

# **Charakterisierung einer einheitlichen Messmethodik und Validierung ausgewählter Verfahren für die Bestimmung der Maschenweiten von Stahldrahtgeweben**

Dr.-Ing. Wilfried Hinrichs

Das Forschungsvorhaben wurde von der Stiftung  
Stahlanwendungsforschung im Stifterverband für die Deutsche  
Wissenschaft e.V. gefördert (Az: A 182/S24/10036/02).

**Heft 184**

**BRAUNSCHWEIG**

**2005**



Universitätsbibliothek Braunschweig (84)



## Corrigendum

**In der Tabelle auf Seite 76 muss die Zeile Sw in mm in der Spalte 0,032 lauten:  
0,002 ... 0,005**

**In Tabelle 4a beträgt das Gesamtmittel der Drahtdicke unter Einbeziehung von  
GW 11 0,313 mm**

H. 184: Hinrichs, W.: Charakterisierung einer einheitlichen Messmethodik und Validierung ausgewählter Verfahren für die Bestimmung der Maschenweiten von Stahldrahtgeweben



**MATERIALPRÜFANSTALT FÜR DAS BAUWESEN**

**INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ**

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

**Charakterisierung einer einheitlichen Messmethodik  
und Validierung ausgewählter Verfahren für die  
Bestimmung der Maschenweiten von  
Stahldrahtgeweben**

Dr.-Ing. Wilfried Hinrichs

Das Forschungsvorhaben wurde von der Stiftung  
Stahlanwendungsforschung im Stifterverband für die Deutsche  
Wissenschaft e.V. gefördert (Az: A 182/S24/10036/02).

**Heft 184**

**BRAUNSCHWEIG**

**2005**

ISBN 3-89288-166-9

ISSN 1439-3875

### **Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek**

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

### **Bibliografic information published by Die Deutsche Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.ddb.de>



K  
BA  
N  
601 (184)

## **Abschlussbericht des Forschungsprojektes**

### **Charakterisierung einer einheitlichen Messmethodik und Validierung ausgewählter Verfahren für die Bestimmung der Maschenweiten von Stahldrahtgeweben**

(A 182 / S24/10036/02)

Laufzeit der Forschungsarbeiten: **01. Juli 2002 – 30. Juni 2004**

---

Forschungsstelle            Materialprüfanstalt für das Bauwesen Braunschweig  
Beethovenstr.            52,            38106            Braunschweig  
<http://www.mpa.tu-bs.de>, [w.hinrichs@ibmb.tu-bs.de](mailto:w.hinrichs@ibmb.tu-bs.de)

Forschungsleiter:            Dr.-Ing. Wilfried Hinrichs

Antragsteller:            Forschungsvereinigung der Arbeitsgemeinschaft  
der Eisen und Metall verarbeitenden Industrie e.V. (AVIF)

Vorgelegt von:            Vereinigung deutscher Drahtwebereien e.V. (VDD)

Das Forschungsvorhaben wurde gefördert von der Stiftung  
Stahlanwendungsforschung im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V.

Schlussbericht über:            Materialprüfanstalt für das Bauwesen Braunschweig  
Beethovenstr.            52,            38106            Braunschweig  
<http://www.mpa.tu-bs.de>, [w.hinrichs@ibmb.tu-bs.de](mailto:w.hinrichs@ibmb.tu-bs.de)

Weitere Informationen            im Internet: <http://www.mpa.tu-bs.de/mpa-research>

Braunschweig, den 18. März 2005

Forschungsbericht ‚Vermessung von Stahldrahtgeweben‘

Seite 1

Das im Folgenden dargestellte Forschungsprojekt

**Charakterisierung einer einheitlichen Messmethodik und Validierung  
ausgewählter Verfahren für die Bestimmung der Maschenweiten von  
Stahldrahtgeweben**

wurde gefördert von der gemeinnützigen Stiftung Stahlanwendungsforschung im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. Zweck der Stiftung ist die Förderung der Forschung auf dem Gebiet der Stahlverarbeitung und -anwendung in der Bundesrepublik Deutschland. Geprüft wurde das Forschungsvorhaben von einem Gutachtergremium der Forschungsvereinigung der Arbeitsgemeinschaft der Eisen und Metall verarbeitenden Industrie e.V. (AVIF), das sich aus Sachverständigen der Stahl anwendenden Industrie und der Wissenschaft zusammensetzt. Begleitet wurde das Projekt von einem Arbeitskreis der Vereinigung deutscher Drahtwebereien e.V. (VDD).

Der nachstehende Bericht fasst Zielsetzung und wichtigste Ergebnisse des Forschungsprojektes zusammen.

## Kurzfassung des Forschungsberichtes

Gewebe für industrielle und sonstige Anwendungen bestehen aus unterschiedlichen Werkstoffen. Das können Stahl, Nichteisenmetalle, Kunststoffe, Naturfasern, Keramik oder andere Materialien sein. In diesem Forschungsbericht werden Untersuchungen an Drahtgeweben aus Stahl beschrieben, die in technischen Webereien in sehr unterschiedlichen Abmaßen hergestellt werden. Sie finden in der Sieb- und Filtertechnik zur Fest-Flüssig-Trennung, zur Klassierung und Sortierung fester Stoffe, in Architektur und Design, im Automobilbau usw. Verwendung. Das Einsatzspektrum reicht von rauen Techniken im Bergbau und in der Aufbereitung von Erzen und mineralischen Stoffen über Nahrungsmittelherstellung und Pharmaindustrie bis zu hygienischen und Reinraumtechniken sowie zur Abschirmung elektromagnetischer Strahlung.

Eine herausgehobene Rolle spielen Drahtgewebe im technischen Siebdruck, in der Filtration und in der Siebung. Neben dem Werkstoff und den äußeren Abmaßen sind für die Anwendung der sehr unterschiedlichen Produkte die Maschenweiten und Dicken der verwendeten Drähte von Bedeutung. Zur Ermittlung der Kennwerte Maschenweite und Drahtdurchmesser wird eine Reihe von Messverfahren eingesetzt: Bei der Herstellung der Stahldrahtgewebe erfolgen Messungen bei der Anlieferung der Drähte, beim Weben auf dem Webstuhl und bei der Auslieferung der fertigen Produkte. Die Kunden vermessen die Gewebe in manchen Fällen beim Wareneingang. In einigen Fällen werden auch unabhängige Stellen mit Messungen beauftragt. Dabei hat sich gezeigt, dass die jeweiligen Messergebnisse oft nicht vergleichbar sind und in Zweifelsfällen ungeklärt bleibt, auf welche messtechnische Grundlage sinnvollerweise Bezug genommen werden sollte.

Mit diesem Forschungsvorhaben sollte mit bekannten und am Markt verfügbaren Messmitteln eine zuverlässige, möglichst einfach handhabbare und kalibrierfähige Messmethodik entwickelt werden, die die wesentlichen Kriterien benennt, auf deren Grundlage ein Vergleich der Resultate möglich ist. Dem Auftraggeber sollte bei der Wahl der Methode klar sein, wie ein erwartetes Ergebnis im Vergleich mit anderen Messresultaten zu bewerten ist. Im Rahmen der Untersuchungen sollte der gesamte technisch relevante Bereich der Maschenweite von 20 µm bis 32 mm und der Drahtstärke von ebenfalls 20 µm bis 12 mm erfasst werden. In enger Zusammenarbeit mit den meisten Herstellern von Drahtgeweben in Deutschland und einigen messtechnisch spezialisierten Geräteentwicklern wurden die am Markt vorhandenen Geräte und Messmethoden eingehend untersucht und die jeweiligen Messergebnisse miteinander verglichen.

Mit der Vorlage der ersten Resultate bestätigte sich die allgemeine Erfahrung, dass die Gewebe selbst eine wesentliche Quelle der Messunsicherheit darstellen, wenn nicht detailliert festgelegt wird, wo die Messung durchgeführt werden soll. Das stellte

vor allem für sehr feine Gewebe ein erhebliches Problem dar. Um dieses Phänomen für die Detailanalyse der anderen Einflussfaktoren auszuschließen, wurden die meisten Untersuchungen an definierten Einzelmaschen bzw. -drähten durchgeführt.

Für Stahldrahtgewebe mit Maschenweiten von 2 mm und größer werden meistens Messschieber verwendet. Im Projekt konnte nach eingehenden Untersuchungen übereinstimmend nachgewiesen werden, dass die Messunsicherheit bei Beachtung relativ einfacher Voraussetzungen keine Probleme mit den Toleranzvorgaben der Produkte erzeugt. Im Detail heißt das, dass eine zwischen den Parteien vereinbarte Messvorschrift vorliegen muss und dass die Messschieber eine hinreichend genaue Anzeigeauflösung haben müssen. Es zeigte sich aber auch, dass sich die messtechnische Erfahrung der Person, die die Messungen an Stahldrahtgeweben durchführt, im Allgemeinen stärker auf die Messunsicherheit auswirkt als eine Kalibrierung des Messinstruments. Für die Berechnungen wurden zwei aktuelle international akzeptierte Methoden herangezogen. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass der Messschieber bei Beachtung der genannten Voraussetzungen ein gebrauchstaugliches Messinstrument für Stahldrahtgewebe mit Maschenweiten von 2 bis 32 mm bzw. Drahtdurchmessern von 0,5 bis 12 mm ist. Unter diesen Umständen wird meist eine Messunsicherheit im Bereich von 0,1 bis 0,2 mm erreicht.

Die Vermessung von Stahldrahtgeweben mit Maschenweiten zwischen 0,02 und < 2 mm erfolgt meist mit optischen Verfahren (Lupen, Mikroskope, Kameraoptiken). Dabei sind manuelle analoge und rechnergestützte digitale Methoden zu unterscheiden. Im Gegensatz zu den manuellen Messungen mit dem Messschieber zeigten die Untersuchungen deutlich, dass die Ergebnisse teilweise beträchtlich systematisch voneinander abweichen. Das heißt, dass trotz Reduzierung einiger erkannter Einflussgrößen die Resultate dennoch weiterhin teilweise erheblich voneinander abwichen. Dieses Phänomen war im Grundsatz schon zu Beginn des Projektes bekannt. Die zentrale Frage richtete sich daher auf die Quantität der jeweiligen Einflussgrößen.

Das Gewebe selbst als wesentliches Quelle der Messunsicherheit wurde bei den Untersuchungen weitgehend ausgeschaltet, um nicht andere Faktoren sozusagen im ‚Grundrauschen‘ nicht mehr erkennen zu können. Dabei kristallisierten sich im Wesentlichen drei Größen heraus, die je nach Messbedingungen in ihrer Quantität variierten: Die Art der Beleuchtung des Messobjektes (Streulicht oder paralleles Licht, Lichtstärke und Helligkeitsschwankungen im Messfeld) wirkt sich signifikant auf das Ergebnis aus. Diese Komponenten sind gerätespezifisch und meist ohne Umbau kaum zu beeinflussen. Sie stellen für die Messenden eine Varianz dar, die aus der Hardware des Instrumentes resultiert.

Ein zweiter wesentlicher Faktor ist die mangelnde Reproduzierbarkeit von Einzelmessungen. Trotz sehr ähnlicher Messbedingungen (gleiches Gerät mit gleichen Einstellungen und Wiederholung der Messung nach kurzer Zeit) schwankten

die Resultate teilweise erheblich. Ursache für diese Beobachtung ist im wesentlichen die Messsoftware. Das heißt praktisch, dass bereits geringfügige Schwankungen in den Messbedingungen zu deutlich abweichenden Ergebnissen führen können.

In der Summe heißt das, dass ein signifikanter systematischer durch einen deutlichen zufälligen Effekt überlagert wird. Damit lassen sich die im Vorfeld beobachteten Abweichungen zwar erklären. Für eine Begründung der festgestellten quantitativen Unterschiede reichen diese Feststellungen allerdings noch nicht aus. Daher musste eine weitere signifikante Einflussgröße vorhanden sein. Sie wurde in der Kalibrierung der Geräte gefunden. Die Verwendung von praktisch zweidimensionalen Kalibriernormalen (Muster auf Glasträgern) reduziert die Effekte aus der Beleuchtung nicht. Für das Forschungsvorhaben wurde daher ein dreidimensionales Muster entworfen, sehr präzise vermessen und mit den Ergebnissen aus der Kalibrierung mit Glasträgern verglichen. Es zeigte sich, dass auch dieser Einfluss wichtig sein kann. Weitergehende Untersuchungen waren nicht möglich, weil sie nicht Gegenstand des Projektes waren.

Die Abweichungen der Messergebnisse der Geräte für die optische Messungen voneinander waren oft größer als die Toleranzvorgaben für die Produkte. Um die Vergleichbarkeit der Messgeräte herzustellen sind gezielte Änderungen in der Hard- und Software und eine Vereinheitlichung der Kalibrierung erforderlich.

Für die Praxis bedeutet das, dass die Messung von Maschenweiten und Drahtstärken von gröberen Stahldrahtgeweben mit Messschiebern zu gut vergleichbaren Ergebnissen führt, wenn einige einfache Rahmenbedingungen (Messvorschrift, Messerfahrung des Personals, Kalibrierung) beachtet werden. Bei feineren Geweben ist beim Vergleich von Ergebnissen verschiedener Messverfahren Vorsicht geboten. Die Resultate der marktgängigen Geräte sind nur eingeschränkt vergleichbar. Durch das Forschungsvorhaben wurden die wesentlichen Einflussgrößen benannt und quantifiziert, so dass hier eine Optimierung ansetzen kann. Bedeutsam wäre außerdem, dass bei den Überlegungen zur Kalibrierung der ‚richtige Wert‘ so festgelegt wird, dass er mit den verschiedenen Messmethoden auch reproduzierbar ist. Schließlich ist es erforderlich, dass die Ergebnisse, die sich auf Messungen von Einzelmaschen beziehen, auf das Produkt bezogen werden können.

Die Einschränkung der Eignung der Messverfahren gilt für Vergleiche von Messwerten aus verschiedenen Quellen. Sie gilt in dieser Form nicht unbedingt für Geräte und Verfahren, die innerbetrieblich verwendet werden. Für Vergleiche von Messwerten für die Produktionskontrolle ist die Präzision von Wiederholungsmessungen wichtiger. Diese Präzision war in vielen Fällen gut ausreichend.

