	0.228	0.042	63.81	30.56	5.63
		0.500L	0.374	0.196	0.040	61.31	32.13	6.56
		0.661L	0.246	0.121	0.003	66.49	32.70	0.81
		0.796L	0.130	0.054	-0.021	79.75	33.13	-12.88
		0.898L	0.050	0.016	-0.017	102.12	32.94	-35.06
		0.932L	0.028	0.008	-0.012	116.41	33.03	-49.43
2.00	0.10L	0.075L	0.455	0.110	-0.001	80.67	19.50	-0.18
		0.100L	0.605	0.161	0.006	78.37	20.85	0.78
		0.200L	0.846	0.334	0.063	68.06	26.87	5.07
		0.333L	0.830	0.433	0.145	58.95	30.75	10.30
		0.500L	0.657	0.382	0.144	55.54	32.29	12.17
		0.661L	0.428	0.237	0.059	59.12	32.73	8.15
		0.796L	0.222	0.106	-0.006	68.94	32.92	-1.86
		0.898L	0.083	0.032	-0.018	85.77	33.02	-18.79
		0.932L	0.046	0.016	-0.014	96.50	33.12	-29.63
2.00	0.20L	0.075L	0.543	0.213	0.040	68.22	26.76	5.03
		0.100L	0.821	0.332	0.078	66.69	26.97	6.34
		0.200L	1.910	0.864	0.315	61.83	27.97	10.20
		0.333L	2.196	1.271	0.637	53.51	30.97	15.52
		0.500L	1.806	1.193	0.683	49.05	32.40	18.55
		0.661L	1.172	0.765	0.393	50.30	32.83	16.87
		0.796L	0.592	0.347	0.114	56.22	32.95	10.83
		0.898L	0.212	0.106	0.002	66.25	33.13	0.63
		0.932L	0.115	0.052	-0.010	73.25	33.12	-6.37
2.00	0.33L	0.075L	0.507	0.267	0.090	58.68	30.90	10.42
		0.100L	0.791	0.429	0.167	57.03	30.93	12.04
		0.200L	2.182	1.270	0.646	53.25	30.99	15.76
		0.333L	3.796	2.282	1.344	51.15	30.75	18.11
		0.500L	3.548	2.437	1.596	46.80	32.15	21.05
		0.661L	2.345	1.651	1.052	46.45	32.71	20.84
		0.796L	1.171	0.771	0.402	49.96	32.89	17.15
		0.898L	0.410	0.239	0.075	56.63	33.01	10.36
		0.932L	0.219	0.119	0.021	61.00	33.15	5.85
2.00	0.50L	0.075L	0.394	0.231	0.084	55.57	32.58	11.85
		0.100L	0.621	0.378	0.164	53.40	32.50	14.10
		0.200L	1.790	1.193	0.692	48.71	32.46	18.83
		0.333L	3.544	2.438	1.598	46.75	32.16	21.08
		0.500L	4.913	3.242	2.168	47.59	31.41	21.00
		0.661L	3.627	2.495	1.640	46.73	32.14	21.13
		0.796L	1.848	1.235	0.722	48.57	32.46	18.98
		0.898L	0.648	0.395	0.173	53.29	32.48	14.23
		0.932L	0.345	0.199	0.068	56.37	32.52	11.11

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 60.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
4.00	0.067L	0.067L	0.154	0.021	-0.005	90.59	12.35	-2.94
		0.100L	0.185	0.030	-0.007	88.94	14.42	-3.37
		0.200L	0.206	0.049	-0.011	84.43	20.08	-4.51
		0.333L	0.195	0.060	-0.014	80.91	24.90	-5.81
		0.500L	0.155	0.052	-0.019	82.45	27.66	-10.11
		0.661L	0.102	0.031	-0.022	91.89	27.93	-19.82
		0.796L	0.054	0.014	-0.019	109.97	27.61	-37.58
		0.898L	0.022	0.004	-0.010	140.68	25.25	-65.93
		0.932L	0.014	0.002	-0.007	162.85	23.24	-86.09
4.00	0.10L	0.075L	0.199	0.034	-0.005	87.28	14.91	-2.19
		0.100L	0.245	0.045	-0.006	86.27	15.85	-2.11
		0.200L	0.315	0.083	-0.008	80.77	21.28	-2.05
		0.333L	0.307	0.106	-0.005	75.25	25.98	-1.23
		0.500L	0.244	0.094	-0.009	74.16	28.57	-2.74
		0.661L	0.159	0.058	-0.018	79.90	29.15	-9.05
		0.796L	0.083	0.026	-0.019	92.39	28.69	-21.09
		0.898L	0.033	0.008	-0.012	114.46	26.87	-41.34
		0.932L	0.020	0.004	-0.009	130.26	25.36	-55.62
4.00	0.20L	0.075L	0.222	0.058	-0.002	79.86	20.86	-0.72
		0.100L	0.308	0.084	-0.001	78.77	21.48	-0.26
		0.200L	0.642	0.201	0.012	75.09	23.51	1.40
		0.333L	0.733	0.291	0.042	68.76	27.30	3.94
		0.500L	0.604	0.275	0.051	64.95	29.57	5.48
		0.661L	0.391	0.177	0.019	66.61	30.15	3.24
		0.796L	0.200	0.081	-0.009	73.53	29.78	-3.31
		0.898L	0.078	0.026	-0.013	86.24	28.76	-15.00
		0.932L	0.047	0.014	-0.011	95.32	27.78	-23.10
4.00	0.33L	0.075L	0.203	0.070	0.003	73.55	25.36	1.09
		0.100L	0.292	0.106	0.009	71.74	26.04	2.21
		0.200L	0.725	0.291	0.049	68.08	27.32	4.60
		0.333L	1.226	0.513	0.120	65.95	27.60	6.46
		0.500L	1.147	0.549	0.157	61.90	29.63	8.47
		0.661L	0.760	0.375	0.099	61.60	30.38	8.02
		0.796L	0.386	0.178	0.025	65.53	30.22	4.24
		0.898L	0.148	0.059	-0.006	73.63	29.35	-2.99
		0.932L	0.088	0.031	-0.009	79.48	28.49	-7.97
4.00	0.50L	0.075L	0.155	0.061	0.000	71.76	28.24	0.00
		0.100L	0.226	0.093	0.007	69.33	28.53	2.15
		0.200L	0.593	0.275	0.061	63.83	29.60	6.57
		0.333L	1.144	0.549	0.160	61.74	29.63	8.63
		0.500L	1.569	0.724	0.222	62.39	28.79	8.83
		0.661L	1.169	0.561	0.164	61.72	29.62	8.66
		0.796L	0.611	0.283	0.064	63.78	29.54	6.68
		0.898L	0.235	0.097	0.008	69.12	28.53	2.35
		0.932L	0.140	0.053	-0.001	72.92	27.60	-0.52

Querverteilung für Lastfall - C SLW; L = 60.00 m								
Steghöhe [m]	Last- stellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
6.00	0.067L	0.067L	0.124	0.015	-0.003	91.18	11.03	-2.21
		0.100L	0.141	0.019	-0.005	90.97	12.26	-3.23
		0.200L	0.147	0.027	-0.008	88.55	16.27	-4.82
		0.333L	0.133	0.031	-0.012	87.50	20.39	-7.89
		0.500L	0.103	0.025	-0.015	91.15	22.12	-13.27
		0.661L	0.067	0.015	-0.016	101.61	21.95	-23.56
		0.796L	0.036	0.006	-0.012	120.34	19.12	-39.46
		0.898L	0.016	0.001	-0.007	153.80	11.94	-65.74
		0.932L	0.011	0.000	-0.005	176.70	6.55	-83.25
6.00	0.10L	0.075L	0.146	0.021	-0.004	89.57	12.88	-2.45
		0.100L	0.168	0.026	-0.005	88.89	13.76	-2.65
		0.200L	0.200	0.041	-0.009	86.21	17.67	-3.88
		0.333L	0.188	0.049	-0.011	83.19	21.68	-4.87
		0.500L	0.148	0.042	-0.015	84.57	24.00	-8.57
		0.661L	0.096	0.025	-0.016	91.08	23.92	-15.00
		0.796L	0.051	0.011	-0.013	104.44	21.82	-26.25
		0.898L	0.023	0.003	-0.008	128.51	16.38	-44.89
		0.932L	0.015	0.001	-0.006	144.61	12.39	-57.01
6.00	0.20L	0.075L	0.155	0.031	-0.005	85.64	17.13	-2.76
		0.100L	0.198	0.041	-0.006	84.98	17.60	-2.58
		0.200L	0.357	0.087	-0.009	82.07	20.00	-2.07
		0.333L	0.397	0.121	-0.007	77.69	23.68	-1.37
		0.500L	0.326	0.113	-0.007	75.46	26.16	-1.62
		0.661L	0.212	0.072	-0.012	77.94	26.47	-4.41
		0.796L	0.111	0.033	-0.013	84.73	25.19	-9.92
		0.898L	0.048	0.011	-0.010	98.19	21.95	-20.14
		0.932L	0.032	0.006	-0.008	106.82	19.58	-26.40
6.00	0.33L	0.075L	0.138	0.035	-0.005	82.14	20.83	-2.98
		0.100L	0.183	0.049	-0.005	80.62	21.59	-2.20
		0.200L	0.394	0.121	-0.004	77.10	23.68	-0.78
		0.333L	0.635	0.208	0.002	75.15	24.62	0.24
		0.500L	0.595	0.220	0.008	72.30	26.73	0.97
		0.661L	0.399	0.151	0.000	72.55	27.45	0.00
		0.796L	0.210	0.073	-0.009	76.64	26.64	-3.28
		0.898L	0.090	0.026	-0.010	84.86	24.10	-8.95
		0.932L	0.060	0.015	-0.008	90.11	22.39	-12.50
6.00	0.50L	0.075L	0.104	0.029	-0.006	81.89	22.83	-4.72
		0.100L	0.140	0.042	-0.006	79.55	23.86	-3.41
		0.200L	0.321	0.113	-0.002	74.31	26.16	-0.46
		0.333L	0.593	0.220	0.010	72.05	26.73	1.22
		0.500L	0.801	0.289	0.017	72.36	26.11	1.54
		0.661L	0.606	0.225	0.010	72.06	26.75	1.19
		0.796L	0.330	0.116	-0.002	74.32	26.13	-0.45
		0.898L	0.145	0.044	-0.007	79.67	24.18	-3.85
		0.932L	0.096	0.026	-0.006	82.74	22.61	-5.36