## INHALT DES FORSCHUNGSBERICHTES

<b>Kurzfassung des Forschungsberichtes .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Was sind Stahldrahtgewebe? .....</b>	<b>9</b>
1.1 Allgemeines .....	9
1.2 Erwarteter Nutzen des Forschungsvorhabens .....	10
<b>2 Wo lag das Problem? .....</b>	<b>12</b>
2.1 Messstellen in Produktion und Verwendung .....	12
2.1.1 Praktizierte Verfahren zur Ausmessung beim Kunden.....	12
2.1.2 Praktizierte Verfahren zur Ausmessung beim Hersteller.....	13
2.2 Erscheinen des Problems .....	14
2.3 Kosten der Messungen .....	16
<b>3 Wie wurde das Problem angegangen? .....</b>	<b>17</b>
3.1 Definition eines Forschungsprojektes .....	17
3.2 Forschungsbegleitender Arbeitskreis.....	17
3.3 Kritische Rahmenbedingungen .....	18
3.4 Materialien für die Untersuchungen .....	19
<b>4 Was gab es an Informationen? .....</b>	<b>20</b>
4.1 Literaturrecherche.....	20
4.2 Patentrecherche.....	20
4.3 Produktnormen .....	20
4.4 Informationen von Gewebeherstellern .....	21
4.5 Informationen von Messgeräteherstellern .....	22
<b>5 Wie wurde untersucht? .....</b>	<b>23</b>
5.1 Manuelle und optische Messverfahren .....	23
5.2 Pfade der Schätzung der Messunsicherheit .....	23
5.2.1 Pfad A .....	23
5.2.2 Pfad B .....	24
5.3 Kombination der Ergebnisse.....	25
5.4 Messmethodik bei Geweben mit Maschenweiten $w \geq 2$ mm.....	25
5.5 Messmethodik bei Gewebe mit Maschenweiten $w < 2$ mm.....	26
5.6 Messtechnisches Modell .....	26
5.7 Rückführung der Messergebnisse .....	29
<b>6 Welche Messgeräte wurden in die Untersuchungen einbezogen? .....</b>	<b>30</b>
6.1 Manuelle und visuelle Geräte .....	30
6.1.1 Messschieber.....	30
6.1.2 Messdorne .....	30

6.1.3	Tyler-Messer .....	30
6.2	Visuelle Messgeräte.....	31
6.2.1	Fadenzählgeräte .....	31
6.2.1.1	Analoge Fadenzähler .....	31
6.2.1.2	Automatisches Fadenzähl-Gerät (Pick Counter).....	31
6.2.2	Messlupen .....	33
6.3	Optische Messgeräte .....	33
6.3.1	MeshCheck.....	34
6.3.2	G/TIAG-A .....	36
6.3.3	Micromesh .....	38
6.3.4	Eigenbaugerät.....	38
<b>7</b>	<b>Was waren die Ergebnisse?.....</b>	<b>40</b>
7.1	Vorbemerkungen zur Auswertung.....	40
7.1.1	Methodik .....	40
7.1.2	Messobjekt.....	40
7.1.3	Bezug auf einen richtigen Wert.....	42
7.2	Manuelle Messverfahren.....	43
7.2.1	Einfluss der Messgeräte .....	43
7.2.2	Einfluss des messenden Personals .....	45
7.3	Gewebe mit Maschenweiten $w < 2 \text{ mm}$ .....	47
7.3.1	Einflussgröße Licht .....	48
7.3.1.1	Fremdlicht .....	48
7.3.1.2	Objektbeleuchtung .....	49
7.3.2	Kamera .....	54
7.3.3	Optik .....	55
7.3.3.1	Optisches System.....	55
7.3.3.2	Wahl der Vergrößerung .....	56
7.3.4	Messsoftware.....	57
7.3.5	Stabilität der Messung'.....	60
7.4	Kalibrierung.....	62
7.5	Vergleich der Ergebnisse verschiedener Messgeräte.....	64
7.5.1	MeshCheck / G/TIAG-A .....	65
7.5.2	Micromesh / G/TIAG-A.....	67
7.5.3	MeshCheck / Micromesh .....	67
7.5.4	Fazit der Unterschiede bei den Messgeräten .....	68
7.6	Erweiterte Messunsicherheiten .....	69
7.6.1	Manuelle Messverfahren.....	69
7.6.2	Optische Messverfahren .....	70
7.6.3	Zusammenfassung der Daten.....	71
7.7	Präzisionsdaten .....	71
7.7.1	Manuelle Messverfahren.....	72
7.7.1.1	Wiederholpräzision .....	72

7.7.1.2	Vergleichpräzision.....	72
7.7.2	Optische Messverfahren .....	73
7.7.2.1	Wiederholpräzision .....	73
7.7.2.2	Vergleichpräzision.....	73
7.8	Plausibilität der Schätzungen.....	74
7.9	Abschlussbewertung der Validierung.....	75
7.9.1	Gewebevermessung mit Messschiebern .....	75
7.9.2	Validierung der Gewebevermessung mit optischen Verfahren .....	76
7.9.3	Rückverfolgung der Messergebnisse.....	77
7.9.4	Angabe der Ergebnisse .....	78
7.9.5	Unsicherheit des gewählten Modells.....	79
7.10	Messung vs. Prüfung .....	79
<b>8</b>	<b>Was kann man mit den Ergebnissen anfangen?.....</b>	<b>80</b>
8.1	Hersteller von Stahldrahtgeweben (,first party') .....	80
8.2	Kunden (,second party') .....	81
8.3	Stellen zur Konformitätsbewertung (,third party') .....	81
8.4	Hersteller von Messgeräten .....	82
<b>9</b>	<b>Symbole.....</b>	<b>83</b>
<b>10</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>84</b>
<b>11</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>85</b>
11.1	Einzelbeiträge .....	85
11.2	Produktnormen .....	88
11.2.1	Gewebe .....	88
11.2.2	Messtechnik.....	89
11.2.3	Sonstige Unterlagen .....	90
11.3	Patente .....	91

## Anhang

- I. Fotos
- II. Tabellen
- III. Dokumente

# 1 Was sind Stahldrahtgewebe?

## 1.1 Allgemeines

Gewebe für industrielle und sonstige Anwendungen bestehen aus unterschiedlichen Werkstoffen. Das können Stahl, Nichteisenmetalle, Kunststoffe, Naturfasern, Keramik oder andere Stoffe sein. Drahtgewebe aus Stahl werden in technischen Webereien zu sehr verschiedenen Produkten und für unterschiedliche Anwendungszwecke hergestellt. Der Hauptwerkstoff ist Stahl. Daneben spielen auch andere Metalle wie Kupfer, Bronze, Aluminium und Titan sowie Speziallegierungen oder Kunststoffe eine Rolle. Die Gewebe können in Standardausführung von stark bis ultra-dünn oder als gewalzte Produkte hergestellt werden. Spezialgewebe werden bis zu Breiten von über 6 m hergestellt.

Stahldrahtgewebe werden in den Normen ISO 3310-1, ISO 9044 und ISO 14315 spezifiziert. Sie stellen als typische Weltmarktprodukte wesentliches Ausgangsmaterial für so unterschiedliche Waren wie Farbdruckgewebe, Filtermaterialien, Pkw-Airbags, Analysensiebe usw. dar. Die Vielfalt der jeweiligen Ausführungen korrespondiert mit den Einsatzbereichen. Neben Werkstoff und Dicke des Gewebes werden für die Produktkennzeichnung vor allem Maschenweite und Drahtstärke verwendet.

Drahtgewebe werden in der Sieb- und Filtertechnik zur Fest-Flüssig-Trennung, zur Klassierung und Sortierung fester Stoffe, in Architektur und Design, im Automobilbau usw. verwendet. Eine zentrale Rolle spielen Drahtgewebe im technischen Siebdruck, in der Luft- und Staubfiltration und in der Fraktionierung fester disperser Materialien. Eine Vielzahl von Industriebranchen setzt diese Produkte ein. Das Spektrum reicht von rauen Techniken im Bergbau und in der Aufbereitung von Erzen und mineralischen Stoffen über Nahrungsmittelherstellung und Pharmaindustrie bis zu hygienischen und Reinraumtechniken und zur Abschirmung elektromagnetischer Strahlung. Entsprechend können zusätzliche Anforderungen wie Drucktoleranz, Dehnfestigkeit, sehr glatte Oberflächen, Verschleißfestigkeit, chemische und thermische Beständigkeit gefordert sein.

Neben dem Werkstoff ist die Ausführung des Gewebes hinsichtlich Maschenweite, Drahtstärke, Webart und Drahtart auf den jeweiligen Anwendungszweck abzustimmen. Hinsichtlich der Webart gibt es die drei Grundbindungsarten Leinwand, Köper und Atlas. Bei dem am häufigsten hergestellten Leinwandbindung (glattes Gewebe) bindet sich ein Kettendraht jeweils über einen Schussdraht und umgekehrt. Diese Bindung gewährleistet das stabilste Gewebe, mit ihr werden die genauesten Maschenweiten erreicht. Bei Köpergewebe windet sich ein Kettendraht immer über zwei Schussdrähte und umgekehrt. Dieses Gewebe ist nicht so starr; es gibt bei Verformungsbeanspruchungen besser nach. Für dieses Gewebe können stärkere Drähte verwendet werden, die auch für kräftigere Gewebe geeignet sind. Beim

Atlasgewebe liegen jeweils mehrere Kettfäden über einem Schussfaden. Außerdem seien andere Gewebeformen wie Tressen und Köpertressen erwähnt. Sie spielen in Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt aber keine Rolle.

Die Gesamtproduktion an Drahtgeweben in Deutschland aller Art betrug im Jahr 2000 etwa 2,5 Mio. m<sup>2</sup>, die in knapp 20 Webereien und Gittereien erzeugt wurden. Der mit Abstand größte Anteil entfällt darin auf Stahldrahtgewebe. Der Umsatz an Drahtgewebeprodukten für 2000 wird auf etwa 170 Mio. € geschätzt.

Auch bei Produkten aus der Textil- und Lederverarbeitung kann die Maschenweite von Bedeutung sein. Eine Übertragung von Ergebnissen aus diesen Bereichen ist wegen sehr unterschiedlicher stofflicher Einflüsse und Präzisionsanforderungen sowie Verarbeitungsgeschwindigkeiten in der Produktion und anderer Besonderheiten (z.B. Muster, Farbeinflüsse) nur mit Einschränkungen möglich. Diesen Phänomenen wird in diesem Projekt nicht näher nachgegangen.

## **1.2 Erwarteter Nutzen des Forschungsvorhabens**

Der Nutzen des Vorhabens für die Stahlanwendungsforschung wird insbesondere in den beiden folgenden Sachverhalten gesehen: Wenn quantifizierte Anforderungen an Maschenweite und Drahtdurchmesser durch die Verwender gestellt werden, sind die Aussagen zunächst unabhängig vom Gewebematerial. Das angewendete Prüfverfahren ist jedoch wegen unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften (Rauheit, Reflexionsvermögen usw.), Härte und Festigkeit teilweise stark vom verwendeten Werkstoff abhängig. Wenn in diesem Forschungsvorhaben eine einheitliche Messmethodik für Stahldrahtgewebe ermittelt wird, die den aktuellen Anforderungen des Marktes auch hinsichtlich Validierung und Messunsicherheit in vollem Umfang entspricht, sind für Stahldrahtgewebe in diesem Bereich Vorteile zu erwarten, da die Ergebnisse nicht unmittelbar auf andere Materialien übertragbar sein werden. Die Verwendung von Stahl für Gewebe, das höheren Präzisionsanforderungen unterliegt, kann daher durch eine einheitliche Prüfmethode gefördert und gestärkt werden.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens können den deutschen Drahtwebereien ein Instrumentarium an die Hand geben, mit dem aufgrund von messtechnischen Argumenten Produkte aus Drittländern abgewehrt werden können. Importierte Stahldrahtgewebe mit Produktzertifikaten, deren messtechnische Grundlage anfechtbar ist, können mit kalibrierbaren und nachweislich zuverlässigen Messmethodiken leichter disqualifiziert werden.

Ein Beispiel für Gewebe mit besonderen Anforderungen an die Maschenweite ist die Siebung. Die Untersuchung von Partikelgrößen in festen dispersen Materialien ist für deren Kennzeichnung in vielen Bereichen eine unverzichtbare Größe. Bei der Siebung hochwertiger Zwischen- oder Endprodukte, wie sie z.B. für Automobillacke,

Mineralöle oder Pharmazeutika bzw. in vielen Bereichen der Laboranalytik üblich ist, müssen sich die Verwender auf Maschenweite und Drahtdurchmesser verlassen können. Im Laborbereich werden neben anderen Verfahren (Beispiel: Laserbeugung) Analysensiebe eingesetzt, für die es eine internationale Produktnorm gibt (DIN ISO 3310-1). Allgemeine Anforderungen an das Produkt ‚Analysensieb‘ sind neben Maschenweite und Drahtdicke für das verwendete Gewebe, dass es dauerhaft straff ist, eine zufriedenstellende freie Siebfläche, Korrosionsbeständigkeit, leichte Reinigungsmöglichkeit und einen störungsfreien Übergang zum Siebrahmen (Löcher, Lot, Reste aus vorgegangener Siebung) hat. Schließlich soll es mit Sieben anderer Maschenweiten (Verhalten im Siebturm) kombinierbar sein und kein zu hohes Gewicht aufweisen.

## 2 Wo lag das Problem?

### 2.1 Messstellen in Produktion und Verwendung

Die Ausmessung von Gewebekennndaten kann in verschiedenen Produktions- oder Verwendungsbereichen sowohl beim Kunden als auch beim Hersteller vorgenommen werden:

- Kundenprüfungen
  - Wareneingangskontrolle (Gewebe)
  - Produktionsüberwachung (bei Weiterverarbeitung)
  - ggf. Kennzeichnung (Produkt mit Drahtgewebekomponente)
  
- Herstellerprüfungen
  - Wareneingangskontrolle (Drähte)
  - Produktionsüberwachung (Gewebe)
  - Kennzeichnung (Gewebe an sich oder als Produkt mit Drahtgewebe-komponente)

Die große Palette an Produkten hinsichtlich Maschenweite und Drahtstärke, verschiedene Produktnormen, die Zahl der Messstellen und die grundsätzliche Verschiedenheit der jeweils verwendeten Messmittel erschweren den Vergleich von Messergebnissen erheblich. Hinzu kommt, dass sich viele Kunden keine aufwändigen Messgeräte kaufen und Personal für die Durchführung abstellen wollen. Wenn sie das gekaufte (Fein-)Gewebe beim Hersteller oder bei einem unabhängigen Dritten untersuchen bzw. zertifizieren lassen, besteht für sie wiederum keine Gewähr, dass die Ergebnisse miteinander vergleichbar sind. Das Bild 1 zeigt die Kontrolle der Drahtdicke bei der Wareneingangskontrolle eines Gewebeherstellers.

#### 2.1.1 Praktizierte Verfahren zur Ausmessung beim Kunden

Die wesentliche Messstelle bei den meisten Kunden ist die Wareneingangskontrolle des gekauften Gewebes. Die Annahmekriterien berücksichtigen den spezifischen Verwendungszweck, basieren aber oft auf allgemeinen Vorgaben, die in Produktnormen wie z.B. DIN ISO 9044 enthalten sind. In nicht wenigen Fällen gelten auch bilaterale Vereinbarungen. Maschenweite und Drahtdicke können auch bei der weiteren Produktionsüberwachung von Bedeutung sein, wenn z.B. Analysensiebe nach DIN ISO 3310-1 gefertigt werden. In solchen Fällen, in denen Produkte mit definierten Drahtgewebekomponenten hergestellt werden, ist die Kenntnis der Eigenschaften des Rohproduktes von besonderer Bedeutung. Zu Illustration dient das folgende Beispiel:

- In einem Gespräch auf einer Messe erklärte ein Anlagenbauer sein Vorgehen bei der Siebherstellung und Ausmessung: Es wird jeweils nur die Mitte von gekauften Gewebepartien verwendet, weil nach den vorliegenden Erfahrungen die Gleichmäßigkeit des Gewebes zu den Seiten hin abnimmt. Das gilt sowohl für größere Siebflächen als auch für Analysensiebe. Vor einer Messung wird das Gewebe mit vier Gewichten an den Enden vorsichtig glattgezogen. Größere Flächen werden an fünf Stellen (vier Ecken und Mitte) mit einem firmeneigenen Bildauswertungsprogramm an mehreren Stellen ausgemessen. Nach Aussage dieses Anlagenbauers zeigt diese Praxis, dass damit den Kundenanforderungen (in diesem Fall die pharmazeutische Industrie) bis hinunter zu Maschenweiten von  $w = 40 \mu\text{m}$  genügt wird.

### 2.1.2 Praktizierte Verfahren zur Ausmessung beim Hersteller

Die Hersteller von Stahldrahtgeweben setzen zur Produktionsüberwachung routinemäßig Messmittel wie Messschieber, Lupen, Fadenzähler, Mikroskope oder Bildauswerteeinheiten ein. Weitere teilweise gebräuchliche Messinstrumente sind einfache Maßbänder, Mikrometerschrauben bis zu Elektronenmikroskopen. Die Messverfahren basieren auf unterschiedlichen Prinzipien, teilweise machen sie relative Aussagen. Eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse ist daher grundsätzlich nicht oder nicht hinreichend gewährleistet, wenn kein Vergleich mit richtigen Werten möglich ist.

Ein weiteres Problem liegt darin, dass einige der angewandten Messverfahren keine Aussagen für die Größe einzelner Maschen erlauben. Mit ihnen lässt sich eine Aussage zur Gleichmäßigkeit des Gewebes in den erfassten Gewebepartien gewinnen. Die meisten Spezifikationen kennzeichnen aber die Qualität von Geweben explizit durch Mittelwerte, die durch Messung einzelner Maschenweiten berechnet wurden. Die vielfach verwendeten ‚Summenverfahren‘ sind daher vor allem für interne Produktionskontrollmaßnahmen von Bedeutung.

Ein Stand der Technik, von dem aus eine Weiterentwicklung möglich wäre, befindet sich im Bereich der Analysensiebe. Aufgrund von Anforderungen an die Produkte hat sich hier eine Einzelmaschen- und -drahtvermessung etabliert. Darauf aufbauend haben sich zwei grundsätzlich verschiedene Messverfahrenstypen entwickelt. Die diesen Typen zugrunde liegenden Verfahren können als Stand der Technik bezeichnet werden:

- Das *optische Verfahren* wird für Maschenweiten von  $w = (0,02 \dots 3) \text{ mm}$  eingesetzt. Das Prinzip ist die Vermessung eines zweidimensionalen Abbildes des Drahtgewebes. Die Geschwindigkeit der Bildverarbeitung stellt im wesentlichen einen Wirtschaftlichkeitsfaktor dar. Dieses bildanalytische Verfahren wurde an verschiedenen Stellen (Drahtgewebehersteller,

Messgeräteentwickler und Materialprüfanstalten) insbesondere für die Ausmessung von Analysensieben entwickelt.

Quantitative Daten zum Einfluss einzelner Messgrößen auf das Ergebnis bzw. zu deren Reproduzierbarkeit liegen kaum vor. Es ist also ungeklärt, inwieweit Resultate aus Messungen verschiedener Apparaturen und Stellen vergleichbar sind.

Ein *manuelles Verfahren* ist die Vermessung von Maschen- bzw. Lochöffnungsweiten mit Messschiebern. Mit dieser Methode werden Drahtgewebe im Bereich von  $w = (2 \dots 63)$  mm gemessen. Die Verwendung von elektronischen Messschiebern mit Schnittstelle erleichtert die Arbeit und reduziert die Zahl möglicher Übertragungsfehler.

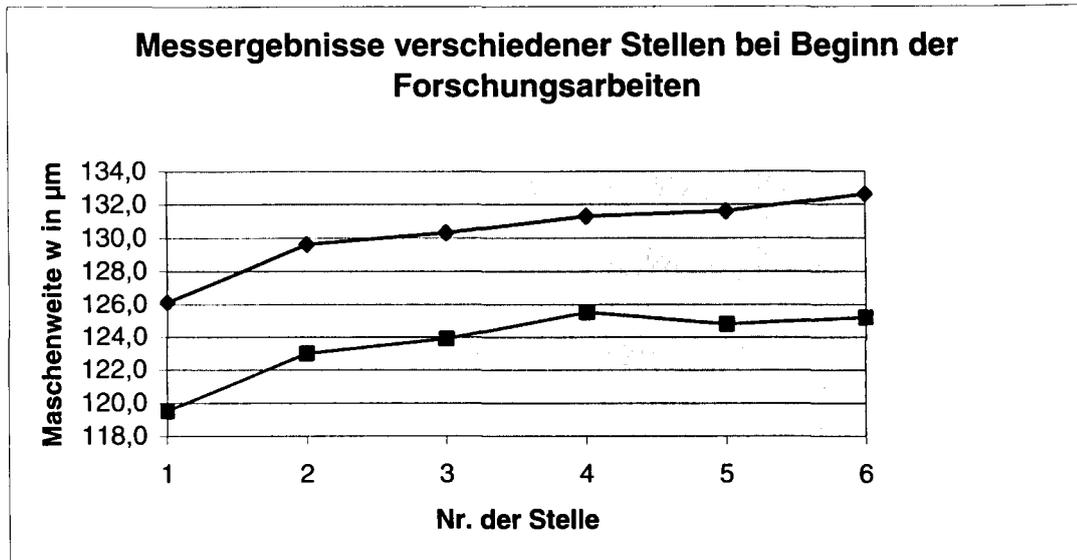
Bei diesem manuellen Messverfahren werden die Maschen- bzw. Lochöffnungsweiten durch Anlegen von Längenmessinstrumenten direkt ermittelt, d.h. ohne zwischengeschaltete bildoptische Darstellung. Wie beim optischen Verfahren liegen keine quantitativen Angaben vor, die einen Maßstab für die Zuverlässigkeit des Verfahrens bei der Vermessung ermöglichen würden.

In der Produktion von Drahtgeweben werden in beträchtlichem Umfang qualitative Messverfahren eingesetzt. Eine besondere Bedeutung kommt dem geübten Blick der Beschäftigten zu, die eine optische Kontrolle des Gewebes per Auge vornehmen. Bei solchen Methoden spielt der Subjektivität des Prüfers (Erfahrung, Augenleistung, Durchführung, Lichtverhältnisse, gleiches Material, Tagesverfassung) sicher eine besondere Rolle. In diesen Fällen sind allerdings Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse schwierig zu beurteilen. Für Aussagen gegenüber Kunden sind solche Daten im Allgemeinen besonders schlecht zu verwenden. Bild 2 zeigt eine übliche Produktionskontrolle an einem Gitter.

## 2.2 Erscheinen des Problems

Die Produktnorm DIN ISO 3310-1 enthält detaillierte Anforderungen an Maschenweite und Drahtdurchmesser. Es ist ein wesentliches Problem, wenn die an verschiedenen Stellen ermittelten Messwerte zu nicht vergleichbaren Ergebnissen führen. Eines der Ausgangsbeispiele für dieses Forschungsprojekt war ein Analysensieb mit einer Nennmaschenweite  $w_N = 125 \mu\text{m}$ . Dieses Sieb wurde von sechs voneinander unabhängigen und erfahrenen Stellen vermessen. Drei Stellen konnten die Konformität des Produktes mit DIN ISO 3310-1 bestätigen, die anderen drei haben eine solche Übereinstimmung dagegen nicht feststellen können. Das Bild zeigt die Ergebnisse der Messstellen. Die oberen Punkte zeigen die Maschenweite in Kettrichtung, die anderen diesen Parameter in Schussrichtung. Der maximal zulässige Wert ist in diesem Fall  $w_{zul} = 130,8 \mu\text{m}$ . Die relative Spannweite zwischen

den Messwerten beträgt, bezogen auf eine Maschenweite von  $w = 125 \mu\text{m}$ , etwa 5 %.



Dieses Beispiel für nicht vergleichbare Mittelwerte wirft ein Schlaglicht auf eine langjährige Erfahrung der Gewebehersteller. Sie sehen es als exemplarisch an, als die Spitze eines Eisbergs. Und das, obwohl insbesondere an der Kalibrierung von Analysensieben international gearbeitet wurde und entsprechende Messsysteme angeboten werden. Eine Aussage zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse lag nicht vor, und es ist auch nicht bekannt, ob jemals ein Versuch zur Harmonisierung der Messung über die Betriebsgrenzen hinaus unternommen wurde.

Im Gegensatz dazu sind Referenzmaterialien für die Überprüfung von Analysensieben entwickelt worden und sind am Markt erhältlich. Sie werden vielfach als praxisrelevante und kostengünstige Alternative für die optische Vermessung angesehen, obwohl die Produktnorm das nicht so vorsieht. Auch die Normung hat sich dieser Materialien angenommen. Ein Beispiel ist das Mustersiebverfahren nach DIN EN 932-5. Eine eingehende Untersuchung über den Zusammenhang von Ergebnissen aus der Siebung und der optischen Inspektion legte HINRICHS 1999 vor. Danach gibt es einen mittelbaren Zusammenhang zwischen beiden Parametern.

Ein weiterer Gesichtspunkt sind die Folgen der Überarbeitung der DIN ISO 3310-1 (Analysensiebe) bzw. allgemein steigenden Anforderungen an Messmittel durch die DIN EN ISO 9000. Die Kalibrierung von Analysensieben wird am Markt angeboten (z.B. ABDUL-MAULA et al. 2001; PITSCHE et al. 2001; LITZBA et al. 1998) und auch nachgefragt, ohne dass allerdings die Frage nach der Genauigkeit der Messungen, d.h. ihrer Richtigkeit und Präzision, einvernehmlich beantwortet werden kann.

### **2.3 Kosten der Messungen**

Sowohl die Hersteller als auch ihre Kunden führen in beträchtlichem Umfang Messungen durch. Die optischen und manuellen Messverfahren sind aufwändig. Insbesondere zur Realisierung des mikroskopischen Verfahrens entstehen im Allgemeinen hohe Investitions- und Betriebskosten, während das Messschieberverfahren personalaufwändig ist.

Zu den Betriebskosten zählt auch der Einkauf von Kalibrierleistungen. Trotz der Verschiedenartigkeit der verwendeten Messmittel werden sie in der Regel kalibriert, vor allem um der allgemeinen Forderung nach Messmittelkalibrierung auf der Grundlage der DIN EN ISO 9000 zu entsprechen. Welchen Einfluss die Kalibrierung auf das Resultat hat bzw. welche Präzision hier erforderlich ist, spielt dabei keine Rolle. Es ist unklar, welche Parameter sinnvollerweise kalibriert werden sollten, weil keine hinreichende Kenntnis über deren Beitrag zum Messergebnis vorliegt. Zu diesem Punkt wird daher auch eine Aussage aus dem Forschungsprojekt erwartet. Insgesamt steigen die Messkosten mit diesen Kalibrierungen, ohne dass ein erkennbarer Mehrwert (richtiger Wert) erzielt wird.

### **3 Wie wurde das Problem angegangen?**

#### **3.1 Definition eines Forschungsprojektes**

Die Vereinigung deutscher Drahtwebereien e.V. (VDD) hat das Problem mit finanzieller Unterstützung der Stiftung Stahlanwendungsforschung im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. mit einem Forschungsprojekt aufgegriffen. Die Forschungsstelle wurde wegen vorliegender Erfahrungen im Umgang und mit der Vermessung von Siebgeweben ausgewählt [ABDUL-MAULA et al 2001]. Hier waren u.a. ein großangelegter Ringversuch durchgeführt [HINRICHS 1999] und aufbauend auf den Ergebnissen eine Kalibriervorschrift nach ISO 3310-1 in Zusammenarbeit mit der DAP GmbH entwickelt worden [DAP 2002]. Außerdem liegen Resultate mit dem praktischen Umgang mit der Messunsicherheit im Prüfwesen vor [HINRICHS 2003].

Als wesentliche Rahmenbedingungen für die Durchführung wurden genannt:

- Verwendung von international akzeptierten Untersuchungsverfahren
- Möglichst keine Neuentwicklung von Geräten
- Berücksichtigung der verwendeten Referenznormale

Dem Verband wurde eine Validierung der wesentlichen am Markt verfügbaren Messgeräte und -verfahren für die Einzelmaschenerfassung unter besonderer Berücksichtigung der Ermittlung der Messunsicherheit nach den Vorgaben des 'Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement' (GUM) [1995] vorgeschlagen. Mit diesem Forschungsansatz war allerdings eine nicht hintergehbare Voraussetzung zu erfüllen: die direkte Einbeziehung der Gewebehersteller und der Anbieter von Messgeräten in das Projekt.

Nach Anlauf der Untersuchungen wurde wegen eines fortgeschrittenen wissenschaftlichen Erkenntnisstandes in diesem Bereich beschlossen, dass parallel ein Ringversuch an stabilisierten Mustern durchgeführt wird, um Daten für eine quantitative Plausibilitätsprüfung der geschätzten Messunsicherheiten zu gewinnen.

#### **3.2 Forschungsbegleitender Arbeitskreis**

Ein Arbeitskreis ‚Vermessung von Drahtgeweben‘ aus Experten des antragstellenden Verbandes und der Forschungsstelle hatte sich im Juli 2001 konstituiert. Er setzte sich aus folgenden aktiven Mitgliedern unter Vorsitz von Walter Haver zusammen:

Name	Unternehmen
Richard Balzer	Spörl GmbH & Co. KG, Sigmaringendorf
Walter Haver	Drahtweberei Haver & Boecker, Oelde/Westfalen
Wilfried Hinrichs	Materialprüfanstalt für das Bauwesen Braunschweig
Michael Hüseken	C.M.Pieper & Comp. KG, Hagen
Ingo Kufferath	Gebr. Kufferath GmbH & Co. KG, Düren
Kasimir Mayska	Drahtweberei Haver & Boecker, Oelde/Westfalen
Rüdiger Tüshaus	Dorstener Drahtwerke, Dorsten
Peter Wirtz	Gebr. Kufferath GmbH & Co. KG, Düren
Dieter Ziehler	Spörl GmbH & Co. KG, Sigmaringendorf

### 3.3 Kritische Rahmenbedingungen

Eine Validierung von genormten Mess- und Prüfverfahren ist international unüblich, weil genormte Verfahren a priori als validiert gelten (HINRICHS 2003). Diese (wirtschaftlich begründete) Vermutung wurde für die untersuchten Verfahren mit dem Beginn der Untersuchungen in gewisser Weise in Frage gestellt. Den Anlass, dass dennoch geforscht wurde, zeigt das Kapitel 2.2 (Erscheinen des Problems). Die Vermutungswirkung konnte in diesem Fall nicht zutreffen. Es legte aber gleichzeitig nahe, dass eine Validierung vorhandener Geräte und Verfahren ohne weitere Änderungen scheitern könnte, weil sonst das zugrunde liegende Problem ja nicht aufgetaucht wäre. Andererseits war damit die Vorgabe, dass möglichst keine Neuentwicklung von Messverfahren notwendig sein sollte, von Beginn an schwer einzuhalten. Eine reine Feststellung der Leistungseigenschaften allein brächte wenig für die Lösung des Problems.