Querverteilung für Lastfall - D Linienlast; L = 30.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	L	0.067L	0.015	0.049	0.015	19.23	61.54	19.23
		0.10L	0.027	0.077	0.027	20.82	58.35	20.82
		0.20L	0.076	0.170	0.076	23.60	52.80	23.60
		0.33L	0.141	0.276	0.141	25.27	49.46	25.27
		0.50L	0.177	0.329	0.177	25.92	48.17	25.92
2.00	L	0.067L	0.010	0.041	0.010	16.31	67.39	16.31
		0.10L	0.017	0.062	0.017	17.93	64.14	17.93
		0.20L	0.046	0.128	0.046	20.91	58.18	20.91
		0.33L	0.085	0.201	0.085	22.91	54.18	22.91
		0.50L	0.106	0.238	0.106	23.56	52.89	23.56
4.00	L	0.067L	0.003	0.031	0.003	8.65	82.69	8.65
		0.10L	0.005	0.039	0.005	9.60	80.80	9.60
		0.20L	0.010	0.062	0.010	12.10	75.80	12.10
		0.33L	0.017	0.086	0.017	14.17	71.65	14.17
		0.50L	0.021	0.098	0.021	15.03	69.94	15.03
6.00	L	0.067L	0.002	0.028	0.002	6.16	87.67	6.16
		0.10L	0.003	0.034	0.003	6.63	86.75	6.63
		0.20L	0.005	0.047	0.005	8.13	83.73	8.13
		0.33L	0.007	0.060	0.007	9.68	80.65	9.68
		0.50L	0.009	0.066	0.009	10.37	79.25	10.37
Querverteilung für Lastfall - D Linienlast; L = 45.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	L	0.067L	0.066	0.116	0.066	26.61	46.77	26.61
		0.10L	0.127	0.203	0.127	27.79	44.42	27.79
		0.20L	0.372	0.511	0.372	29.64	40.72	29.64
		0.33L	0.703	0.884	0.703	30.70	38.60	30.70
		0.50L	0.884	1.081	0.884	31.03	37.94	31.03
2.00	L	0.067L	0.043	0.089	0.043	24.46	51.08	24.46
		0.10L	0.080	0.149	0.080	25.89	48.22	25.89
		0.20L	0.232	0.357	0.232	28.26	43.48	28.26
		0.33L	0.437	0.606	0.437	29.53	40.95	29.53
		0.50L	0.550	0.735	0.550	29.97	40.05	29.97
4.00	L	0.067L	0.012	0.052	0.012	15.73	68.54	15.73
		0.10L	0.020	0.073	0.020	17.64	64.73	17.64
		0.20L	0.051	0.137	0.051	21.34	57.32	21.34
		0.33L	0.093	0.210	0.093	23.48	53.03	23.48
		0.50L	0.116	0.246	0.116	24.27	51.46	24.27
6.00	L	0.067L	0.007	0.046	0.007	11.11	77.78	11.11
		0.10L	0.010	0.057	0.010	12.49	75.02	12.49
		0.20L	0.021	0.091	0.021	15.90	68.21	15.90
		0.33L	0.037	0.128	0.037	18.32	63.37	18.32
		0.50L	0.046	0.146	0.046	19.33	61.34	19.33

Querverteilung für Lastfall - D Linienlast; L = 60.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	L	0.075L	0.216	0.292	0.216	29.83	40.33	29.83
		0.10L	0.354	0.454	0.354	30.46	39.07	30.46
		0.20L	1.077	1.246	1.077	31.68	36.65	31.68
		0.33L	2.055	2.257	2.055	32.28	35.45	32.28
		0.50L	2.599	2.808	2.599	32.46	35.07	32.46
2.00	L	0.075L	0.141	0.208	0.141	28.78	42.45	28.78
		0.10L	0.228	0.318	0.228	29.46	41.09	29.46
		0.20L	0.686	0.841	0.686	31.00	38.00	31.00
		0.33L	1.304	1.500	1.304	31.74	36.51	31.74
		0.50L	1.648	1.856	1.648	31.99	36.02	31.99
4.00	L	0.075L	0.036	0.091	0.036	22.24	55.52	22.24
		0.10L	0.056	0.124	0.056	23.73	52.54	23.73
		0.20L	0.156	0.272	0.156	26.71	46.58	26.71
		0.33L	0.292	0.447	0.292	28.32	43.36	28.32
		0.50L	0.367	0.539	0.367	28.83	42.34	28.83
6.00	L	0.075L	0.018	0.069	0.018	16.83	66.35	16.83
		0.10L	0.025	0.087	0.025	18.34	63.31	18.34
		0.20L	0.064	0.160	0.064	22.22	55.56	22.22
		0.33L	0.117	0.243	0.117	24.53	50.94	24.53
		0.50L	0.146	0.285	0.146	25.30	49.39	25.30

Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 30.00 m								
Steghöhe [m]	Last- stellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	0.067L	0.067L	0.023	0.136	0.023	12.64	74.73	12.64
		0.10L	0.033	0.169	0.033	14.04	71.91	14.04
		0.20L	0.058	0.189	0.058	19.02	61.97	19.02
		0.33L	0.074	0.160	0.074	24.03	51.95	24.03
		0.50L	0.066	0.112	0.066	27.05	45.90	27.05
		0.67L	0.041	0.062	0.041	28.28	43.44	28.28
		0.80L	0.018	0.029	0.018	28.11	43.78	28.11
		0.90L	0.006	0.010	0.006	26.89	46.21	26.89
		0.933L	0.003	0.006	0.003	25.88	48.25	25.88
		1.60	0.10L	0.067L	0.031	0.157	0.031	14.16
0.10L	0.047			0.213	0.047	15.31	69.38	15.31
0.20L	0.089			0.277	0.089	19.56	60.88	19.56
0.33L	0.118			0.246	0.118	24.48	51.04	24.48
0.50L	0.108			0.176	0.108	27.55	44.90	27.55
0.67L	0.067			0.100	0.067	28.63	42.74	28.63
0.80L	0.031			0.046	0.031	28.57	42.86	28.57
0.90L	0.010			0.016	0.010	27.50	45.01	27.50
0.933L	0.005			0.009	0.005	26.59	46.83	26.59
1.60	0.20L			0.067L	0.050	0.168	0.050	18.66
		0.10L	0.084	0.267	0.084	19.31	61.38	19.31
		0.20L	0.198	0.532	0.198	21.34	57.33	21.34
		0.33L	0.292	0.584	0.292	25.00	50.00	25.00
		0.50L	0.285	0.447	0.285	28.02	43.95	28.02
		0.67L	0.184	0.262	0.184	29.21	41.59	29.21
		0.80L	0.086	0.123	0.086	29.15	41.69	29.15
		0.90L	0.028	0.043	0.028	28.31	43.37	28.31
		0.933L	0.015	0.024	0.015	27.57	44.87	27.57
		1.60	0.33L	0.067L	0.061	0.139	0.061	23.37
0.10L	0.108			0.232	0.108	24.11	51.79	24.11
0.20L	0.288			0.579	0.288	24.94	50.13	24.94
0.33L	0.502			0.966	0.502	25.48	49.04	25.48
0.50L	0.545			0.875	0.545	27.74	44.53	27.74
0.67L	0.373			0.539	0.373	29.03	41.95	29.03
0.80L	0.180			0.259	0.180	29.08	41.84	29.08
0.90L	0.061			0.092	0.061	28.37	43.26	28.37
0.933L	0.033			0.052	0.033	27.69	44.61	27.69
1.60	0.50L			0.067L	0.053	0.095	0.053	26.51
		0.10L	0.098	0.164	0.098	27.22	45.56	27.22
		0.20L	0.279	0.440	0.279	27.96	44.09	27.96
		0.33L	0.543	0.873	0.543	27.72	44.56	27.72
		0.50L	0.707	1.214	0.707	26.90	46.19	26.90
		0.67L	0.543	0.873	0.543	27.72	44.56	27.72
		0.80L	0.279	0.440	0.279	27.96	44.09	27.96
		0.90L	0.098	0.164	0.098	27.22	45.56	27.22
		0.933L	0.053	0.095	0.053	26.51	46.97	26.51



Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 30.00 m								
Steghöhe Last- [m] stellung	Ort	Verformung			Querverteilung			
		Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]	
2.00	0.067L	0.067L	0.019	0.120	0.019	12.03	75.95	12.03
		0.10L	0.025	0.143	0.025	12.95	74.09	12.95
		0.20L	0.040	0.154	0.040	17.09	65.81	17.09
		0.33L	0.049	0.130	0.049	21.49	57.02	21.49
		0.50L	0.044	0.090	0.044	24.58	50.83	24.58
		0.67L	0.026	0.051	0.026	25.53	48.94	25.53
		0.80L	0.012	0.024	0.012	24.87	50.26	24.87
		0.90L	0.004	0.009	0.004	22.70	54.59	22.70
		0.933L	0.002	0.005	0.002	21.04	57.93	21.04
		2.00	0.10L	0.067L	0.023	0.134	0.023	12.78
0.10L	0.033			0.174	0.033	13.75	72.50	13.75
0.20L	0.059			0.216	0.059	17.66	64.67	17.66
0.33L	0.076			0.190	0.076	22.22	55.56	22.22
0.50L	0.069			0.135	0.069	25.27	49.45	25.27
0.67L	0.042			0.077	0.042	26.18	47.64	26.18
0.80L	0.019			0.036	0.019	25.67	48.66	25.67
0.90L	0.006			0.013	0.006	23.80	52.39	23.80
0.933L	0.003			0.008	0.003	22.36	55.27	22.36
2.00	0.20L			0.067L	0.035	0.140	0.035	16.67
		0.10L	0.056	0.210	0.056	17.39	65.22	17.39
		0.20L	0.125	0.395	0.125	19.38	61.24	19.38
		0.33L	0.181	0.426	0.181	22.97	54.06	22.97
		0.50L	0.175	0.324	0.175	25.96	48.07	25.96
		0.67L	0.113	0.192	0.113	27.03	45.93	27.03
		0.80L	0.053	0.092	0.053	26.81	46.39	26.81
		0.90L	0.018	0.034	0.018	25.39	49.22	25.39
		0.933L	0.010	0.021	0.010	24.28	51.44	24.28
		2.00	0.33L	0.067L	0.042	0.115	0.042	21.11
0.10L	0.070			0.181	0.070	21.81	56.39	21.81
0.20L	0.178			0.423	0.178	22.85	54.30	22.85
0.33L	0.307			0.689	0.307	23.56	52.88	23.56
0.50L	0.333			0.620	0.333	25.89	48.21	25.89
0.67L	0.228			0.385	0.228	27.11	45.78	27.11
0.80L	0.111			0.189	0.111	27.01	45.99	27.01
0.90L	0.039			0.072	0.039	25.85	48.30	25.85
0.933L	0.022			0.044	0.022	24.92	50.17	24.92
2.00	0.50L			0.067L	0.036	0.078	0.036	23.98
		0.10L	0.063	0.127	0.063	24.90	50.20	24.90
		0.20L	0.172	0.320	0.172	25.90	48.19	25.90
		0.33L	0.332	0.619	0.332	25.88	48.25	25.88
		0.50L	0.431	0.855	0.431	25.10	49.80	25.10
		0.67L	0.332	0.619	0.332	25.88	48.25	25.88
		0.80L	0.172	0.320	0.172	25.90	48.19	25.90
		0.90L	0.063	0.127	0.063	24.90	50.20	24.90
		0.933L	0.036	0.078	0.036	23.98	52.05	23.98

Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 30.00 m								
Steghöhe Last- [m] stellung	Ort	Verformung			Querverteilung			
		Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]	
4.00	0.067L	0.067L	0.013	0.096	0.013	10.67	78.66	10.67
		0.10L	0.015	0.106	0.015	11.03	77.94	11.03
		0.20L	0.018	0.107	0.018	12.59	74.83	12.59
		0.33L	0.019	0.089	0.019	14.83	70.33	14.83
		0.50L	0.014	0.063	0.014	15.79	68.43	15.79
		0.67L	0.008	0.038	0.008	14.49	71.03	14.49
		0.80L	0.003	0.021	0.003	10.63	78.74	10.63
		0.90L	0.000	0.010	0.000	3.82	92.36	3.82
		0.933L	0.000	0.008	0.000	0.22	99.56	0.22
4.00	0.10L	0.067L	0.014	0.098	0.014	11.11	77.78	11.11
		0.10L	0.017	0.114	0.017	11.49	77.03	11.49
		0.20L	0.022	0.125	0.022	13.02	73.96	13.02
		0.33L	0.024	0.108	0.024	15.38	69.23	15.38
		0.50L	0.019	0.078	0.019	16.64	66.72	16.64
		0.67L	0.011	0.047	0.011	15.76	68.48	15.76
		0.80L	0.004	0.026	0.004	12.55	74.89	12.55
		0.90L	0.001	0.013	0.001	6.88	86.25	6.88
		0.933L	0.000	0.010	0.000	3.93	92.13	3.93
4.00	0.20L	0.067L	0.017	0.097	0.017	12.82	74.37	12.82
		0.10L	0.022	0.122	0.022	13.25	73.49	13.25
		0.20L	0.036	0.179	0.036	14.34	71.31	14.34
		0.33L	0.045	0.184	0.045	16.42	67.15	16.42
		0.50L	0.041	0.140	0.041	18.34	63.32	18.34
		0.67L	0.025	0.088	0.025	18.28	63.44	18.28
		0.80L	0.012	0.049	0.012	16.26	67.48	16.26
		0.90L	0.004	0.025	0.004	12.55	74.90	12.55
		0.933L	0.003	0.018	0.003	10.68	78.63	10.68
4.00	0.33L	0.067L	0.017	0.080	0.017	14.80	70.41	14.80
		0.10L	0.023	0.104	0.023	15.33	69.33	15.33
		0.20L	0.045	0.183	0.045	16.48	67.03	16.48
		0.33L	0.069	0.263	0.069	17.21	65.59	17.21
		0.50L	0.072	0.236	0.072	18.95	62.11	18.95
		0.67L	0.049	0.154	0.049	19.44	61.11	19.44
		0.80L	0.025	0.087	0.025	18.25	63.51	18.25
		0.90L	0.010	0.046	0.010	15.71	68.58	15.71
		0.933L	0.007	0.034	0.007	14.45	71.09	14.45
4.00	0.50L	0.067L	0.013	0.056	0.013	15.73	68.54	15.73
		0.10L	0.019	0.075	0.019	16.58	66.85	16.58
		0.20L	0.040	0.140	0.040	18.18	63.64	18.18
		0.33L	0.072	0.235	0.072	19.00	62.01	19.00
		0.50L	0.092	0.309	0.092	18.66	62.68	18.66
		0.67L	0.072	0.235	0.072	19.00	62.01	19.00
		0.80L	0.040	0.140	0.040	18.18	63.64	18.18
		0.90L	0.019	0.075	0.019	16.58	66.85	16.58
		0.933L	0.013	0.056	0.013	15.73	68.54	15.73

Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 30.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
6.00	0.067L	0.067L	0.012	0.085	0.012	10.73	78.54	10.73
		0.10L	0.013	0.094	0.013	10.94	78.13	10.94
		0.20L	0.015	0.097	0.015	11.69	76.63	11.69
		0.33L	0.014	0.082	0.014	12.48	75.03	12.48
		0.50L	0.010	0.060	0.010	12.13	75.75	12.13
		0.67L	0.004	0.039	0.004	9.44	81.12	9.44
		0.80L	0.001	0.024	0.001	4.27	91.46	4.27
		0.90L	0.000	0.014	0.000	-2.57	105.13	-2.57
		0.933L	-0.001	0.011	-0.001	-5.24	110.49	-5.24
		6.00	0.10L	0.067L	0.012	0.085	0.012	10.94
0.10L	0.014			0.097	0.014	11.12	77.76	11.12
0.20L	0.016			0.105	0.016	11.68	76.64	11.68
0.33L	0.016			0.091	0.016	12.75	74.51	12.75
0.50L	0.011			0.067	0.011	12.68	74.63	12.68
0.67L	0.006			0.044	0.006	10.42	79.15	10.42
0.80L	0.002			0.027	0.002	5.90	88.21	5.90
0.90L	0.000			0.016	0.000	-0.03	100.06	-0.03
0.933L	0.000			0.013	0.000	-2.32	104.64	-2.32
6.00	0.20L			0.067L	0.013	0.082	0.013	11.79
		0.10L	0.015	0.098	0.015	11.91	76.18	11.91
		0.20L	0.021	0.127	0.021	12.43	75.15	12.43
		0.33L	0.024	0.128	0.024	13.64	72.73	13.64
		0.50L	0.020	0.099	0.020	14.16	71.69	14.16
		0.67L	0.012	0.066	0.012	13.02	73.96	13.02
		0.80L	0.005	0.041	0.005	10.07	79.86	10.07
		0.90L	0.002	0.025	0.002	6.24	87.52	6.24
		0.933L	0.001	0.020	0.001	4.80	90.39	4.80
		6.00	0.33L	0.067L	0.012	0.069	0.012	12.65
0.10L	0.015			0.085	0.015	12.88	74.23	12.88
0.20L	0.024			0.128	0.024	13.64	72.73	13.64
0.33L	0.032			0.165	0.032	13.97	72.05	13.97
0.50L	0.032			0.149	0.032	15.02	69.95	15.02
0.67L	0.022			0.103	0.022	14.97	70.07	14.97
0.80L	0.012			0.066	0.012	13.07	73.87	13.07
0.90L	0.006			0.041	0.006	10.71	78.58	10.71
0.933L	0.004			0.033	0.004	9.84	80.33	9.84
6.00	0.50L			0.067L	0.008	0.051	0.008	12.39
		0.10L	0.011	0.063	0.011	12.88	74.23	12.88
		0.20L	0.020	0.099	0.020	14.20	71.61	14.20
		0.33L	0.032	0.149	0.032	15.02	69.95	15.02
		0.50L	0.040	0.185	0.040	15.09	69.81	15.09
		0.67L	0.032	0.149	0.032	15.02	69.95	15.02
		0.80L	0.020	0.099	0.020	14.20	71.61	14.20
		0.90L	0.011	0.063	0.011	12.88	74.23	12.88
		0.933L	0.008	0.051	0.008	12.39	75.22	12.39

Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 45.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	0.067L	0.067L	0.049	0.205	0.049	16.17	67.66	16.17
		0.10L	0.077	0.262	0.077	18.51	62.98	18.51
		0.20L	0.146	0.284	0.146	25.35	49.31	25.35
		0.33L	0.185	0.252	0.185	29.74	40.51	29.74
		0.50L	0.161	0.186	0.161	31.69	36.61	31.69
		0.67L	0.097	0.106	0.097	32.33	35.33	32.33
		0.80L	0.043	0.047	0.043	32.38	35.23	32.38
		0.90L	0.013	0.014	0.013	32.07	35.86	32.07
		0.933L	0.006	0.007	0.006	31.76	36.49	31.76
1.60	0.10L	0.067L	0.074	0.256	0.074	18.32	63.37	18.32
		0.10L	0.125	0.372	0.125	20.10	59.81	20.10
		0.20L	0.256	0.479	0.256	25.83	48.34	25.83
		0.33L	0.335	0.447	0.335	29.99	40.02	29.99
		0.50L	0.298	0.339	0.298	31.87	36.26	31.87
		0.67L	0.181	0.196	0.181	32.44	35.13	32.44
		0.80L	0.081	0.087	0.081	32.49	35.02	32.49
		0.90L	0.025	0.027	0.025	32.21	35.59	32.21
		0.933L	0.012	0.014	0.012	31.91	36.17	31.91
1.60	0.20L	0.067L	0.134	0.269	0.134	24.95	50.09	24.95
		0.10L	0.247	0.470	0.247	25.62	48.76	25.62
		0.20L	0.630	1.069	0.630	27.05	45.90	27.05
		0.33L	0.928	1.219	0.928	30.18	39.64	30.18
		0.50L	0.879	0.990	0.879	31.99	36.03	31.99
		0.67L	0.553	0.593	0.553	32.55	34.90	32.55
		0.80L	0.252	0.269	0.252	32.60	34.80	32.60
		0.90L	0.077	0.084	0.077	32.36	35.27	32.36
		0.933L	0.038	0.043	0.038	32.11	35.79	32.11
1.60	0.33L	0.067L	0.166	0.234	0.166	29.33	41.34	29.33
		0.10L	0.319	0.432	0.319	29.81	40.37	29.81
		0.20L	0.921	1.212	0.921	30.16	39.69	30.16
		0.33L	1.640	2.163	1.640	30.13	39.74	30.13
		0.50L	1.756	2.027	1.756	31.70	36.60	31.70
		0.67L	1.171	1.270	1.171	32.42	35.16	32.42
		0.80L	0.548	0.589	0.548	32.52	34.96	32.52
		0.90L	0.172	0.188	0.172	32.33	35.34	32.33
		0.933L	0.086	0.097	0.086	32.03	35.95	32.03
1.60	0.50L	0.067L	0.144	0.170	0.144	31.44	37.12	31.44
		0.10L	0.282	0.326	0.282	31.69	36.63	31.69
		0.20L	0.870	0.983	0.870	31.95	36.10	31.95
		0.33L	1.753	2.025	1.753	31.69	36.61	31.69
		0.50L	2.311	2.849	2.311	30.93	38.13	30.93
		0.67L	1.753	2.025	1.753	31.69	36.61	31.69
		0.80L	0.870	0.983	0.870	31.95	36.10	31.95
		0.90L	0.282	0.326	0.282	31.69	36.63	31.69
		0.933L	0.144	0.170	0.144	31.44	37.12	31.44

Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 45.00 m								
Steghöhe [m]	Last- stellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
2.00	0.067L	0.067L	0.035	0.166	0.035	14.83	70.34	14.83
		0.10L	0.052	0.205	0.052	16.83	66.34	16.83
		0.20L	0.095	0.216	0.095	23.40	53.20	23.40
		0.33L	0.120	0.187	0.120	28.10	43.79	28.10
		0.50L	0.105	0.134	0.105	30.52	38.95	30.52
		0.67L	0.063	0.075	0.063	31.30	37.41	31.30
		0.80L	0.028	0.034	0.028	31.28	37.44	31.28
		0.90L	0.008	0.011	0.008	30.65	38.71	30.65
		0.933L	0.004	0.006	0.004	30.06	39.88	30.06
		2.00	0.10L	0.067L	0.051	0.201	0.051	16.83
0.10L	0.082			0.282	0.082	18.39	63.23	18.39
0.20L	0.163			0.353	0.163	24.01	51.99	24.01
0.33L	0.213			0.320	0.213	28.55	42.90	28.55
0.50L	0.190			0.237	0.190	30.79	38.41	30.79
0.67L	0.116			0.136	0.116	31.52	36.96	31.52
0.80L	0.052			0.061	0.052	31.54	36.92	31.54
0.90L	0.016			0.020	0.016	30.99	38.02	30.99
0.933L	0.008			0.010	0.008	30.48	39.05	30.48
2.00	0.20L			0.067L	0.088	0.206	0.088	23.04
		0.10L	0.158	0.346	0.158	23.87	52.27	23.87
		0.20L	0.395	0.757	0.395	25.53	48.93	25.53
		0.33L	0.581	0.842	0.581	28.99	42.02	28.99
		0.50L	0.553	0.671	0.553	31.12	37.76	31.12
		0.67L	0.349	0.399	0.349	31.81	36.37	31.81
		0.80L	0.160	0.182	0.160	31.87	36.25	31.87
		0.90L	0.050	0.059	0.050	31.42	37.16	31.42
		0.933L	0.025	0.031	0.025	31.00	38.00	31.00
		2.00	0.33L	0.067L	0.109	0.175	0.109	27.74
0.10L	0.204			0.311	0.204	28.37	43.25	28.37
0.20L	0.577			0.838	0.577	28.97	42.07	28.97
0.33L	1.023			1.473	1.023	29.07	41.86	29.07
0.50L	1.098			1.360	1.098	30.88	38.25	30.88
0.67L	0.735			0.847	0.735	31.72	36.56	31.72
0.80L	0.346			0.397	0.346	31.77	36.46	31.77
0.90L	0.111			0.131	0.111	31.44	37.11	31.44
0.933L	0.057			0.070	0.057	30.99	38.01	30.99
2.00	0.50L			0.067L	0.095	0.124	0.095	30.25
		0.10L	0.181	0.229	0.181	30.63	38.75	30.63
		0.20L	0.548	0.666	0.548	31.10	37.80	31.10
		0.33L	1.096	1.359	1.096	30.86	38.27	30.86
		0.50L	1.443	1.914	1.443	30.06	39.88	30.06
		0.67L	1.096	1.359	1.096	30.86	38.27	30.86
		0.80L	0.548	0.666	0.548	31.10	37.80	31.10
		0.90L	0.181	0.229	0.181	30.63	38.75	30.63
		0.933L	0.095	0.124	0.095	30.25	39.49	30.25

Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 45.00 m								
Steghöhe Last- [m] stellung	Ort	Verformung			Querverteilung			
		Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]	
4.00	0.067L	0.067L	0.017	0.108	0.017	11.97	76.06	11.97
		0.10L	0.022	0.121	0.022	13.33	73.33	13.33
		0.20L	0.031	0.119	0.031	17.13	65.75	17.13
		0.33L	0.035	0.098	0.035	20.96	58.07	20.96
		0.50L	0.029	0.068	0.029	23.24	53.51	23.24
		0.67L	0.017	0.038	0.017	23.37	53.25	23.37
		0.80L	0.007	0.019	0.007	21.37	57.27	21.37
		0.90L	0.002	0.008	0.002	16.37	67.26	16.37
		0.933L	0.001	0.005	0.001	12.67	74.67	12.67
4.00	0.10L	0.067L	0.021	0.119	0.021	13.04	73.91	13.04
		0.10L	0.028	0.145	0.028	13.93	72.14	13.93
		0.20L	0.046	0.163	0.046	18.04	63.92	18.04
		0.33L	0.055	0.140	0.055	22.00	56.00	22.00
		0.50L	0.048	0.100	0.048	24.49	51.02	24.49
		0.67L	0.028	0.058	0.028	24.74	50.53	24.74
		0.80L	0.012	0.028	0.012	23.19	53.63	23.19
		0.90L	0.004	0.012	0.004	19.21	61.57	19.21
		0.933L	0.002	0.008	0.002	16.31	67.38	16.31
4.00	0.20L	0.067L	0.030	0.116	0.030	17.05	65.91	17.05
		0.10L	0.045	0.162	0.045	17.86	64.29	17.86
		0.20L	0.095	0.287	0.095	19.92	60.17	19.92
		0.33L	0.132	0.298	0.132	23.49	53.02	23.49
		0.50L	0.125	0.229	0.125	26.10	47.81	26.10
		0.67L	0.079	0.138	0.079	26.69	46.62	26.69
		0.80L	0.036	0.068	0.036	25.72	48.56	25.72
		0.90L	0.012	0.028	0.012	23.08	53.84	23.08
		0.933L	0.007	0.018	0.007	21.18	57.63	21.18
4.00	0.33L	0.067L	0.034	0.095	0.034	20.82	58.35	20.82
		0.10L	0.054	0.138	0.054	21.95	56.10	21.95
		0.20L	0.132	0.298	0.132	23.49	53.02	23.49
		0.33L	0.225	0.479	0.225	24.22	51.56	24.22
		0.50L	0.240	0.427	0.240	26.46	47.08	26.46
		0.67L	0.162	0.270	0.162	27.27	45.45	27.27
		0.80L	0.078	0.137	0.078	26.62	46.76	26.62
		0.90L	0.028	0.057	0.028	24.62	50.76	24.62
		0.933L	0.016	0.037	0.016	23.19	53.63	23.19
4.00	0.50L	0.067L	0.028	0.065	0.028	23.07	53.85	23.07
		0.10L	0.046	0.098	0.046	24.30	51.40	24.30
		0.20L	0.124	0.228	0.124	26.05	47.90	26.05
		0.33L	0.239	0.427	0.239	26.41	47.18	26.41
		0.50L	0.313	0.590	0.313	25.74	48.52	25.74
		0.67L	0.239	0.427	0.239	26.41	47.18	26.41
		0.80L	0.124	0.228	0.124	26.05	47.90	26.05
		0.90L	0.046	0.098	0.046	24.30	51.40	24.30
		0.933L	0.028	0.065	0.028	23.07	53.85	23.07

Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 45.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
6.00	0.067L	0.067L	0.015	0.096	0.015	11.65	76.70	11.65
		0.10L	0.017	0.105	0.017	12.23	75.54	12.23
		0.20L	0.021	0.102	0.021	14.58	70.83	14.58
		0.33L	0.021	0.083	0.021	16.84	66.31	16.84
		0.50L	0.016	0.059	0.016	17.83	64.35	17.83
		0.67L	0.008	0.035	0.008	16.28	67.43	16.28
		0.80L	0.003	0.019	0.003	11.55	76.90	11.55
		0.90L	0.000	0.010	0.000	2.17	95.66	2.17
		0.933L	0.000	0.007	0.000	-3.28	106.56	-3.28
6.00	0.10L	0.067L	0.016	0.099	0.016	12.28	75.45	12.28
		0.10L	0.020	0.114	0.020	12.99	74.03	12.99
		0.20L	0.027	0.123	0.027	15.25	69.49	15.25
		0.33L	0.029	0.104	0.029	17.90	64.20	17.90
		0.50L	0.023	0.075	0.023	19.16	61.69	19.16
		0.67L	0.013	0.045	0.013	18.14	63.72	18.14
		0.80L	0.005	0.025	0.005	14.34	71.33	14.34
		0.90L	0.001	0.012	0.001	6.85	86.31	6.85
		0.933L	0.000	0.009	0.000	2.60	94.80	2.60
6.00	0.20L	0.067L	0.020	0.096	0.020	14.59	70.82	14.59
		0.10L	0.026	0.122	0.026	14.94	70.11	14.94
		0.20L	0.046	0.182	0.046	16.79	66.42	16.79
		0.33L	0.059	0.184	0.059	19.54	60.93	19.54
		0.50L	0.053	0.140	0.053	21.54	56.91	21.54
		0.67L	0.033	0.087	0.033	21.42	57.16	21.42
		0.80L	0.015	0.048	0.015	19.10	61.79	19.10
		0.90L	0.005	0.024	0.005	14.46	71.08	14.46
		0.933L	0.003	0.018	0.003	11.94	76.12	11.94
6.00	0.33L	0.067L	0.020	0.079	0.020	17.00	66.01	17.00
		0.10L	0.029	0.103	0.029	18.01	63.98	18.01
		0.20L	0.059	0.184	0.059	19.54	60.93	19.54
		0.33L	0.094	0.269	0.094	20.57	58.86	20.57
		0.50L	0.098	0.239	0.098	22.53	54.94	22.53
		0.67L	0.066	0.156	0.066	22.92	54.17	22.92
		0.80L	0.033	0.087	0.033	21.43	57.14	21.43
		0.90L	0.013	0.045	0.013	18.24	63.52	18.24
		0.933L	0.008	0.033	0.008	16.55	66.90	16.55
6.00	0.50L	0.067L	0.016	0.055	0.016	18.02	63.95	18.02
		0.10L	0.023	0.074	0.023	19.24	61.52	19.24
		0.20L	0.053	0.140	0.053	21.54	56.91	21.54
		0.33L	0.098	0.239	0.098	22.53	54.94	22.53
		0.50L	0.126	0.318	0.126	22.11	55.79	22.11
		0.67L	0.098	0.239	0.098	22.53	54.94	22.53
		0.80L	0.053	0.140	0.053	21.54	56.91	21.54
		0.90L	0.023	0.074	0.023	19.24	61.52	19.24
		0.933L	0.016	0.055	0.016	18.02	63.95	18.02

Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 60.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
1.60	0.067L	0.067L	0.092	0.292	0.092	19.33	61.34	19.33
		0.100L	0.151	0.377	0.151	22.24	55.52	22.24
		0.200L	0.293	0.429	0.293	28.87	42.27	28.87
		0.333L	0.364	0.413	0.364	31.90	36.20	31.90
		0.500L	0.314	0.326	0.314	32.91	34.17	32.91
		0.661L	0.193	0.196	0.193	33.16	33.68	33.16
		0.796L	0.085	0.087	0.085	33.14	33.72	33.14
		0.898L	0.025	0.026	0.025	33.00	34.01	33.00
		0.932L	0.012	0.013	0.012	32.85	34.30	32.85
1.60	0.10L	0.067L	0.171	0.425	0.171	22.29	55.41	22.29
		0.100L	0.254	0.565	0.254	23.67	52.66	23.67
		0.200L	0.534	0.765	0.534	29.13	41.73	29.13
		0.333L	0.687	0.772	0.687	32.01	35.97	32.01
		0.500L	0.604	0.625	0.604	32.95	34.10	32.95
		0.661L	0.375	0.380	0.375	33.19	33.63	33.19
		0.796L	0.166	0.169	0.166	33.13	33.73	33.13
		0.898L	0.049	0.051	0.049	33.02	33.96	33.02
		0.932L	0.024	0.025	0.024	32.88	34.24	32.88
1.60	0.20L	0.067L	0.327	0.485	0.327	28.71	42.58	28.71
		0.100L	0.519	0.752	0.519	28.99	42.01	28.99
		0.200L	1.371	1.864	1.371	29.77	40.47	29.77
		0.333L	2.008	2.255	2.008	32.02	35.96	32.02
		0.500L	1.878	1.940	1.878	32.97	34.06	32.97
		0.661L	1.199	1.216	1.199	33.18	33.65	33.18
		0.796L	0.541	0.549	0.541	33.17	33.66	33.17
		0.898L	0.162	0.166	0.162	33.06	33.88	33.06
		0.932L	0.078	0.081	0.078	32.91	34.17	32.91
1.60	0.33L	0.067L	0.404	0.466	0.404	31.71	36.58	31.71
		0.100L	0.661	0.752	0.661	31.87	36.26	31.87
		0.200L	1.995	2.248	1.995	31.98	36.04	31.98
		0.333L	3.607	4.140	3.607	31.77	36.46	31.77
		0.500L	3.843	4.038	3.843	32.78	34.44	32.78
		0.661L	2.591	2.644	2.591	33.11	33.78	33.11
		0.796L	1.201	1.222	1.201	33.14	33.72	33.14
		0.898L	0.365	0.375	0.365	33.03	33.94	33.03
		0.932L	0.178	0.185	0.178	32.90	34.20	32.90
1.60	0.50L	0.067L	0.346	0.367	0.346	32.67	34.66	32.67
		0.100L	0.576	0.605	0.576	32.78	34.43	32.78
		0.200L	1.861	1.931	1.861	32.92	34.16	32.92
		0.333L	3.837	4.036	3.837	32.77	34.47	32.77
		0.500L	5.124	5.655	5.124	32.22	35.56	32.22
		0.661L	3.930	4.139	3.930	32.75	34.49	32.75
		0.796L	1.931	2.002	1.931	32.93	34.14	32.93
		0.898L	0.606	0.635	0.606	32.81	34.38	32.81
		0.932L	0.299	0.317	0.299	32.68	34.64	32.68



Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 60.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
2.00	0.067L	0.067L	0.062	0.226	0.062	17.71	64.57	17.71
		0.10L	0.100	0.284	0.100	20.66	58.68	20.66
		0.20L	0.190	0.312	0.190	27.46	45.09	27.46
		0.33L	0.237	0.289	0.237	31.06	37.88	31.06
		0.50L	0.204	0.222	0.204	32.38	35.24	32.38
		0.661L	0.126	0.132	0.126	32.81	34.38	32.81
		0.796L	0.056	0.058	0.056	32.86	34.29	32.86
		0.898L	0.017	0.018	0.017	32.67	34.67	32.67
		0.932L	0.008	0.009	0.008	32.46	35.07	32.46
		2.00	0.10L	0.067L	0.113	0.319	0.113	20.73
0.10L	0.165			0.417	0.165	22.09	55.82	22.09
0.20L	0.342			0.544	0.342	27.85	44.30	27.85
0.33L	0.442			0.531	0.442	31.24	37.53	31.24
0.50L	0.390			0.419	0.390	32.53	34.95	32.53
0.661L	0.242			0.252	0.242	32.88	34.24	32.88
0.796L	0.108			0.112	0.108	32.93	34.15	32.93
0.898L	0.032			0.034	0.032	32.74	34.51	32.74
0.932L	0.016			0.017	0.016	32.56	34.89	32.56
2.00	0.20L			0.067L	0.212	0.353	0.212	27.28
		0.10L	0.334	0.536	0.334	27.74	44.52	27.74
		0.20L	0.871	1.287	0.871	28.76	42.49	28.76
		0.33L	1.278	1.515	1.278	31.39	37.21	31.39
		0.50L	1.199	1.278	1.199	32.62	34.77	32.62
		0.661L	0.768	0.795	0.768	32.95	34.11	32.95
		0.796L	0.348	0.359	0.348	32.99	34.03	32.99
		0.898L	0.105	0.110	0.105	32.81	34.38	32.81
		0.932L	0.052	0.055	0.052	32.67	34.67	32.67
		2.00	0.33L	0.067L	0.264	0.327	0.264	30.88
0.10L	0.427			0.518	0.427	31.12	37.76	31.12
0.20L	1.271			1.511	1.271	31.36	37.28	31.36
0.33L	2.288			2.757	2.288	31.20	37.60	31.20
0.50L	2.442			2.649	2.442	32.42	35.17	32.42
0.661L	1.652			1.723	1.652	32.86	34.27	32.86
0.796L	0.770			0.798	0.770	32.93	34.13	32.93
0.898L	0.237			0.249	0.237	32.78	34.44	32.78
0.932L	0.117			0.125	0.117	32.59	34.82	32.59
2.00	0.50L			0.067L	0.227	0.250	0.227	32.24
		0.10L	0.374	0.407	0.374	32.38	35.24	32.38
		0.20L	1.190	1.272	1.190	32.58	34.83	32.58
		0.33L	2.439	2.648	2.439	32.41	35.18	32.41
		0.50L	3.248	3.722	3.248	31.79	36.43	31.79
		0.661L	2.496	2.713	2.496	32.39	35.21	32.39
		0.796L	1.233	1.317	1.233	32.59	34.81	32.59
		0.898L	0.392	0.425	0.392	32.42	35.15	32.42
		0.932L	0.196	0.216	0.196	32.24	35.53	32.24

Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 60.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
4.00	0.067L	0.067L	0.023	0.122	0.023	13.69	72.62	13.69
		0.100L	0.032	0.141	0.032	15.61	68.78	15.61
		0.200L	0.052	0.140	0.052	21.31	57.38	21.31
		0.333L	0.063	0.118	0.063	25.82	48.36	25.82
		0.500L	0.054	0.083	0.054	28.21	43.59	28.21
		0.661L	0.033	0.048	0.033	28.85	42.31	28.85
		0.796L	0.014	0.022	0.014	28.22	43.55	28.22
		0.898L	0.004	0.008	0.004	25.99	48.02	25.99
		0.932L	0.002	0.004	0.002	24.61	51.53	23.86
4.00	0.10L	0.067L	0.035	0.152	0.035	15.77	68.47	15.77
		0.100L	0.047	0.183	0.047	16.97	66.06	16.97
		0.200L	0.087	0.213	0.087	22.48	55.04	22.48
		0.333L	0.109	0.190	0.109	26.72	46.57	26.72
		0.500L	0.096	0.139	0.096	29.00	41.99	29.00
		0.661L	0.059	0.082	0.059	29.60	40.79	29.60
		0.796L	0.026	0.038	0.026	29.14	41.72	29.14
		0.898L	0.008	0.013	0.008	27.37	45.25	27.37
		0.932L	0.004	0.008	0.004	25.83	48.33	25.83
4.00	0.20L	0.067L	0.059	0.155	0.059	21.61	56.78	21.61
		0.100L	0.086	0.212	0.086	22.40	55.21	22.40
		0.200L	0.204	0.432	0.204	24.29	51.43	24.29
		0.333L	0.294	0.468	0.294	27.84	44.32	27.84
		0.500L	0.277	0.371	0.277	29.95	40.11	29.95
		0.661L	0.179	0.228	0.179	30.55	38.91	30.55
		0.796L	0.082	0.107	0.082	30.26	39.48	30.26
		0.898L	0.026	0.038	0.026	29.06	41.88	29.06
		0.932L	0.014	0.021	0.014	28.01	43.98	28.01
4.00	0.33L	0.067L	0.071	0.132	0.071	25.91	48.18	25.91
		0.100L	0.107	0.188	0.107	26.62	46.77	26.62
		0.200L	0.293	0.467	0.293	27.83	44.35	27.83
		0.333L	0.517	0.804	0.517	28.13	43.74	28.13
		0.500L	0.552	0.736	0.552	30.00	40.00	30.00
		0.661L	0.377	0.474	0.377	30.70	38.60	30.70
		0.796L	0.179	0.228	0.179	30.55	38.91	30.55
		0.898L	0.059	0.081	0.059	29.54	40.91	29.54
		0.932L	0.031	0.047	0.031	28.67	42.66	28.67
4.00	0.50L	0.067L	0.061	0.093	0.061	28.26	43.47	28.26
		0.100L	0.094	0.137	0.094	28.92	42.15	28.92
		0.200L	0.276	0.370	0.276	29.93	40.13	29.93
		0.333L	0.551	0.736	0.551	29.98	40.04	29.98
		0.500L	0.728	1.034	0.728	29.24	41.53	29.24
		0.661L	0.563	0.753	0.563	29.96	40.07	29.96
		0.796L	0.285	0.381	0.285	29.97	40.06	29.97
		0.898L	0.098	0.142	0.098	28.99	42.01	28.99
		0.932L	0.053	0.084	0.053	28.04	43.92	28.04

Querverteilung für Lastfall - E SLW; L = 60.00 m								
Steghöhe [m]	Laststellung	Ort	Verformung			Querverteilung		
			Steg 1 [E-3 m]	Steg 2 [E-3 m]	Steg 3 [E-3 m]	Steg 1 [%]	Steg 2 [%]	Steg 3 [%]
6.00	0.067L	0.067L	0.017	0.101	0.017	12.59	74.81	12.59
		0.100L	0.021	0.112	0.021	13.64	72.73	13.64
		0.200L	0.029	0.107	0.029	17.58	64.85	17.58
		0.333L	0.033	0.088	0.033	21.30	57.41	21.30
		0.500L	0.027	0.061	0.027	23.27	53.46	23.27
		0.661L	0.015	0.036	0.015	23.11	53.78	23.11
		0.796L	0.006	0.018	0.006	20.53	58.93	20.53
		0.898L	0.001	0.008	0.001	13.96	72.07	13.96
		0.932L	0.001	0.005	0.001	9.00	82.00	9.00
		6.00	0.10L	0.067L	0.022	0.116	0.022	13.75
0.100L	0.028			0.131	0.028	14.97	70.05	14.97
0.200L	0.043			0.144	0.043	18.70	62.61	18.70
0.333L	0.051			0.124	0.051	22.57	54.87	22.57
0.500L	0.043			0.089	0.043	24.69	50.61	24.69
0.661L	0.026			0.053	0.026	24.78	50.44	24.78
0.796L	0.011			0.026	0.011	22.84	54.33	22.84
0.898L	0.003			0.011	0.003	17.79	64.43	17.79
0.932L	0.001			0.008	0.001	14.05	71.90	14.05
6.00	0.20L			0.067L	0.032	0.115	0.032	17.88
		0.100L	0.043	0.145	0.043	18.61	62.77	18.61
		0.200L	0.090	0.250	0.090	20.93	58.14	20.93
		0.333L	0.124	0.259	0.124	24.46	51.08	24.46
		0.500L	0.115	0.200	0.115	26.74	46.51	26.74
		0.661L	0.074	0.124	0.074	27.21	45.59	27.21
		0.796L	0.034	0.063	0.034	25.94	48.11	25.94
		0.898L	0.011	0.027	0.011	22.78	54.44	22.78
		0.932L	0.006	0.018	0.006	20.50	58.99	20.50
		6.00	0.33L	0.067L	0.036	0.095	0.036	21.65
0.100L	0.051			0.123	0.051	22.67	54.67	22.67
0.200L	0.124			0.259	0.124	24.46	51.08	24.46
0.333L	0.211			0.415	0.211	25.21	49.58	25.21
0.500L	0.223			0.372	0.223	27.26	45.48	27.26
0.661L	0.153			0.242	0.153	27.92	44.16	27.92
0.796L	0.074			0.125	0.074	27.11	45.79	27.11
0.898L	0.026			0.053	0.026	24.76	50.48	24.76
0.932L	0.015			0.035	0.015	23.11	53.79	23.11
6.00	0.50L			0.067L	0.030	0.066	0.030	23.66
		0.100L	0.043	0.088	0.043	24.66	50.68	24.66
		0.200L	0.115	0.200	0.115	26.74	46.51	26.74
		0.333L	0.223	0.372	0.223	27.26	45.48	27.26
		0.500L	0.292	0.513	0.292	26.62	46.76	26.62
		0.661L	0.227	0.380	0.227	27.22	45.56	27.22
		0.796L	0.118	0.205	0.118	26.76	46.49	26.76
		0.898L	0.045	0.091	0.045	24.71	50.57	24.71
		0.932L	0.027	0.062	0.027	23.32	53.37	23.32

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 auf den folgenden Seiten aufgeführten Hefte erschienen.

Sie können bezogen werden von : Institut für Baustoffe, Massivbau  
und Brandschutz der Technischen  
Universität Braunschweig /  
Bibliothek  
Beethovenstr. 52  
3300 Braunschweig

oder über jede Buchhandlung.

Kosten: Je nach Umfang zwischen DM 10 und DM 25.

Vergriffene Hefte (s.u.) können als Kopien gegen Erstattung der Kopierkosten bezogen werden

Vergriffene Hefte : 1 - 4, 7 - 16, 19, 23, 27, 28, 30, 32 - 35,  
42, 45, 55, 56

Über das Verdunstungsverhalten und den Nachweis öligler Holzschutzmittel  
Deters, R. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1962. - 20 S. -  
(Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule  
Braunschweig ; H. 1)  
Zugl.: Braunschweig, Tech. Hochsch., Diss., 1962.

Das Verhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen unter Feuerangriff  
/ Kordina, K. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1963. - 19 S.  
(Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule  
Braunschweig ; H. 2)  
Sonderdruck aus: Beton 13(1962), S.11-18, 81-84.

Zur Stabilitätsfrage des Zweigelenkbogens mit biegeweichem Zugband und  
schlaffen Hängestangen / Eibl, J. - Braunschweig: Institut für  
Baustoffkunde, 1963. - 92 S. - (Institut für Baustoffkunde und  
Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig ; H. 3)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1963.