Die Messunsicherheit stellt ein grundsätzlich sekundäres Problem dar. Sie ist Teil des Ergebnisses einer Validierung. Dass sie dennoch ins Zentrum der Untersuchungen gerückt wurde, wird damit begründet, dass die Liefer- und Annahmekriterien bereits in Normen festgelegt sind und daher der Messunsicherheit eine besondere Bedeutung zukommt. Außerdem war dem Verband von der Forschungsstelle die besondere Berücksichtigung des GUM vorgeschlagen worden, weil damit eine Identifizierung und Quantifizierung der Haupteinflussgrößen der Messunsicherheit möglich ist. Das Konzept zielte damit, wie oben gesagt, auf Optimierungsansätze für die praktisch verwendeten Messgeräte und beugt der

potentiellen Notwendigkeit einer Neuentwicklung oder deutlichen Weiterentwicklung von Geräten vor.

Ein wesentlicher Nachteil des GUM-Ansatzes ist, dass im Allgemeinen die Plausibilität des Ergebnisses über eine redundante Methode geprüft werden muss. Aus diesem Grund wurde parallel ein Ringversuch gestartet, von dem Daten für einen quantitativen Vergleich der Resultate erwartet werden. Aus diesem Grund wurde auch die französische Norm X07-021 berücksichtigt. Sie sieht eine gleichrangige Behandlung von Quantifizierungen der Messunsicherheit mit und ohne Modell vor. In diesem Projekt werden beide Wege parallel beschritten. Der damit erforderliche Vergleich macht allerdings einen zusätzlichen Schritt nötig.

Mit dem Forschungsvorhaben sollte folgender messtechnischer Fortschritt realisiert werden ( $w$  = Maschenweite,  $u$  = Messunsicherheit,  $R$  = Vergleichbarkeit):

$w \approx 20 \mu\text{m}$		$w = 1...2 \text{ mm}$		$w = 32 \text{ mm}$
	Optische		Manuelles	
$u = \text{bekannt}$	Analyse	$u = \text{bekannt}$	Verfahren	$u = \text{bekannt}$
$R = \text{bekannt}$		$R = \text{bekannt}$		$R = \text{bekannt}$

### 3.4 Materialien für die Untersuchungen

Im Forschungsprojekt waren umfangreiche Untersuchungen an verschiedenen Geweben erforderlich. Das betraf neben Maschenweite und Drahtdicke auch andere Werkstoffe neben Edelstahl, nicht quadratische Maschen, Köpergewebe, Muster für Referenznormale usw. Die erforderlichen Gewebe und sonstigen Produkte wie Gitter und gegossene Kunststoffmatten stellten die beteiligten Unternehmen zu Beginn des Projektes in großer Zahl zur Verfügung.

## **4 Was gab es an Informationen?**

Die Ermittlung geometrischer Kenngrößen wie Durchmesser und Abstand gehört zu den häufigsten und damit am besten standardisierten Messaufgaben (z.B. PFEIFER 2001; HOFFMANN 1999; PROFOS 1994). Auch speziell zu optischen Messverfahren gibt es zahlreiche Veröffentlichungen (z.B. BRÜGGEMANN 2001; KOCH 1998; LITFIN 1997; BREUCKMANN 1993). Die Erfahrung der Hersteller hat jedoch gezeigt, dass die allgemeinen Vorgaben aus gelösten Messproblemen bei ihrer Anwendung auf das spezielle Messobjekt Stahldrahtgewebe nicht zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Bei den Literatur- und Patentrecherchen wurde daher das spezielle Messobjekt in den Vordergrund gestellt.

### **4.1 Literaturrecherche**

Eine ausführliche Literaturrecherche mit Unterstützung der Universitätsbibliothek der TU Clausthal wurde im Juli 2002 durch eine umfassende Online-Recherche vorgenommen. Sie lieferte einige allgemeine Treffer zur Maschenweite (LITZBA et al. 1998; LIPKA 1990) und speziell zur Ausmessung von Sieben (PITSCH et al. 2001; HINRICHS 1999; HOLVE 1994; JUNGE et al. 1979; CHAPMAN 1977; MEISTER et al. 1964), aber kaum Brauchbares zur Beantwortung der Frage, die dem Forschungsprojekt eigentlich zugrunde lag, nämlich die Einzelmaschenweite. Dazu wurde bislang praktisch nicht publiziert. Eine größere Zahl von Veröffentlichungen, auf die hier nicht weiter eingegangen wird, bezog sich auf textile Gewebe.

Bei den Besuchen in den Herstellbetrieben wurden auch nur wenige zusätzliche, allgemein zugängliche Informationen überreicht.

### **4.2 Patentrecherche**

Parallel zur Literatur- wurde im September 2002 an der TU Clausthal auch eine Patentrecherche durchgeführt. In ihn wurden sehr wenige Treffer ermittelt. Die Offenlegungsschrift 2104916 beschreibt ein Gerät, das nicht zur Bestimmung der Größe von Einzelmaschen geeignet ist. Das gilt auch für das Instrument, das in Dokument DE 4408722A1 beschrieben wird.

### **4.3 Produktnormen**

Es gibt zahlreiche Normen zu Drahtgeweben. Da Drahtgewebe ein Weltmarktprodukt darstellen, sind sie ganz überwiegend international gültig. Soweit sie Beschreibungen von Messverfahren für Maschenweite und/oder Drahtdicke haben, wie z.B. DIN ISO 9044 und DIN ISO 14315, sind sie allerdings wenig detailliert und beziehen sich teilweise auf die Vorverarbeitungsstufe der Feststellung des Drahtdurchmessers vor dem Weben. Nach der Überarbeitung der DIN ISO 3310-1 wird jetzt mehr den Anforderungen an die allgemein verbesserte Messtechnik und an die Dokumentation

der Messergebnisse Rechnung getragen. Dennoch macht diese Norm zwar konkrete Aussagen zum Messverfahren einschließlich zur Auswahl der Maschen in einem Analysensieb, die Realisierung der Messung bleibt aber dem Anwender freigestellt: Es ist lediglich die Ablesegenauigkeit des verwendeten Maßstabes festlegt.

#### **4.4 Informationen von Gewebeherstellern**

Eine ergiebige und wichtige Informationsquelle stellten Gespräche mit Gewebeherstellern dar, die mit einer Besichtigung der Fertigungsstätten und oft einer praktischen Erprobung von Messungen vor Ort verbunden waren. Dabei konnten die Kennwerte der verwendeten Messgeräte aufgenommen werden. Außerdem wurden einzelne Messvorschriften dokumentiert und Interviews über die persönlichen Erfahrungen mit dem die Messung durchführenden und für die Messungen verantwortlichen Personal geführt. Dabei wurden auch Einschätzungen zur Messunsicherheit und zu den relevanten Einflussgrößen abgefragt. Mit diesem Vorgehen wurde sichergestellt, dass einerseits ein breites Verständnis für mögliche Einflussfaktoren erreicht wird, andererseits die Vorschläge für die Umsetzung der Forschungsergebnisse praxisgerecht formuliert werden können.

Für die Validierung von besonderer Bedeutung war die Frage nach den relevanten Produktnormen. In ihnen sind die wesentlichen Anforderungen hinsichtlich Maschenweite und Drahtdurchmesser enthalten, die die Hersteller zu erfüllen haben. An erster Stelle der Nennungen stand die DIN ISO 9044 (Industriedrahtgewebe). An zweiter Stelle genannt wurde die Serie DIN ISO 4783 (Drahtgewebe und Drahtgitter für industrielle Zwecke). Sie enthält aber keine Anforderungen an die Produkte sondern beschreibt Kombinationen aus Maschenweite und Drahtdurchmesser. Die Produktnorm DIN ISO 3310-1 (Analysensiebe) war die am dritthäufigsten genannte Norm. Sie enthält die höchsten Anforderungen für diese Produktgattung. Die DIN ISO 14315 (Drahtgitter für industrielle Zwecke) wurde wenig genannt. Von Bedeutung war außerdem die DIN ISO 4782 (Metalldraht), das aber hauptsächlich, weil die Gewebehersteller als Kunden von Drahtlieferanten auftreten.

Die wesentlichen Werkstoffe waren eindeutig Stahl und spezielle Edelstähle. Neben anderen Metallen spielten auch Kunststoffe eine Rolle. Als Bindungsart überwog sehr deutlich das Leinengewebe. Neben Köper wurden zwar noch Tressen, Atlas usw. hergestellt. Sie waren für das Projekt aber nicht von Belang. Klar dominierende Öffnungsform war das Quadrat. Daneben wurden auch Recheck-, Lang- und Rundlochgewebe sowie Schlitz-, Harfen- und Spaltprodukte erzeugt.

Das in der Produktion und mit der Produktionsüberwachung beschäftigte Personal verfügte selten über eine einschlägige fachliche Ausbildung. Wenige dieser Personen waren, außer elementarem Grundwissen aus einer Anlernzeit, mit Grundlagen der Messtechnik, auch z.B. aus einem gelernten Metallberuf, vertraut. Es hängt in den Betrieben von der jeweiligen Bedeutung der Größen Maschenweite und

Drahtdurchmesser für den Kundenkontakt ab, ob es mehr oder weniger detaillierte Messvorschriften dafür gab. Es wurden nicht durchgehend kalibrierte Messmittel verwendet.

#### **4.5 Informationen von Messgeräteherstellern**

Eine Reihe von Herstellern, die sich auf Messgeräte für Längenmessungen, überwiegend auch auf die Gewebeanalyse spezialisiert haben, stellten in Diskussionen, Demonstrationen und durch Vorlage von Messvorschriften zusätzliche Informationen zum Projekt zur Verfügung. Insbesondere die Ausleihe einzelner Geräte lieferte Angaben zur Einschätzung wesentlicher Einflussgrößen auf die Messergebnisse. Das betraf vor allem Aspekte der Beleuchtung und Kriterien für die Akzeptanz von Maschen für die Ausmessung.

## 5 Wie wurde untersucht?

### 5.1 Manuelle und optische Messverfahren

Bei der Planung wurden Untersuchungen in verschiedenen Bereichen vorgenommen. Es wurde zunächst getrennt zwischen groben ( $w = 2 \dots 32 \text{ mm}$ ) und feinen Geweben ( $w = 0,02 \dots < 2 \text{ mm}$ ). Die Messinstrumente und Messverfahren wurden weitgehend den beiden Gruppen zugeordnet, d.h. dass im Wesentlichen die manuellen Verfahren für die groben Gewebe, die optischen Methoden für die feinen Gewebe verwendet wurden. Das entspricht in dieser Form auch weitgehend der Messpraxis. Diese methodische ‚Grenze‘ wurde in zwei Fällen überschritten:

1. Mit dem Gerät der Fa. Graphikon konnten Gewebe bis  $w_{\max} = 3,3 \text{ mm}$  ausgemessen werden.
2. Außerdem wurde die optische Methode durch Einsatz von Verkleinerungsoptiken auch für Gewebe bis  $w = 32 \text{ mm}$  getestet, um Daten für den Vergleich der beiden Basisverfahren zu erhalten. Damit war ausdrücklich keine Erprobung für eine praktische Anwendung vorgesehen.

Aufgrund der Feststellungen bei den Besuchen in den Betrieben wurden die Untersuchungen schwerpunktmäßig an quadratischen Stahldrahtgeweben mit Leinenbindung vorgenommen.

### 5.2 Pfade der Schätzung der Messunsicherheit

Das grundlegende Untersuchungskonzept ergibt sich aus Schätzungen der Messunsicherheit nach GUM (Pfad A) und der Ermittlung von Präzisionsdaten aus einem Ringversuch (Pfad B). Das enthält folgende Schritte:

#### 5.2.1 Pfad A

Formal wurden bei der Schätzung der Messunsicherheit nach GUM folgende Schritte unterschieden:

- (1) Identifizierung der Einflussgrößen
- (2) Quantifizierung der Einflussgrößen
- (3) Betrachtung möglicher Korrelationen der Einflussgrößen
- (4) Berechnung der kombinierten Standardunsicherheit
- (5) Berechnung der erweiterten Standardunsicherheit
- (6) Erweiterte Plausibilitätsprüfung

## (7) Angabe des Ergebnisses

In den Untersuchungen wurde das Hauptgewicht auf die beiden ersten Schritte (Identifizierung und Quantifizierung) und den sechsten (Plausibilitätsprüfung) gelegt. Die Aufzählung kann nicht als zeitlich systematische ‚Abarbeitung‘ verstanden werden, weil sich üblicherweise wesentliche Einflussgrößen erst aus der intensiven Beschäftigung mit den Messverfahren ergaben. Eine eingehende Betrachtung möglicher Korrelationen sollte vorgenommen werden, wenn Probleme mit der Plausibilität der Ergebnisse auftreten.

Ein wesentliches Element der Berechnung von Messunsicherheiten nach GUM war die Annahme eines Wahrscheinlichkeitsmusters für die Messwerte. In vielen Fällen wurde auf der Grundlage der vorliegenden Erfahrungen von einer Normalverteilung ausgegangen. Ergänzend sollten exemplarisch ein grobes und ein feines Gewebe näher untersucht werden, um die Annahme wenigstens punktuell zu verifizieren.

### 5.2.2 Pfad B

Aufgrund der sehr umfangreichen messtechnischen Erfahrungen der Hersteller mit dem Produkt Stahldrahtgewebe, deren vielfältigen Untersuchungen zur Verbesserung der Messung von Maschenweite und Drahtdurchmesser, dem direkten Bezug der Resultate dieses Projektes auf internationale Produktnormen und der Entwicklungen von Messgeräten musste angenommen werden, dass die Plausibilitätsprüfungen an den Ergebnissen der Berechnung der erweiterten Messunsicherheit sehr komplex sein würden. Das wurde vor allem auch für die gesamte große Spanne der Produktvarietäten so gesehen. Vor dem Hintergrund dieser Situation wurde ein Ringversuch konzipiert, mit dessen Daten die Plausibilität der Berechnungen untermauert werden sollte.

Wegen der kleinen Zahl an spezialisierten Stellen beinhaltete das Konzept auch eine Einbeziehung von generell messtechnisch versierten Stellen (Laboratorien), die allerdings keine oder kaum praktische Erfahrung mit der Vermessung von Drahtgeweben haben. Dabei wurde davon ausgegangen, dass das Risiko starker Streuungen in den Ergebnissen durch deren messtechnische Erfahrung begrenzt ist. Auf eine getrennte Betrachtung der Ergebnisse sollte dennoch nicht verzichtet werden; denn letztlich handelte es sich für die Laboratorien methodisch um die Erprobung eines Prüfverfahrens bzw. im weiteren Sinne um eine Überprüfung ihrer Arbeitsweise, während es sich für die Hersteller mehr um eine Feststellung der Genauigkeit bzw. um einen Vergleich von Prüfverfahren handelte<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Das FGSV-Merkblatt unterscheidet vier verschiedene Ringversuchstypen: a) Erprobung von Prüfverfahren, b) Feststellung der Genauigkeit von Prüfverfahren, c) Überprüfung der Arbeitsweise von Laboratorien und d) Vergleich von Prüfverfahren.

Methodisch einheitlich hinsichtlich der Zielrichtung war das angewandte Konzept in dieser Hinsicht nicht, und es konnte es auch nicht sein. Mit dem Ringversuch sollte ein realistischer Bereich praktisch vorhandener messtechnischer Realitäten abgebildet werden. Zum Verständnis ist es wichtig, dass in der Produktion von Drahtgeweben und vor allem bei Messungen im Kundenkontakt oft angelehrte Kräfte ohne messtechnische Grundlagenausbildung beschäftigt werden. Auf der einen Seite stand die geringe Zahl an Stellen mit sehr umfangreicher Produkterfahrung, deren Ergebnisse besonders eng beieinander liegen sollten, auf der anderen Seite eine Reihe von Laboratorien, von denen eine optimale Messung ohne detaillierte Produktkenntnisse erwartet werden konnte. Je stärker beide Ergebnisspannweiten voneinander differieren würden, desto größere Bedeutung würde der spezifischen Messerfahrung zukommen.

### **5.3 Kombination der Ergebnisse**

Die berechneten Messunsicherheiten nach GUM sollten den Ergebnissen aus dem Ringversuch gegenüber gestellt. Für einen solchen Vergleich gab es kein Verfahren, auf das beispielhaft Bezug genommen werden konnte, schon gar nicht ein abgestimmtes Procedere. Diese Methodik war so neu, dass mit der internationalen Verständigung erst im Jahr 2004 begonnen wurde. Für dieses Projekt wurde folgendes Verfahren angewendet:

Bei der Berechnung der erweiterten Messunsicherheit  $U$  sollen alle Einflussgrößen betrachtet werden, die für die Durchführung der Messung und für die Berechnung der Resultate relevant sein können. Die beiden statistischen Grundgesamtheiten müssten in diesem Fall, wenn er denn zuträfe, vergleichbar sein. Konkret würde das bedeuten, dass die im Ringversuch ermittelten Präzisionsdaten innerhalb der Bereiche der berechneten erweiterten Messunsicherheit liegen müssten. Wäre das der Fall, könnte das berechnete Ergebnis als empirisch bestätigt angesehen werden. Wenn das nicht der Fall wäre, müsste geprüft werden, welche zusätzlichen, bisher nicht berücksichtigten Faktoren die Messunsicherheit beeinflussen. Ggf. sollte eine Methodik für diesen Fall entwickelt werden.

### **5.4 Messmethodik bei Geweben mit Maschenweiten $w \geq 2$ mm**

Für die manuellen Messungen wurde aufgrund seiner Verbreitung in der praktischen Messung bei den Untersuchungen das Messinstrument Messschieber und der Umgang mit ihm besonders intensiv untersucht. Das beinhaltete auch Betrachtungen zu den die Messungen durchführenden Personen und die Messvorschrift. Die Wahl der Messaufgaben wurde so vorgenommen, dass die Faktoren Sorgfalt und Aufmerksamkeit sowie Umgang mit dem Messschieber zahlenmäßig ermittelt werden konnten.

Daneben wurden auch Messungen mit Maßbändern über mehrere Maschen („Summenverfahren“) eingesetzt, um die Ergebnisse mit denen aus der Erfassung der Einzelmaschen zu vergleichen.

### 5.5 Messmethodik bei Gewebe mit Maschenweiten $w < 2\text{mm}$

Bei den optischen Verfahren handelte es sich um PC-gesteuerte Geräte, deren Software für die Ausmessung von Geweben ausgelegt waren. Sie bestanden entweder aus einem dreidimensional verfahrbaren Proben­tisch, auf dem das zu messende Gewebe auflag. Oder die Optik wurde mit einer Kamera auf das Messobjekt gelegt.

Die Erfassung des Maschenbildes erfolgte in allen Fällen durch Digitalkameras. Automatische Auswerteverfahren wählten die erfassten Maschenbilder aus. Ein zentrales Element für die Vorbereitung der Messung waren Festlegungen zur Helligkeitsverteilung. Außerdem gaben die Produk­tnormen vor, dass die Maschenweite in die jeweilige Mitte zu legen ist und dass dort auch die Draht­dickenmessung ansetzen soll. Üblicherweise wurden die Wendepunkte der Helligkeitsverteilung auf der Linie als Kanten mit Hilfe der Nulldurchgänge der zweiten Ableitung ermittelt. Die Diskriminierung wurde jeweils durch Subpixelberechnung erhöht.

Die Zahl möglicher Einflussfaktoren musste bei den optischen Messverfahren als größer angenommen werden. Schon die Übersichtsmessungen an verschiedenen Gewebemustern zeigten entsprechende Spannweiten ohne konkreten Hinweis auf dominante Komponenten. Untersucht wurden alle erkennbaren Einflussgrößen, die sich aus der Projektion des dreidimensionalen Musters auf ein zweidimensionales Bild ergaben. Das waren die Auflösung der Kamera, die Kantendetektion, die Art und Stärke der Beleuchtung, Fremdlicht, die Schärfentiefe und der Kontrast. Diese vorab identifizierten möglichen Einflussgrößen wurden im Rahmen des Projektes quantifiziert. Auch wurden Wiederholungs- und Vergleichsmessungen vorgesehen, um ggf. nicht erkannte Einflüsse zu erkennen, um sie dann zu quantifizieren. Weiter wurden gerätespezifische Unterschiede in Augenschein genommen.

### 5.6 Messtechnisches Modell

Der GUM gibt für die Berechnung der kombinierten Messunsicherheit im Fall von korrelierten Einflussgrößen folgende allgemeine Formel an:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \cdot u(x_i, x_j)$$

Bei der Berechnung der Messunsicherheit konnten die Vorgaben des GUM hinsichtlich systematischer Effekte, wie sie in 3.2.3 und 3.2.4 beschreiben sind, nicht

vollständig in dieser Form berücksichtigt werden. Im Forschungsprojekt wurden die Messunsicherheiten weitgehend an methodisch starren Systemen untersucht, d.h. es war in den meisten Fällen nicht bekannt, ob bzw. in welchem Umfang eine Korrektur eines systematischen Effektes möglich war. Der GUM legt dazu fest: *“It is assumed that the result of a measurement has been corrected for all recognized significant systematic effects and that every effort has been made to identify such effects.”* Diese Voraussetzung konnte nur unter der Annahme erfüllt werden, dass die systematischen Effekte korrigiert werden können. Dazu mussten jeweils auch Schätzungen über die Unsicherheit solcher Maßnahmen einbezogen werden.

Die Modelle für die Angabe von Maschenweite  $w$  und Drahtdicke  $d$  von Einzelmaschen bzw. Einzeldrähten konnten einfach gewählt werden, da es sich bei beiden Messungen um Feststellungen von Längen handelte. Die Auswirkungen der Einflussgrößen auf das Ergebnis wurden für die optischen Methoden durch folgende mathematische Modelle beschrieben:

$$w_{\text{relativ}} = [w_{\text{gem}} + w_{\text{korr}}] \pm U_w$$

mit

$$w_{\text{korr}} = w_N \cdot \sum_{j=1}^n \varphi_j \cdot a_j$$

und

$$U_w = k \cdot w_N \cdot \left( \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{1}{b_i} \cdot \left( \frac{\partial f}{\partial w_i} \right)^2 \cdot a_i^2 + 2 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{l=i+1}^m \frac{\partial f}{\partial w_i} \cdot \frac{\partial f}{\partial w_l} \cdot a_i \cdot a_l} \right)$$

Die Bezeichnung  $w_{\text{relativ}}$  wurde gewählt, weil im Rahmen des Forschungsvorhabens keine ausreichende Rückführung auf ein Normal vorgesehen war. Die jeweils ermittelte Maschenweite  $w$  stellte damit nur eine relative Angabe bezogen auf die Berechnungen der Messunsicherheit dar.

Mit der Annahme, dass die Sensitivitätskoeffizienten in allen betrachteten Fällen  $\frac{\partial f}{\partial w} = 1$  sind, weil keine Kenntnisse über deren Größe vorliegen, vereinfacht sich die Formel. Unter Berücksichtigung der Ausgangsgleich ergibt sich damit folgendes mathematische Modell für die Maschenweite:

$$w_{relativ} = \left( w_{gem} + w_N \cdot \sum_j^n \varphi_j \cdot a_j \right) \pm \left( k \cdot \left( w_N \cdot \left( \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{a_i^2}{b_i}} + 2 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{l=i+1}^m \frac{a_i}{\sqrt{b_i}} \cdot \frac{a_l}{\sqrt{b_l}} \right) \right) \right)$$

Im mathematischen Modell werden die Komponenten zufällige und systematische Einflussgrößen getrennt. Die Schätzung von  $U_w$  entspricht dennoch den Vorgaben des GUM. Die Komponente  $w_{korr}$  quantifiziert eine Abweichung von einem fiktiven ‚richtigen‘ Wert, die messtechnisch oder rechnerisch bei der Ermittlung der Maschenweite  $w$  in Abhängigkeit vom verwendeten Messverfahren berücksichtigt werden muss. Eine Besonderheit stellt der Richtungsvektor  $\varphi$  dar. Mit ihm wird berücksichtigt, dass der Einfluss in eine definierte Richtung zeigt, die bei mehreren Einflüssen nicht gleich sein muss. Diese Ergänzung wurde eingeführt, weil bereits zu Beginn der Untersuchungen ein deutlicher Einfluss von systematischen Größen zu erkennen war. Eine gemeinsame Berücksichtigung von zufälligen und systematischen Komponenten hätte den Vergleich einzelner Geräte miteinander erschwert und das Konzept einer realistischen Schätzung gegen eine pessimistische eingetauscht.

Im Unterschied zu den manuellen Messungen musste für die optischen Verfahren berücksichtigt werden, dass die erweiterte Messunsicherheit  $U_w$  von Maschenweite  $w$  und Drahtdicke  $d$  abhängig ist:

$$U = f(w, d)$$

Bei den manuellen Verfahren wurde wegen des fehlenden Einflusses von Vergrößerungen kein Bezug auf die Maschenweite vorgenommen. Eine signifikante Korrelation der Einflussgrößen wurde für die Fertigungsmesstechnik von PFEIFER (2001) als meistens vernachlässigbar bezeichnet, bei der Berechnung in diesem Projekt jedoch weiterhin berücksichtigt. Damit ergab sich für diese Messungen folgende Formel:

$$w = \left( w_{gem} + \sum_j^n \varphi_j \cdot a_j \right) \pm k \cdot \left( \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{a_i^2}{b_i}} + 2 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{l=i+1}^m \frac{a_i}{\sqrt{b_i}} \cdot \frac{a_l}{\sqrt{b_l}} \right)$$

Als Überdeckungsfaktor wurde  $k = 1,96$  gewählt, was einer Wahrscheinlichkeit von 95 % entspricht. Das war zwar nicht konsistent mit DIN ISO 3310-1, in der mit  $\sigma = 3$  gearbeitet wird, erschien aber vor dem Hintergrund sinnvoll, dass ein Vergleich mit Präzisionsdaten nach DIN ISO 5725 vorgenommen wurde.

## **5.7 Rückführung der Messergebnisse**

Neben der Präzision der Messverfahren, die nach diesem Konzept ermittelt wurde, entschied der Arbeitskreis während des laufenden Projektes auch die Berücksichtigung der Richtigkeit, um schließlich eine Aussage zur Genauigkeit der Messmethoden zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurde eine aktuelle Kalibrierung des im Projekt hauptsächlich verwendeten Messschiebers der Forschungsstelle durchgeführt. Außerdem gelang es die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) zur Beteiligung am Projekt zu bewegen. Dort wurden an zwei Mustern aus feinen Geweben hochpräzise Messungen durchgeführt und dokumentiert. Es war möglich diese Muster als Referenznormale in das Projekt einzuführen, so dass Aussagen zur Richtigkeit der Ergebnisse einzelner Messverfahren möglich waren.

## **6 Welche Messgeräte wurden in die Untersuchungen einbezogen?**

Die messtechnische Überprüfung von Drahtgeweben und Gittern in der Produktion und produktionsbegleitend war ein wichtiger Aspekt des Forschungsvorhabens. Daher wurden auch Messgeräte in die Untersuchungen einbezogen, die nicht oder nur bedingt für die Kennzeichnung von Stahldrahtgeweben auf dem Markt in Frage kommen. Konkret heißt das, dass neben Messschiebern auch Bandmaße, Fadenzähler, Messlupen usw. hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für Messungen an Geweben betrachtet wurden. Wegen eingehender Untersuchungen mit Messschiebern wurden Mikrometerschrauben nicht weiter betrachtet. Das gilt auch für optische Messgeräte mit Vergrößerungsfunktionen, weil sie der Forschungsstelle nicht zur Verfügung standen.

### **6.1 Manuelle und visuelle Geräte**

#### **6.1.1 Messschieber**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zwei handelsübliche Messschieber verwendet (Bilder 3a/b). Das Gerät der Fa. Mitotuyo (links) hatte digitale Anzeige (Skalenteilung) mit einer Ablesegenauigkeit von 0,01 mm. Der Messschieber verfügte über eine Schnittstelle für den Anschluss an eine Auswerteeinheit. Das analoge Gerät eines unbekanntem Herstellers (Foto links) wies eine Ablesegenauigkeit von 0,05 mm auf. Der Messbereich beider Geräte lag zwischen 0 ... 150 mm. Beide Instrumente erfüllten nachweislich die Anforderungen der DIN 862 (Messschieber) nachweislich (Kalibrierprüfprotokoll s. Anhang) und waren danach uneingeschränkt einsatzfähig. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse der Forschungsstelle beziehen sich auf diese Geräte.

#### **6.1.2 Messdorne**

Ein sehr spezielles Gerät insbesondere für dreieckige und so genannte Rundlochmaschen sind Messdorne (Bilder 4a/b). Da allerdings die Ergebnisse mit keinem der anderen Messwerkzeuge überprüft werden konnten und es zudem kaum käuflich zu erwerben ist und damit den Kriterien dieses Projektes nicht genügt, wurde es nicht weiter in die Untersuchungen einbezogen. Für Produkte mit der spezifischen Dreiecksform der Maschen erwies sich der Messdorn allerdings als praktikabel. Eine Bestimmung der Drahtdicke ist mit Messdornen nicht möglich.

#### **6.1.3 Tyler-Messer**

Das so genannte Tyler-Messer (Bild 5) ist ein handliches Gerät für die Bestimmung von Maschenweite und Drahtdurchmesser. Ebenso wie der Messdorn ist es kaum am Markt erhältlich und wurde daher nicht näher untersucht. Für eine erste Überprüfung von Produkten erwies sich das Gerät allerdings als praktikabel.