Ein Verfahren zur Bestimmung des Vorspannverlustes infolge Schlupf in  
der Verankerung. Zur Frage der Temperaturbeanspruchung von  
kreisförmigen Stahlbetonsilos / Kordina, K.; Eibl, J. -  
Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1964. - 16 S. - (Institut für  
Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig  
; H. 4)  
Sonderdruck aus: Beton- und Stahlbetonbau 58(1963), S.265-268 ; 59(1964)  
S.1-11.

Über den Schalungsdruck von Frischbeton / Ertingshausen, H. -  
Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1965. - 98 S  
(Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule  
Braunschweig ; H. 5)  
Zugl.: Hannover, Techn. Hochsch., Diss., 1965.

Transportphänomene in Betonporen / Waubke, N.V. - Braunschweig:  
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1966. - 76 S. - (Institut  
für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule  
Braunschweig ; H. 6)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1968.

Ein Beitrag zur rechnerischen Bemessung von brandbeanspruchten  
balkenartigen Stahlbetonbauteilen / Ehm, H. - Braunschweig: Institut  
für Baustoffkunde, 1967. - X, 148, 32 S. - (Institut für Baustoffkunde  
und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig ; H. 7)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1967.

Möglichkeiten der Bestimmung der kritischen Last von Stab- und  
Flächentragwerken mit Hilfe ihrer Eigenfrequenz / Steinert, J. -  
Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1967. - 93, 27 S. - (Institut  
für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule  
Braunschweig ; H. 8)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1967.

Untersuchungen an dämmschichtbildenden Feuerschutzmitteln / Lämmke, A.  
Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1967. - 151 S  
(Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule

Braunschweig ; H. 9)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1967.

Beitrag zur Frage der Kippstabilität aufgehängter Träger / Rafla, K. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1968. - V, 177 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig ; H. 10)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1968.

Die Traglast von offenen, kreisförmigen Stahlbetonquerschnitten: Brazier Effekt / Ivanyi, G. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1968. - 89 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig ; H. 11)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1968.

Brandverhalten verschiedener Bauplatten aus Baustoffen der Klassen A und B / Meyer-Ottens, C. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1969. - 20 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig ; H. 12)

Zum Tragverhalten von kreisförmigen Doppelsilos unter Berücksichtigung der Eigensteifigkeit des Füllgutes / Fuchs, G. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1968. - 82 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig ; H. 13)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1968.

Wände aus Holz und Holzwerkstoffen unter Feuerangriff / Meyer-Ottens, C. Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1970. - 18 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig ; H. 14)  
Sonderdruck aus: Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, H.56(1969).

Beurteilung von Bauwerksfestigkeiten anhand von Betongütewürfeln und -bohrproben / Lewandowski, R. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde 1970. - IX, 165 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig ; H. 15)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1970.

Untersuchungen zur Frage der Rissesicherung von leichten Trennwänden aus Gips-Wandbauplatten / Neubauer, F.-J. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1970. - 123 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig ; H. 16)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Hochsch., Diss., 1969.

Gutachten über das Brandverhalten von Bauteilen aus dampfgehärtetem Gasbeton : aufgestellt für den Fachverband Gasbetonindustrie / Meyer-Ottens, C.; Kordina, K. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1970. - 28 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 17)

Gutachten über das Brandverhalten von Bauteilen aus dampfgehärtetem Gasbeton / Meyer-Ottens, C.; Kordina, K. - Erw. Neuaufl. - Braunschweig Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1974. - 28 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 17)

Die Stahlblech-Holz-Nagelverbindung und ihre Anwendung : Grundlagen und Bemessungsvorschläge / Bödeker, W. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1971. - 124 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 18)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1971.  
ISBN 3-89288-057-3

Bauaufsichtliche Brandschutzvorschriften : Beispiele für ihre Erfüllung bei Wänden, Brandwänden und Decken / Meyer-Ottens, C. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1971. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 19)

Das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbrückenpfeilern mit Rollenlagern / Liermann, K. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1972. - 138 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 20)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1972.  
ISBN 3-89288-056-5

Zum Trag- und Verformungsverhalten ebener Stockwerkrahmen aus Stahlbeton / Janko, B. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1972. - 155 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 21)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1972.  
ISBN 3-89288-055-7

Zur Frage des Spannungsrißkorrosionsverhaltens kohlenstoffarmer Betonstähle in Nitratlösungen unter Berücksichtigung praxisnaher Verhältnisse / Nürnberger, U. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1972. - 153 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 22)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1972.  
ISBN 3-89288-054-9

Zur Frage der Abplatzungen an Betonbauteilen aus Normalbeton bei Brandbeanspruchung / Meyer-Ottens, C. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1972. - 90 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 23)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1972.

Über die Steinkohlenflugasche und ihre Wirkung auf die Eigenschaften von Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge im frischen und festen Zustand / El Arousy, T.H. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1973. - 165 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 24)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1973.  
ISBN 3-89288-053-0

Mechanismen der Spannungskorrosion von Spannstählen im Hinblick auf ihr Verhalten in Spannbetonkonstruktionen / Rieche, G. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1973. - 126 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 25)

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1973.  
ISBN 3-89288-052-2

Beitrag zur rechnerischen Ermittlung von Zwangsschnittgrößen unter Berücksichtigung des wirklichen Verformungsverhaltens des Stahlbetons / Tennstedt, E. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1974. - 141 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 26)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1974.  
ISBN 3-89288-051-4

Zur Kinetik festigkeitsmindernder Reaktionen in Normalbetonen bei hohen Temperaturen / Schneider, U. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde 1973. - IVX, 100 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 27)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1973.

Ein dreiparametrisches, komplexes Ultraschall-Prüfverfahren für die zerstörungsfreie Materialprüfung im Bauwesen / Neisecke, J. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1974. - 108 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 28)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1974.  
ISBN 3-89288-050-6

Traglastermittlung an Stahlbeton-Druckgliedern : Schlußbericht zum Forschungsvorhaben "Traglastermittlung von Stahlbeton-Druckgliedern". (AIF-Nr. 956) / Kordina, K.; Maack, P.; Hjorth, O. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, 1974. - IV, 95, 18, 18, 52, 87 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 29)  
ISBN 3-89288-048-4

Berücksichtigung der Torsionssteifigkeit von Randbalken bei Stahlbetondecken : Schlußbericht / Eibl, J.; Ivanyi, G. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974. - 168 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 30)

Stabilitätsnachweise von Rahmensystemen im Stahlbetonbau : Schlußbericht zum Forschungsvorhaben "Stabilitätsnachweise von Rahmensystemen im Stahlbetonbau (AIF-Nr. 1388) / Kordina, K.; Janko, B. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974. - 48, 56, 155 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 31)  
ISBN 3-89288-049-2

Ein Beitrag zur Frage der Festigkeiten und des Verbundverhaltens von Stahl und Beton bei hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten / Hjorth, O. Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1976. - 188 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 32)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1975.

Traglastberechnung instationär thermisch belasteter schlanker Stahlbetondruckglieder mittels zwei- und dreidimensionaler Diskretisierung / Klingsch, W. - Braunschweig: Institut für



Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig 1976. - 192 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 33)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1976.

Thermische Zerstörung natürlicher Zuschlagstoffe im Beton / Djamous, F. Braunschweig: Institut für Baustoffkunde, 1977. - 127 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 34)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1977.

Zur Frage des Trag- und Verformungsverhaltens ebener Stahlbetonrahmen im Brandfall / Haksever, A. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977. - XIV, 133, 12 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 35)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1977.

Ein Beitrag zur Traglastermittlung von vierseitig gelagerten Stahlbetonwänden / Storkebaum, K.-H. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig 1977. - 88 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 36)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1977.  
ISBN 3-89288-045-X

Zur thermischen Beanspruchung von Außenstützen im Brandfall / Bechtold, R. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977. - V, 140, 12 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 37)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1977.  
ISBN 3-89288-046-8

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesbeton aus dem Wassereindringverhalten / Steinert, J. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig 1977. - 57 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 38)  
Unveränd. Nachdr. d. Erstveröffentlichung Bad Honnef : Osang, 1977 (Zivilschutzforschung ; Bd. 7).

Ein haufwerkstheoretisches Modell der Restfestigkeit geschädigter Betone / Weiß, R. - Braunschweig: Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau 1978. - 112 S. - (Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig ; H. 39)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1978.  
ISBN 3-89288-047-6

Zum Schwingkriechen von Beton / Alda, W. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1978. - 209 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 40)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1978.  
ISBN 3-89288-035-2

Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken mit

rechteckigem Querschnitt unter kombinierter Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Torsion / Teutsch, M. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1979. - 181, 220 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 41)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1979.  
ISBN 3-89288-036-0

Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen / Schneider, U. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1979. - 128, 47 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 42)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1979.

Veröffentlichungen 1967 bis 1979 / Hrsrg.: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1979. - 54 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 43)  
ISBN 3-89288-037-9

Druckmessungen in Silozellen mit einer neu entwickelten Sonde : Abschlußbericht eines von der DFG gef. Forschungsvorhabens mit dem Titel "Druckmessungen im Inneren von mittleren bis großen Silozellen" / Kordina, K.; Fröning, H. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1979. - 21, 60 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 44)  
ISBN 3-89288-038-7

Ein Beitrag zur Zuverlässigkeit frei gelagerter Stahlbetonstützen unter genommter Brandeinwirkung / Henke, V. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1980. - 150 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 45)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1980.