## 6.2 Visuelle Messgeräte

Als visuelle Messgeräte wurde in diesem Bericht auf manuelle und einen automatischen Fadenzähler sowie auf die Messlupe näher eingegangen. Daneben spielt für feine Gewebe das Lunometer in der betrieblichen Praxis eine Rolle. Lunometer sind im eigentlichen Sinn aber keine Messgeräte. Sie dienen mit ihrer Nutzung des Moiréprinzips (HARSCHEIDT 1976) lediglich zur Identifikation von Geweben. Die Maschenweite kann mit Fadenzählern nur mit Kenntnis des Drahtdurchmessers errechnet werden (Bild 6).

### 6.2.1 Fadenzählgeräte

#### 6.2.1.1 Analoge Fadenzähler

Fadenzählgeräte gehören zu den wichtigen Messinstrumenten für die Produktion. Neben der oben beschriebenen automatischen Version sind sie vor allem für visuelle Prüfungen in verschiedenen Ausführungen im Einsatz. Für Messungen im Rahmen des Forschungsvorhabens hatte die Fa. M-Service & Geräte zwei Fadenzählgeräte zur Verfügung gestellt, die für vergleichende Messungen eingesetzt wurden. Im Rahmen der Untersuchungen wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- Ein wichtiger Faktor war die Konzentration des Zählenden. Wer sich bei der ersten Zählung verzählte und dann nur auf Veränderungen bei der Ablesung des Maßstabs achtete, erhielt trotz mehrfachen ‚Messens‘ ein falsches Ergebnis. Die Erfahrungen zeigten, dass es selbst bei erfahrenen Messenden vorkommen kann, dass trotz mehrfachen Nachzählens immer wieder ein falsches Ergebnis produziert wurde. Das dürfte vor allem zutreffen, wenn die messende Person meint, das Ergebnis schon zu kennen. So gesehen ist hier mit einer subjektiven Komponente zu rechnen, die sich im Einzelfall stark auswirken kann.
- Wenn das Resultat der Fadenzählung in eine Maschenweite umgerechnet werden soll, musste die Faden(Draht-)Stärke ermittelt werden. Teilweise waren deutliche Unterschiede hinsichtlich des Drahtdurchmessers bei Anwendung verschiedener Verfahren aufgetreten. Das hatte direkten Einfluss auf das Resultat der Maschenweite, wenn die Methode der Fadenzählung verwendet wurde.

#### 6.2.1.2 Automatisches Fadenzähl-Gerät (Pick Counter)

Im Projekt wurde ein automatisches mobiles Fadenzähl-Gerät der Fa. Textest Instruments (FX 3250 Pick Counter) näher untersucht, um die Ergebnisse mit denen aus den Einzelmessungen zu vergleichen (Bild 7). Damit wurde eine Aussage zur Verlässlichkeit für ein Instrument beabsichtigt, das direkt am Webstuhl eingesetzt werden kann. Das Messwerkzeug war für die Bestimmung der Fadendicke von

Textil- und Metallgeweben sowie der Maschendichte konzipiert. Die Messung erfolgte durch Abstandsmessung. Das Instrument bildete eine schmale Linie des Prüfmusters auf einem linearen CCD-Sensor ab und suchte im Signal nach periodisch wiederkehrenden Abständen, die von regelmäßigen Strukturen des Prüfmusters stammen. Da das Instrument sehr viele verschiedene Abstände erkennen konnte, aus denen der ‚richtige‘ Abstand ausgesucht werden musste, war vor der Messung das ungefähr zu erwartende Ergebnis als Messbereich einzugeben. Das Instrument bestimmte dann die dominierenden Abstände in diesem Messbereich und rechnete sie in eine mittlere *Fadendichte* um. Das Gerät war kalibrierbar. Eine Kalibrierkarte wurde mitgeliefert. Der Hersteller gab folgende Daten an:

Messbereich:	8 bis 300 Fäden/cm (20 bis 750 Fäden/inch)
Messgenauigkeit:	8 bis 300 Fäden/cm: $\leq \pm 1 \%$ des angezeigten Messergebnisses < 8 Fäden/cm (20 Fäden/inch): $\leq \pm 0,2/cm$ (0,5/inch)
Prüflänge:	29 mm

Die Bedienung war in einem Handbuch ausführlich beschrieben. Es wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die vorherige Schätzung des richtigen Messbereiches von besonderer Bedeutung ist, weil sonst falsche Ergebnisse ermittelt werden. Bei der Verwendung wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- Verunreinigungen im Gewebe beeinflussten das Messergebnis erheblich.
- Eine nicht zu Kette oder Schuss parallele Messpositionierung (nachgewiesen durch leichtes Verdrehen des Gerätes auf derselben Stelle) führte zu falschen Ergebnissen.
- Bei überlappenden Messbereichen wurden für Gewebe, die in den Überlappungsbereich passten, vergleichbare Ergebnisse ermittelt. Es hatte sich aber gezeigt, dass das Gerät in diesem Fall in einem der Messbereiche leichter als zweifelhaft gekennzeichnete oder gar keine Messwerte ausgab.
- Die Funktion ‚20 ... 750‘ mesh für Orientierungsmessungen lieferte in einer Reihe von Fällen nicht verlässliche Ergebnisse. Bei Geweben mit 400 bzw. 230 bzw. 84 mesh zeigte das Gerät reproduzierbar 200 bzw. 115 bzw. 42 mesh an.

Geordnete Unterlagen zur Validierung des Pick Counters hat der Hersteller nicht. Nach telefonischer Auskunft wurden bei der Entwicklung des Gerätes die Messergebnisse mit denen von Fadenzählern verglichen. Bei Abweichungen wurde die Software angepasst. Methodisch gesehen handelt es sich beim TexTest-Gerät um einen automatisierten Fadenzähler, der nach Angaben des Herstellers messtechnisch auf die Ergebnisse der visuellen Fadenzählung rückgeführt wird.

## 6.2.2 Messlupen

Einfache und schnell einsetzbare Instrumente für feinere Gewebe sind Messlupen. Sie erlauben eine bequeme Ablesung, eine interpolierende Schätzung auf Zwischenwerte ist zusätzlich möglich. Bei den Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes wurde eine Lupe der Fa. Haff mit achtfacher Vergrößerung und einer Skala von 10 mm (Skalenteilung: 0,1 mm) verwendet, die in dieser und ähnlicher Bauform am Markt angeboten wird. Die größte Maschenweite bzw. der dickste vermessbare Draht waren 10 mm, weil damit die maximale Länge des Maßstabs erreicht war. Die kleinste Maschenweite/Drahtdicke lag bei etwa 1,0 mm, weil darunter praktisch keine Differenzierung in Bereiche von  $< 0,05$  mm mehr sicher möglich war. Dabei wurden folgende Erfahrungen gemacht, die grundsätzlich für Messungen an Stahldrahtgeweben mit Messlupen gelten:

Die Messung von Drahtdicken war einfach möglich, wenn an Stellen gemessen wurde, an denen Maßstab und Draht nahe beieinander lagen.

Die Feststellung der Maschenweite war vor allem bei gröberen Geweben schwierig, da entweder nur der Maßstab oder nur das Gewebe optimal fokussiert werden konnten. Die ausgeprägte Dreidimensionalität der Produkte bedingte, dass der Abstand zwischen Maßstab und Draht gerade in der Messebene am größten war. Hinzu kam, dass die Mitte der Masche schwer zu orten war, weil der Maßstab die untere Seite der Masche verdeckte. Die Messung wurde wegen dieser Schwierigkeiten und wegen der Positionierung des Gerätes auf dem Gewebe subjektiver. Diese Phänomene sind bei geringerer Drahtdicke weniger gravierend.

- Der Einfall des Lichtes sollte möglichst gleichmäßig sein, weil sonst die Kanten schwer zu erkennen sind. Die bei höherer Lichtstärke auftretenden Reflexionen auf den Drähten behinderten die Messung.
- Das Messergebnis hing vom Blickwinkel ab (Verschiebung der Parallaxe): Bei leichter Veränderungen der Augenposition änderte sich damit auch scheinbar der Messwert.

Insgesamt war der Bereich von Geweben, in dem dieses Messmittel eingesetzt werden konnte, eher gering, weil entweder die Maschenweite zu groß oder die Drahtdicke zu gering war. Es ist daher nicht überraschend, dass Geräte in dieser einfachen Form im Gegensatz zu Instrumenten mit höherer Auflösung von den Gewebeerstellern kaum benutzt wurden. Ergebnisse von Untersuchungen mit Messlupen wurden nicht weiter im Forschungsprojekt berücksichtigt.

## 6.3 Optische Messgeräte

Bei den untersuchten optischen Messverfahren handelte es sich ganz überwiegend um spezielle softwaregestützte Messmethoden, bei denen optisch aufbereitete

digitale Bilder ausgewertet wurden. Wenn analoge Geräte der Bildauswertung verwendet wurden (ein Beispiel zeigt das folgende Foto), handelte es sich meist um Untersuchungen für innerbetriebliche Zwecke. Diese Verfahren wurden im Rahmen des Forschungsprojektes über den Ringversuch berücksichtigt. Die meisten der teilnehmenden Laboratorien verfügten nicht über softwaregestützte Bildverarbeitungsverfahren für Gewebe. Dadurch wurde ein Vergleich beider Methoden möglich.

In allen Fällen der digitalen Bildverarbeitung wurden – trotz unterschiedlicher Ausgangspunkte für Problemlösungen – Flächenkameras als zentrale Instrumente zur Bildverarbeitung verwendet. Das erschien zunächst überraschend, weil die Herstellung von Geweben eher die Verwendung von Zeilenkameras nahe legt. Sie haben in der Textilindustrie für die fertigungsbegleitende Prüfung große Bedeutung erlangt (z.B. LEUENBERGER 1996; MEIER et al. 1999; SCHMALFUß et al. 1999). Neben den Einsatzmöglichkeiten direkt am Webstuhl – messtechnische Überwachung der laufenden Produktion – haben Zeilenkamera grundsätzlich den allgemeinen Vorteil, dass durch Micro-Scanning-Verfahren extrem hochauflösende Bilder erzeugt werden können, die denen der Flächenkameras überlegen sind. Es ist daher nur aus Kostengründen plausibel, dass keine Zeilenkameras bei der Überprüfung von Produkten eingesetzt werden: Die hochpräzise Bewegung der Gewebe unter einer Zeilenkamera ist sehr aufwändig. Das Messsystem, das bei JUNGE 1979 beschrieben wird, ließe sich betriebswirtschaftlich kaum realisieren.

Inwieweit Hoch- oder Tiefpassfilter für die Erzeugung der Binärbilder, bei denen eine Kantendetektion vorgenommen werden sollte, eingesetzt wurden, war im Detail nicht immer bekannt. Das Eigenbaugerät wurde ohne ein solches Filter betrieben, nachdem Voruntersuchungen ergeben hatten, dass damit keine signifikante Verbesserung der Messung erreicht werden konnte und die Rechenzeit nicht verlängert werden sollte. Inwieweit die Bildbearbeitung z.B. mit Medianfiltern optimiert werden könnte, wurde nicht untersucht.

Im folgenden werden wesentliche Daten von untersuchten Systemen genannt. Es können zwischenzeitlich von den jeweiligen Herstellern signifikante Änderungen bei den aktuellen Versionen von Soft- und Hardware vorgenommen worden sein, die ggf. nur in dieser Form am Markt angeboten werden. Detailbeschreibungen der Hersteller wurden daher, soweit vorhanden, nicht übernommen. Die Reihenfolge der Nennung ist willkürlich und beinhaltet in keiner Form ein Ranking irgendeiner Art.

### **6.3.1 MeshCheck**

Das System MeshCheck bestand aus einer Software für die automatische Vermessung von Sieben und Gitterstrukturen sowie den zugehörigen optischen Hardwarekomponenten. Es war ausgelegt für die Ermittlung folgender Parameter vor allem auf der Grundlage von DIN ISO 9044 und DIN ISO 3310-1:

- Dicke und Abstand der Kett- und Schussfäden
- Offene Flächen und defekte Gitteröffnungen
- Winkellage der Kett- und Schussfäden

Die Fa. M-Service & Geräte, Alfter, stellte im Rahmen des Forschungsprojektes Software und Hardware-Komponenten eines Messsystem zur optischen Messung von Maschenweite und Drahtstärke über eine Farbkamera mit koaxialer Beleuchtung zur Verfügung und gab eine Einweisung in die Bedienung des Systems. Ein Bedienungshandbuch lag nicht vor, aber über eine Hilfefunktion waren zahlreiche zusätzliche Informationen zugänglich. Mit dem System waren Messungen im Auflicht- und im Durchlichtmodus für Gewebe mit  $160 \mu\text{m} < w < 2.000 \mu\text{m}$  möglich. Für die Durchlichtmessungen verwendete die Forschungsstelle eine Leuchtplatte der Fa. Kaiser, Fabrikat Slimlite, mit einer Leuchtfläche von  $(12,7 \times 17,8) \text{ cm}^2$ . Diese Streulichtquelle erzeugt nach Angaben des Herstellers Tageslicht mit ca.  $5.000 \text{ K} (\pm 5 \%)$ .

Für vergleichende Messungen wurde überwiegend Durchlicht gewählt, weil sich bei Auflicht die Reflexionen auf den Stahldrähten als störend erwiesen. Die vorgegebenen Standardeinstellungen hinsichtlich ‚Sättigung‘ und ‚Färbung‘ wurden beibehalten; Änderungen durch den Bediener waren aber möglich. Kontrast- und Schärfereinstellung mussten am Monitor beurteilt werden. Nach Herstellerangaben sollte bei der Beleuchtung so wenig Licht wie möglich verwendet werden. Bei Änderungen der Helligkeit war das ‚Einschnüren‘ der Drähte mit stärker werdendem Licht auf dem Monitor deutlich zu erkennen. Ansonsten hatten die deutlich während der Messung erkennbaren Reflexionen auf den Drähten keinen sichtbaren Einfluss auf das Messergebnis.

Folgende Beobachtungen waren kennzeichnend für das System wie teilweise für andere Geräte auch:

Vor Beginn der Messungen war eine Kalibrierung vorgesehen. Dabei wurde das fotografierte Bild vorher gespeichert, um störende Einflüsse während der Messung auszuschließen.

Die Zahl der Messwerte wurde als Kriterium für die Beendigung der Messung herangezogen.

Das System erlaubte die Auswertung einzelner ausgewählter Maschen.

Prüfprotokolle enthielten zusätzlich Angaben zu den Toleranzen der jeweiligen Produktnormen, zu den Standardabweichungen, zu der Zahl der ausgewerteten Maschen, zu den minimalen und maximalen gemessenen Werten sowie zur

Fadenzahl. Im Protokoll war ein Foto der Aufnahme enthalten. Es wurde eine Bewertung hinsichtlich der Einhaltung der zulässigen Werte vorgenommen.