Wärmebilanzrechnungen für Brandräume mit unterschiedlichen Randbedingungen (Teil 1) / Schneider, U.; Haksever, A. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1980. - 79 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 46)

Partiell brandbeanspruchte Stahlbetondecken : Berechnung des inneren Zwanges mit einem Scheibenmodell / Walter, R. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1981. - 149 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 47)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1981.  
ISBN 3-89288-039-5

Zum Verformungsverhalten gerissener Stahlbetonbalken unter Einschluß der Mitwirkung des Betons auf Zug in Abhängigkeit von Last und Zeit / Svensvik, B. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1981. - 201 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 48)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1981.  
ISBN 3-89288-040-9

Veröffentlichungen 1967 bis 1981 / Hrsg.: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1981. - 89 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 49)  
ISBN 3-89288-041-7

Die Steifigkeit und das Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter kombinierter Beanspruchung aus Torsion, Biegemoment, Querkraft und Axialkraft / Ojha, S.K. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1982. - II, 103 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 50)  
ISBN 3-89288-042-5

Zusammenstellung und Anwendung Bayes'scher Verfahren bei der Sichprobenbeurteilung : (Projekt D1 des SFB 148) / Henke, V. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1982. - 2, 49, 2, 12 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 51)  
ISBN 3-89288-043-3

Stahlbetonstützen mit Rechteckquerschnitten bei natürlichen Bränden / Haksever, A. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1982. - 143, 30 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 52)  
Zugl.: Istanbul, Techn. Univ., Habil.-Schr., 1982.  
ISBN 3-89288-044-1

Untersuchung des Riß- und Verformungsverhaltens segmentärer Spannbetonbauteile / Weber, V. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1982. - III, 191 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 53)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1982.  
ISBN 3-89288-017-4

Zur Tragfähigkeit von Verklebungen zwischen Baustahl und Beton : geklebte Bewehrung / Ranisch, E.-H. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1982. - 173 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 54)  
Zugl.: Braunschweig, Tech. Univ., Diss., 1982.

Zur Tragfähigkeit von Verklebungen zwischen Baustahl und Beton : geklebte Bewehrung / Ranisch, E.-H. - Unveränd. Nachdr. d. Ausg. 1982. Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1986. - 173 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 54)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1982.  
ISBN 3-89288-010-7

Zum Einfluß tiefer Temperaturen auf Festigkeit und Verformung von Beton Wiedemann, G. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1982. - 149 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 55)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss. 1982.

Ein geometrisch und physikalisch nichtlineares Rechenmodell zur optimalen Biegebemessung ebener Stahlbetonrahmen / Timm, R. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1982. - 261 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 56)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1982.  
ISBN 3-89288-018-2

Untersuchungen über den Verbund zwischen Stahl und Beton bei hohen Temperaturen / Diederichs, U. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1983. - 183 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 57)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1983.  
ISBN 3-89288-019-0

Wärmebilanzrechnungen in Verbindung mit Versuchen in Brandräumen (Teil 2) / Schneider, U. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1983. - 34 S. (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 58)  
ISBN 3-89288-020-4

Wärmebilanzrechnungen in Brandräumen unter Berücksichtigung der Mehrzonenmodellbildung (Teil 3) / Dobbernack, R. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1983. - 96 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 59)  
ISBN 3-89288-021-2

Verbesserungen und Erweiterungen von Ultraschallprüfverfahren zur zerstörungsfreien Fehlstellen- und Qualitätskontrolle von Betonbauteilen / Hillger, W. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1983. - 142 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 60)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1983.  
ISBN 3-89288-014-X

Zur Wirklichkeitsnähe der Lastannahmen in Silovorschriften für Zellen aus Stahlbeton und Spannbeton / Blume, F. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1984. - X, 215, 124 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 61)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1984.  
ISBN 3-89288-013-1

Das Durchstanzen von Platten aus Stahlbeton : Tragverhalten, Berechnung, Bemessung / Nölting, D. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1984. - 8, 174, 43 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 62)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1984.  
ISBN 3-89288-012-3

Brandverhalten von Stahlbetonplatten im baupraktischen Einbauzustand / Wesche, J. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1985. - 130, 17 S. (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 63)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1985.  
ISBN 3-89288-009-3

Untersuchungen zur Technologie des Gleitschalungsbaus / Droese, S. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1985. - VIII, 213 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 64)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1985.  
ISBN 3-89288-000-X

Forschungsarbeiten 1978 - 1983 / Hrsg.: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1984 305 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 65)  
ISBN 3-89288-001-8

Einfluß der Verbundart auf die Grenztragfähigkeit von Spannbetonbalken / Hegger, J. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1985. - VI, 195 S. (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 66)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1985.  
ISBN 3-89288-002-6

Zum Tragverhalten von Verankerungen für hochfeste Stäbe aus Glasfaserverbundwerkstoff als Bewehrung im Spannbetonbau / Kepp, B. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1985. - 147 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 67)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1985.  
ISBN 3-89288-003-4

Zum Einfluß hoher Temperaturen auf das Verbundverhalten von einbetonierten Bewehrungsstäben / Sager, H. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1985. - VIII, 181 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 68)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1985.  
ISBN 3-89288-004-2

Zur praxisingerechten brandschutztechnischen Beurteilung von Stützen aus Stahl und Beton / Haß, R. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1986. V, 113, 48 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 69)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1986.  
ISBN 3-89288-005-0

17 (siebzehntes) Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton : März 1986 ; Kurzfassungen der Beiträge / Hrsg.: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1986. - 148 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 70)  
ISBN 3-89288-006-9

Versuche zur Festigkeit und Verformung von Beton unter zweiachsender Beanspruchung und hohen Temperaturen / Ehm, C. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1986. - III, 120 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 71)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1986.  
ISBN 3-89288-007-7

Zum Riß- und Verformungsverhalten von Stahlfaserverstärkten Stahlbetonstäben unter Längszug / Hartwich, K. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1986. - V, 202 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 72)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1986.  
ISBN 3-89288-008-5

Zum Einfluß tiefer Temperaturen auf Verbund und Rißbildung von Stahlbetonbauteilen / Scheuermann, J. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1987. - II, 162 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 73)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.  
ISBN 3-89288-011-5

Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton / Hinrichsmeyer, K. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1987. - II, 162 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 74)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.  
ISBN 3-89288-015-8

Fachseminar Neue Bemessungsregeln durch Änderung der Stahlbeton- und Spannbetonvorschriften DIN 1045, DIN 4227 : Juni 1986 ; Kurzfassungen der Beiträge / Hrgg.: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz. Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1986. - 100 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 75)  
ISBN 3-89288-022-0

Zum Einfluß erhöhter Temperaturen auf Festigkeit und Verformung von Beton mit unterschiedlichen Feuchtegehalten / Budelmann, H. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1987. - VI, 215 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 76)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.  
ISBN 3-89288-016-6

Spannungen und bruchmechanische Vorgänge im Normbeton unter Zugbeanspruchung / Großmann, F. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1987. - VII, 174, 160 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 77)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.  
ISBN 3-89288-023-9

Zum Einfluß des Verbundkriechens auf die Rißbreitenentwicklung sowie auf die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen / Rohling, A. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1987. - VI, 230 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 78)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.  
ISBN 3-89288-024-7

Zwangrißbildung und Bewehrung von Stahlbetonwänden auf steifen Unterbauten / Henning, W. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1987. IX, 226 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 79)

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.  
ISBN 3-89288-025-5

Zur Berechnung der Biegetragfähigkeit brandbeanspruchter  
Spannbetonbauteile unter Berücksichtigung geeigneter Vereinfachungen für  
die Materialgesetze / Richter, E. - Braunschweig: Institut für Baustoff  
1987. - V, 137 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig ; H. 80)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.  
ISBN 3-89288-026-3

Nichtlineare Berechnung ebener Stahlbetonflächentragwerke unter  
Einschluß von Brandbeanspruchung / Kiel, M. - Braunschweig: Institut  
für Baustoffe, 1987. - VI, 155 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau  
und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 81)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1987.  
ISBN 3-89288-027-1

Polymerspezifische Auswirkungen auf das Tragverhalten modifizierter  
zementgebundener Betone (PCC) / Konietzko, A. - Braunschweig: Institut  
für Baustoffe, 1988. - 143 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und  
Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 82)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1988.  
ISBN 3-89288-028-X

Zum Trag- und Verformungsverhalten schlanker Stahlbetonstützen unter  
besonderer Berücksichtigung der schiefen Biegung / Grzeschkowitz, R. -  
Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1988. - VIII, 139 S. - (Institut  
für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität  
Braunschweig ; H. 83)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1988.  
ISBN 3-89288-030-1

Zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonplatten unter  
partieller Brandbeanspruchung / Wiese, J. - Braunschweig: Institut für  
Baustoffe, 1988. - XI, 205 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und  
Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H. 84)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1988.  
ISBN 3-89288-031-X

Traglastberechnung zweiachsig biegebeanspruchter Stahlbetonstützen unter  
Brandeinwirkung / Rudolph, K. - Braunschweig: Institut für Baustoffe,  
1988. - 119 S. - (Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der  
Technischen Universität Braunschweig ; H. 85)  
Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 1988.  
ISBN 3-89288-032-8

Einfluß der Eigenbrandlast auf das Brandverhalten von Bauteilen aus  
brennbaren Baustoffen / Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.; Noack, I. -  
Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1989. - (Institut für Baustoffe,  
Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig ; H.  
86)  
In Vorbereitung.  
ISBN 3-89288-058-1

Forschungsarbeiten 1984 - 1989 / Hrsg.: Institut für Baustoffe,  
Massivbau und Brandschutz. - Braunschweig: Institut für Baustoffe, 1989

(Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen  
Universität Braunschweig ; H. 87)  
ISBN 3-89288-034-4



ISBN 3-89288-059-X

ISSN 0178-5796