### **6.3.2 G/TIAG-A**

Das System G/TIAG-A (Automatisches Inspektions- und Analysegerät für Siebe und Filtergewebe) der Fa. Graphikon, Berlin, diente nach Angaben des Herstellers der Vermessung von Analysesieben mit einem Durchmesser von 200 mm gemäß DIN ISO 3310-1. Die Hardware-Kennzeichen waren folgende:

- Zoomfähiges Mikroskop (mit Vorsatzlinse)
- CCD-Matrixkamera (1/2")
- Getönte Verschlusscheibe
- Verwendbar für neue und gebrauchte Siebe
- Anpassung des Abbildungsmaßstabes an das zu vermessende Sieb
- Paralleles Durchlicht
- konstante Helligkeit durch Regelung der Kaltlichtquelle
- nur grobe Ausrichtung des Siebes erforderlich

Das Instrument wurde für die Durchführung des Forschungsvorhaben nach einer Demonstrationsvorführung als Version 3.0 (12.2002) einschließlich eines Handbuches erworben. Ziel der Einbindung in das Projekt war, dass ein Instrument für die Erzeugung von Basisdaten für Vergleiche zur Verfügung stand und Erfahrungen mit einem vollautomatischen Gerät gesammelt werden konnten, die mit dem manuellen Eigenbaugerät nicht möglich waren. Die Einweisung erfolgte beim Hersteller vor Ort vor der Abholung des Gerätes. Das automatische Gerät stellte mit der installierten Software folgende Größen fest:

- Mittelwerte der Teilung durch Messung der Mittelpunkte der Maschen in horizontaler und vertikaler Richtung
- Winkellage der Drähte
- Zahl der Maschen pro Zoll (mesh) aus dem Mittelwert der Teilung
- Mittelwerte aus allen Einzelmesswerten des lichten Abstandes zwischen zwei Drähten einschließlich Subpixelberechnung
- Standardabweichung

Mit dem Gerät wurden sehr umfangreiche Messreihen durchlaufen, die die wesentliche Grundlage für Vergleiche zwischen den einzelnen Messwerkzeugen bildeten. Dabei wurden folgende Beobachtungen gemacht, die teilweise sehr bedeutsam für die Identifizierung von Einflussgrößen für die Messunsicherheit waren:

- Die Abdunklung des Messraumes mit einer getönten Scheibe reichte bei direkter Sonneneinstrahlung in den Messraum (nicht auf das Messgerät) nicht aus. Während der Messung wurden Reflektionen auf den Drähten beobachtet. In vielen Fällen wurde in solchen Situationen die Abbruchnachricht gemeldet. Für die weiteren Messungen wurde die Apparatur so weit abgedunkelt, dass keine Reflexionen mehr auf den Drähten zu erkennen waren.
- Das Programm sah verschiedene Messroutinen für die Ansteuerung des Messobjektes vor. Keine dieser Routinen gab jeder Masche die gleiche Wahrscheinlichkeit ausgemessen zu werden.
- Die automatische Einstellung der Beleuchtung erfolgte offensichtlich unterschiedlich. Sowohl bei sehr schwacher Ausleuchtung als auch bei subjektiv eingeschätzter Überbeleuchtung wurden die Messungen ausgeführt.
- Die Suche nach der optimalen Scharfeinstellung durch den Autofokus dauerte deutlich länger, wenn veränderte Siebrahmenhöhen auftraten. Die Apparatur eignete sich für gespannte Gewebe, die ziemlich planparallel unter die Optik gelegt wurden.
- Bei einer Maschenweite von  $w = 180 \mu\text{m}$  konnte die Messzeit bis zu fast einer Stunde betragen.
- Es gab Situationen, in denen reproduzierbar ein Draht bei der Auswertung ‚übersehen‘ wurde. Auf dem Monitor konnte keine solche Masche erkannt werden. Dabei war auffallend, dass eine Maschenweite erkannt wurde, die etwa die Summe aus Maschenweite und Drahtstärke darstellte, z.B.  $w = 1134 \mu\text{m}$ ,  $d = 445 \mu\text{m}$ , Meldung einer ‚zu großen Masche‘: von  $1569 \mu\text{m}$ .
- Das Programm setzte zu einzelnen Zeitpunkten Messungen fort, ohne dass das Gewebe verfahren wurde.
- Als Genauigkeit gab der Gerätehersteller  $1 \mu\text{m}$  an. Die Dokumentation der Ergebnisse im Prüfbericht erfolgte auf  $0,001 \mu\text{m}$ .

*Hinweis: Nach Angaben der Fa. Graphikon wurde die Version 3.0, die im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht wurde, maßgeblich verändert. Danach wurden zahlreiche Verbesserungen vorgenommen, die sich teilweise bei den Untersuchungen als problematisch erwiesen hatten.*

### 6.3.3 Micromesh

Das Messsystem Micromesh der Fa. JENOPTIK LOS GmbH ist für die Prüfung geometrischer Parameter an technischen Geweben mit glatter Bindung (Gitterstruktur) in Kett- und Schussrichtung konzipiert (Bild 8). Es prüft mit Mitteln der Bildverarbeitung die Parameter

- Maschenzahl
- Öffnungsweite
- Durchmesser
- Siebfläche

Der Messgerätehersteller stellte der Forschungsstelle ein komplettes Hard- und Softwareprogramm einschließlich drei Messköpfen mit den Vergrößerungen 1 : 1; 4,5 : 1 und 10 : 1 und eine Kalibrierschablone einschließlich eines umfangreichen elektronischen Handbuchs für einige Wochen zur Verfügung. Die Einweisung in die Bedienung erfolgte in der Forschungsstelle.

Die Messung erfolgte unter Verwendung von Auflicht, das von einem Spiegel unter dem Gewebe in die Optik reflektiert wurde. Die Lichtquelle war in den Messkopf integriert. Es handelte sich somit um ein kombiniertes Auf-/Durchlicht-System. Der Spiegel war nach Aussagen des Geräteherstellers notwendig, um ein auswertbares Bild zu erzeugen. Hinsichtlich der Helligkeit des Bildes wurde angegeben, dass sie manuell so eingestellt werden sollte, dass gerade keine Überbelichtung einzelner Maschen auftrat. Auf dem Bildschirm wurden bei der Messung die Extremwerte (Minima und Maxima von Draht und Maschen) farbig dargestellt. Nach Angaben des Geräteherstellers wurden die Messköpfe vor der Auslieferung kalibriert. Folgende Erfahrungen wurden mit dem Gerät im Rahmen der Untersuchungen gemacht:

Die Ausleuchtung des Messfeldes erschien auf dem Monitor bei kleineren Vergrößerungen nicht gleichmäßig. Dieses Phänomen war auch schon beim Gewebehersteller beobachtet worden.

- Bei stärkerem Licht erschienen die helleren Maschen schnell überbeleuchtet. Vor allem waren bei Kombination von Auf- und Durchlicht Reflexionen an den Drähten zu erkennen.

### 6.3.4 Eigenbaugerät

Das Eigenbaugerät (Bild 9) wurde bereits in der Literatur eingehend beschrieben (ABDUL-MAULA 2001). Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde die Software deutlich ergänzt, indem vor allem eine Subpixelberechnung und eine Messung des

Gewebewinkels integriert wurden. Auf der Hardwareseite wurde eine höher auflösende Kamera und zwei zusätzliche telezentrische Makroobjektive (1:3,3 und 1:7,1) hinzugefügt. Nach Herstellerangaben wiesen die Optiken sehr geringe Verzerrungen und Verzeichnungen auf (Verzeichnung < 0,1 %). Für die Beleuchtung des Messobjektes diente weiterhin die bisherige Streulichtquelle. Außerdem wurde weiterhin kein zusätzliches Filter für die Erzeugung von Binärbildern eingesetzt.

## 7 Was waren die Ergebnisse?

### 7.1 Vorbemerkungen zur Auswertung

#### 7.1.1 Methodik

In der Auswertung wurde versucht alle relevanten Einflussgrößen zu identifizieren und sie als partielle Messunsicherheiten zu quantifizieren. Damit wurde ein Verfahren angewandt, das bereits anhand eines prüftechnischen Beispiels in einer Expertengruppe der European Co-operation for Accreditation (EA) zur Messunsicherheit im Prüfwesen intensiv diskutiert worden war (HINRICHS 2003 (2)).

Die im Weiteren angegebenen partiellen Messunsicherheiten beziehen sich nicht auf festgelegte Bezugsgrößen sondern immer auf einen definierten Bereich, in diesem Fall auf die Merkmalsniveaus Maschenweite  $w$  und Drahtdurchmesser  $d$ . Die Angabe erfolgt als Relativwert, d.h. der gemessene oder geschätzte Wert wird auf einen geeigneten Absolutwert innerhalb des jeweiligen Bereiches bezogen. Für alle Werte gilt das Vertrauensniveau von  $\sigma = 1$ .

Bei der Betrachtung von Einflüssen auf die Unsicherheiten wurde nur in begründeten Ausnahmefällen zwischen Maschenweite und Drahtdicke unterschieden. Zum Beispiel wurde eine getrennte Betrachtung teilweise bei der Verwendung von Messschiebern vorgenommen, weil beim Messinstrument zwischen Innen- (Masche) und Außenmessung (Drahtdicke) unterschieden wird. Also wurden bei der Kalibrierung der Messmittel die Daten jeweils getrennt voneinander aufgeführt. Ansonsten wurde – vor allem bei optischen Messungen – angenommen, dass die Summe von  $w$  und  $d$  jeweils annähernd konstant war und damit eine Betrachtung einer Größe ausreichte.

#### 7.1.2 Messobjekt

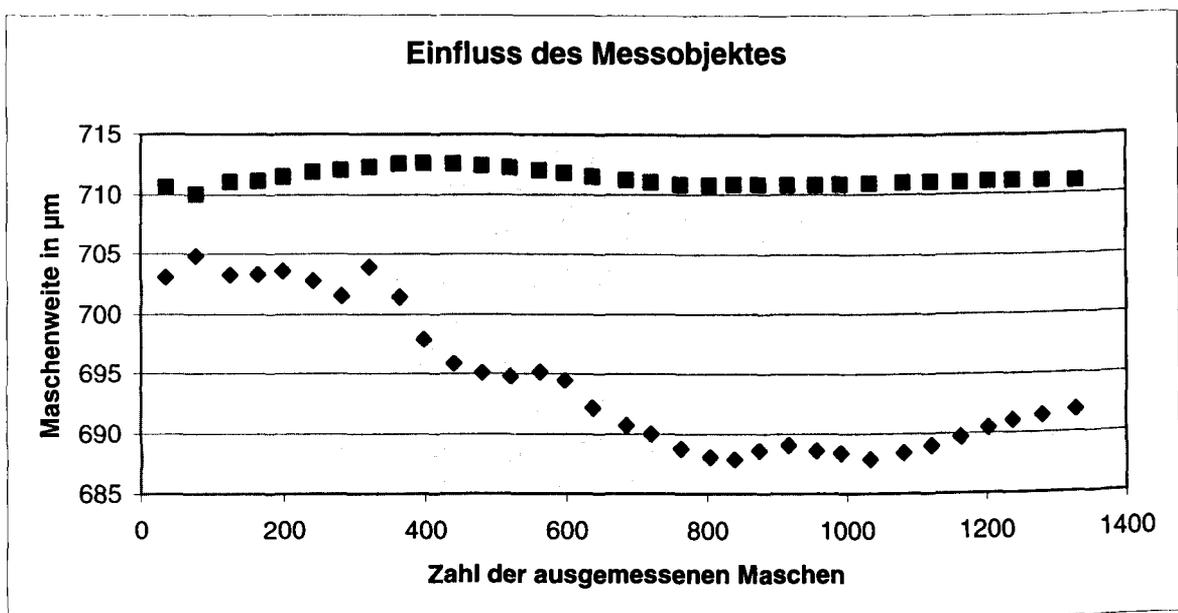
Bereits vor Beginn der Arbeiten war klar, dass vom Messobjekt ein sehr wesentlicher Einfluss auf das Ergebnis ausging. Die Ursache ist die Bildung von Texturen im Gewebe während der Produktion. Sie sind vermutlich größtenteils nicht an sich herstellertypisch sondern entstehen in Abhängigkeit von den konstruktiven und Funktionseigenschaften des jeweiligen Webstuhls. Die Produktnormen berücksichtigen dieses Phänomen und geben allgemeine Anweisungen zur statistischen Auswahl der Maschen und zur Mindestzahl der Messungen.

Das Bilder 10a/b zeigen in zwei- und dreidimensionaler Darstellung an einem händisch vermessenen groben Gewebe, wie stark das Messergebnis von der Zahl der ausgemessenen Maschen und von ihrer Auswahl abhängen kann. Eine Messung, die mehrere Maschen entlang einer ‚Gasse‘ erfasst und daraus einen Mittelwert berechnet, muss bei einer solchen gerichteten Verteilung zwangsläufig

falsch sein. Aufgrund dieses stark signifikanten Einflusses wurden die weiteren Untersuchungen auf Einzelmaschen konzentriert.

Mit den Daten wurde gleichzeitig festgestellt, dass eine Normalverteilung der Maschenweiten vorlag. Diese war auch Grundlage für die Berechnungen und die Anforderungen an zulässige Standardabweichungen nach DIN ISO 3310-1. Die sehr umfangreichen Untersuchungen von JUNGE et al. (1979) bestätigten dieses Ergebnis ganz überwiegend. Sie stellten insgesamt eine mehr oder weniger annähernd logarithmisch-normale Verteilung der Maschenweiten fest. Im Projekt ergaben sich für die Drahtdurchmesser allerdings auch nur angenäherte Normalverteilungen.

Ein Beispiel für die starke Abhängigkeit des Messergebnisses vom Messobjekt zeigt auch das nachfolgende Diagramm, das jeweils Mittelwerte für die Maschenweite in Kettrichtung (oben) und in Schussrichtung (unten) für einzelne Partien innerhalb eines Gewebes angibt. Während bei 200 Messungen in Schussrichtung der Mittelwert der Maschenweite eine Größe von  $w = 703,6 \mu\text{m}$  hat, beträgt der entsprechende Wert bei 1.000 Messungen  $w = 688,1 \mu\text{m}$ . Nach DIN ISO 3310-1 sind mindestens 200 Messungen für die Kalibrierung eines solchen Gewebes erforderlich.



Ein spezifisches Problem beim Vergleich von Ergebnissen aus Messungen an Drahtgeweben war, dass die Richtungsvektoren „Kette“ und „Schuss“ oft nicht gleich interpretiert wurden. Für ihre Bestimmung war eine eingehende Kenntnis im Umgang mit Drahtgeweben erforderlich. Das Problem wird sehr deutlich, wenn man sich vor Augen führt, dass die Daten in Kapitel 2.2 (Erscheinen des Problems) in ihrer Zuordnung hinsichtlich Kette und Schuss korrigiert werden mussten. Und das, obwohl es sich ausschließlich um spezialisierte Messstellen handelte. Um nicht aufgrund dieses Phänomens insgesamt der Messtechnik eine größere

Messunsicherheit zuzuordnen als durch sie verursacht wird, wurde dieser Punkt bei den nachfolgenden Vergleichen jeweils beachtet und ggf. Korrekturen vorgenommen, soweit das plausibel war.

Einflüsse aus den Messobjekten, d.h. aus den Geweben, die von den beteiligten Unternehmen zur Verfügung gestellt worden waren, konnten dabei nicht immer deutlich erkannt werden. Recht bald nach Vorliegen der ersten Resultate wurde von forschungsbegleitenden Arbeitskreis entschieden, dass sich die Untersuchungen auf die Betrachtung von Einzelmaschen konzentrieren sollten. Die Entscheidung fiel schwer, weil damit eine direkte Umsetzung von Ergebnissen erschwert wurde. Um eine Vorstellung vom Beitrag des Messobjektes auf das Ergebnis zu haben, wurde dennoch eine Reihe von Geweben „flächig“ vermessen. Im Laufe dieser Messungen wurden wesentliche Beobachtungen dazu dokumentiert.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden einige der durch das Messobjekt induzierten Messunsicherheiten quantitativ betrachtet, wobei allerdings die jeweilige Unsicherheit der Messung selbst mit in die Daten eingegangen ist. Mit einer groben Schätzung wurde folgender partieller Messunsicherheitsbereich ermittelt (Normalverteilung):

$$a = (2 \dots 10) \% \\ u \neq f(w) \\ \text{für alle } w$$

Die Messunsicherheit dürfte bei Drahtgeweben nach DIN ISO 3310-1 mehr an der unteren Grenze ( $a \rightarrow 2 \%$  für mehr gleichmäßige Produkte), für Gewebe, die keinen Anforderungen an die Maschenweite unterliegen, mehr an der oberen Grenze liegen ( $a \rightarrow 10 \%$  für weniger gleichmäßige Produkte). Diese Unsicherheiten wurden nicht in die weiteren Berechnungen zur erweiterten Messunsicherheit einbezogen.

Für die Drahtdurchmesser war auf der Grundlage der wenigen vorliegenden Daten keine hinreichend begründbare Schätzung wie in dieser Form möglich.

### **7.1.3 Bezug auf einen richtigen Wert**

Die Einbeziehung der hochpräzise vermessenen Muster der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt konnte nur partiell vorgenommen werden. Sie war nicht im ursprünglichen Forschungskonzept enthalten und wurde erst spät durch zusätzliche Bemühungen der MPA Braunschweig möglich. Die Konzeptionierung der Muster erfolgte im forschungsbegleitenden Arbeitskreis und richtete sich dabei vor allem auf das Eigenbaugerät. Durch den Vergleich der Resultate am Eigenbaugerät mit den Messergebnisse der anderen Instrumente sollte mittelbar eine orientierende Aussage erhalten werden. Eine andere Vorgehensweise, d.h. eine direkte Vermessung der hochpräzise ermittelten Maschenweiten mit den anderen

untersuchten Geräten war einerseits zeitlich nur eingeschränkt realisierbar. Andererseits war die Software bzw. waren die allgemein zugänglichen Softwarefunktionen von MeshCheck, G/TIAG-A und Micromesh nicht für derartige Kalibrierungsmessungen ausgelegt.

Eine Methode der mittelbaren Kalibrierung der Messgeräte über das Eigenbaugerät musste für das Forschungsprojekt eigens konzipiert werden. Ausgangspunkt dafür waren die systematischen Abweichungen. Die zufälligen Einflüsse konnten wegen der hohen Zahl an Wiederholungsmessungen vernachlässigt werden.

## 7.2 Manuelle Messverfahren

Für die manuellen Messverfahren wurden die Bezugsgrößen 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm und 32 mm ( $w_N = 31,5$  mm) ausgewählt.

### 7.2.1 Einfluss der Messgeräte

#### a) Kalibrierung

Den Kalibrierprotokollen (Anlage 1 und 2) konnten folgende Daten entnommen werden:

Skalenteilung in mm	ohne Richtungswechsel in mm	mit Richtungswechsel in mm
0,01	0,03	0,04
0,05	0,05	0,07

Die festgestellte maximale Abweichung beider Geräte betrug 0,03 mm; dieser Wert lag aber außerhalb des für dieses Projekt relevanten Bereiches. Die Kalibrierwerte waren im Einzelnen für den Bereich 0 ... 41,3 mm (in mm):

Messpunkt	Skalenteilung 0,01 mm		Skalenteilung 0,05 mm	
	Außenmessung (d)	Innenmessung (w)	Außenmessung (d)	Innenmessung (w)
0,00	0		0	
4,00		0,02		-0,02
35,00		0,02		0,01
41,30	0		0	

Bei der Messung der Drahtstärke (Außenmessung) war aufgrund dieser Werte keine Korrektur der Messwerte vorzunehmen. Für die Messung der Maschenweite (Innenmessung) konnten die Abweichungen bei der Skalenteilung 0,05 mm nicht mit dem benutzten Messgerät aufgelöst werden, wohl aber bei dem höher auflösenden Messschieber. Hier wurden systematisch um 0,02 mm zu hohe Messwerte ausgegeben, deren Schätzung wiederum mit einer geschätzten Messunsicherheit von etwa  $a = 0,01$  mm verbunden war. Die im Forschungsvorhaben ermittelten Messwerte mussten daher um diesen Betrag korrigiert werden.

Die Einflüsse auf die Messunsicherheit für den digitalen Messschieber betragen bei der Messung der Maschenweite  $a \approx 0,02$  mm einschließlich der Messunsicherheit aus der Kalibrierung, wenn eine Korrektur vorgenommen wurde. Ohne Korrektur mussten  $a \approx 0,02$  mm als systematischer Effekt und  $a = 0,01$  mm als zufällige Komponente der Unsicherheit dieses Wertes berücksichtigt werden. Der analoge Messschieber trug mit  $a \approx 0,05$  mm als zufälligen Effekt zur Messunsicherheit bei. Systematisch mussten für kleinere Maschenweiten  $a = -0,02$  mm und für größere  $a = 0,01$  mm in die Berechnungen einbezogen werden. Das entsprach in beiden Fällen der Ablesegenauigkeit der Messinstrumente. Entsprechend konnten diese Werte auch für die Drahtdicke  $d$  verwendet werden; hier wurde der systematische Effekt allerdings nicht beobachtet. Da die Ablesegenauigkeit als Unsicherheitskomponente herangezogen wurde, konnte die Verteilung der Messergebnisse als rechtwinklig ( $b = 3$ ) angenommen werden. Damit ergaben sich unter Verwendung der allgemeinen Formel

$$a_i^2 = \frac{1}{b} \cdot a_1^2$$

folgende Resultate für drei Szenarien als Einfluss der Kalibrierung des Messschiebers auf die Messung von Maschenweite und Drahtdicke mit  $\varphi$  als Richtungsvektor (zur Erläuterung des Vektors s. Kap. 7.5):

A. Messschieber mit Auflösung 0,01 mm (mit Korrektur):  $a_{1A}^2 = \frac{1}{3} \cdot 0,01^2 \text{ mm}^2$

B. Messschieber mit Auflösung 0,01 mm (ohne Korrektur):  $a_{1B}^2 = \frac{1}{3} \cdot 0,01^2 \text{ mm}^2$

systematisch:  $a_{1B'} = 0,02 \text{ mm}$

$\varphi = +1$

C. Messschieber mit Auflösung 0,05 mm:  $a_{1C}^2 = \frac{1}{3} \cdot 0,05^2 \text{ mm}^2$

Zur Unsicherheit der systematischen Komponente lag eine neuere Veröffentlichung vor. BRINKMANN (2004) beschrieb den aktuellen Stand der Kalibrierung von Messschieber und detaillierte den Umgang mit der Messunsicherheit. Er verwendete einen digitalen Messschieber mit einer Messspanne von 150 mm, für den er eine

Aussage zur größten Messunsicherheit ermittelte. Als Ergebnis stellte er  $U = 0,02$  mm für eine Veränderung der Messposition von 131,40 mm auf 131,41 mm fest. Da dieser Wert auf den Niveau  $\sigma \approx 2$  liegt, bestätigt er die Schätzung. Maßgeblich mit einem Anteil von 75 % war die Auflösung der Anzeige, die Mechanik trug zu knapp 20 % bei. Der Einfluss der Temperatur lag danach unter 5 %. Alle wesentlichen Faktoren wiesen einen Sensitivitätskoeffizienten von  $c_i = 1$  auf. Die Einflussgrößen ‚messendes Personal‘ und eine ggf. vorhandene systematische Abweichung wurden nicht quantifiziert. Vor diesem Hintergrund erscheint die Schätzung für  $a_{1A}^2$  als realistisch. Die zusätzliche Unsicherheit der systematischen Komponente entstand nach BRINKMANN durch den Vergleich mit dem Längennormal bei der Kalibrierung. Da der Betrag mit  $a = 0,007$  mm vergleichsweise gering war, wurde er für die weiteren Berechnungen als vernachlässigbar eingestuft. Zudem war nicht auszuschließen, dass in diesem Fall eine Doppelzählung von Einflussgrößen vorgenommen werden könnte.

## 7.2.2 Einfluss des messenden Personals

Folgende Erfahrungen wurden im Umgang mit den Geräten und mit den speziellen Messobjekten gemacht:

- Die Bedienung des digitalen Messschiebers konnte bei kleinen Maschenweiten (d.h.  $w = 2 \dots 4$  mm) durch eine Schnittstelle zur elektronischen Auswertung behindert werden, weil die Schenkellänge für die Innenmessung sehr kurz war. Der Einfluss wird auf  $a \approx 0,02$  mm bei Maschenweiten zwischen 2 ... 4 mm geschätzt (Rechteckverteilung). Dieses Phänomen trat nicht bei der Messung der Drahtstärke auf.

Messschieber mit Auflösung 0,01 mm: 
$$a_{2A}^2 = \left( \frac{0,02^2}{3} \right) \text{ mm}^2$$

Geltungsbereich:  $w = (2 \dots 4)$  mm bei Verwendung einer elektronischen Schnittstelle

- Aufgrund der starken Verbreitung digital anzeigender Instrumente war dem messenden Personal in manchen Fällen nicht bekannt, dass auch Zwischenwerte mit einer Auflösung von 0,05 mm ablesbar waren. Für diese Personen betrug die Auflösung des Gerätes faktisch 0,1 mm. Die Unsicherheit des Ergebnisses betrug in diesen Fällen  $u_{2A} \approx 0,20$  mm (Rechteckverteilung).

Messschieber mit Auflösung 0,05 mm: 
$$a_{2B}^2 = \left( \frac{0,2^2}{3} \right) \text{ mm}^2$$

Geltungsbereich: Weniger erfahrenes Messpersonal

- Es wurde bei den Messungen beobachtet, dass die messenden Personen unterschiedlich starken Druck auf das Gerät bei der Messung der Maschenweite ausübten. Insbesondere bei dünneren Drähten wurden scheinbar größere Maschenweiten festgestellt. Zu kleineren Maschenweiten hin, die ja meistens mit dünneren Drähten korrespondieren, trat ein messbarer Effekt auf, der systematisch sein konnte. Er wurde auf der Grundlage der vorliegenden Erfahrungen in Abhängigkeit von der ausführenden Person auf  $a_{\max} = 0,10$  mm für das digitale Messgerät, auf  $a_{\max} = 0,20$  mm für das analoge geschätzt (Rechteckverteilung). Dieses Phänomen trat bei beiden Anzeigearten auf.

A. Messschieber mit Auflösung 0,01 mm:  $a_{2C}^2 = \left(\frac{0,1^2}{3}\right) \text{ mm}^2$

oder

$$a_{2C} = 0,1 \text{ mm}$$

mit

$$\varphi = \pm 1$$

Messschieber mit Auflösung 0,05 mm:  $a_{2D}^2 = \left(\frac{0,2^2}{3}\right) \text{ mm}^2$

oder

$$a_{2D} = 0,1 \text{ mm}$$

mit

$$\varphi = \pm 1$$

Geltungsbereich:  $w = (2 \dots 8)$  mm

- Bei Wiederholungsmessungen an stabilisierten Mustern wurde festgestellt, dass bei den messenden Personen Unterschiede hinsichtlich der Sorgfalt der Ablesung des Messinstrumentes bzw. bei der Übertragung der Rohdaten in das Formblatt auftraten. D.h., dass die Personen mehr oder weniger häufig Werte notierten, die um ziemlich glatt 1 oder 0,1 mm vom vorher an der selben Masche festgestellten Betrag abwichen. Dieses Phänomen trat in Abhängigkeit von der jeweiligen Person auf. Im Durchschnitt wurde als Schätzwert angenommen, dass bei jeder 100. Messung für  $w = (8 \dots 32)$  mm der notierte vom abgelesenen Wert um  $\pm 1$  mm abweicht (Normalverteilung), d.h.  $a = 0,01$  mm. Für Messwerte  $< 8$  mm wurde  $a = 0,001$  mm angenommen.

Messschieber mit Auflösung 0,01 mm:  $a_{3A}^2 = (0,01^2) \text{ mm}^2$

Messschieber mit Auflösung 0,05 mm:

$$a_{3B}^2 = (0,01^2) \text{ mm}^2$$

Geltungsbereich:  $w = (8 \dots 32) \text{ mm}$

Messschieber mit Auflösung 0,01 mm:

$$a_{3C}^2 = (0,001^2) \text{ mm}^2$$

Messschieber mit Auflösung 0,05 mm:

$$a_{3D}^2 = (0,001^2) \text{ mm}^2$$

Geltungsbereich:  $w = (2 \dots < 8) \text{ mm}$

- Die elektronische Auswerteeinheit konnte bei der Berechnung statistischer Ergebnisse Probleme verursachen, weil die Zahl der eingegebenen Werte ohne Nachfrage fortgeschrieben wurde. Maß man z.B. zunächst zehn Werte und danach fünf, wurde der Mittelwert auf der Grundlage von zehn Werten ermittelt. Dieser Einfluss wurde allerdings nicht quantifiziert, weil er auf eine Fehlbedienung zurückzuführen war, die im Regelfall auch als solche erkannt wurde.

Eine Zusammenfassung dieser Schätzwerte enthalten die Tabellen 1a-d. Die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit wird in Kapitel 7.8.1 vorgenommen.

### 7.3 Gewebe mit Maschenweiten $w < 2 \text{ mm}$

Wie bereits aus der Diskussion der Ergebnisse für Maschenweiten  $w \geq 2 \text{ mm}$  deutlich wurde, enthält die DIN ISO 3310-1 (Analysensiebe) die höchsten Anforderungen an die Produkte. Gleichzeitig benennt sie Spezifika für Prüfverfahren detaillierter als die anderen Normen. Hinsichtlich der Prüfgeräte ist folgendes festgelegt: Die Maschenweiten sind mit „einem geeigneten Gerät zu messen, das eine Ablesegenauigkeit von  $1 \mu\text{m}$  oder  $\frac{1}{4}$  der Toleranz für die mittlere Maschenweite  $Y$  hat, je nachdem, welcher Wert größer ist“.

Zentral ist die allgemeine Festlegung, dass „die Wahrscheinlichkeit auf Übereinstimmung mit den Anforderungen ... geprüft zu werden, ... für alle Maschen eines Metalldrahtgewebes gleich groß sein“ muss. Dieser Passus resultiert aus Erfahrungen mit Texturen in den Messobjekten. Der signifikante Einfluss der Messobjekte konnte im Rahmen der Forschungsarbeit bestätigt werden. In die selbe Richtung gehen Vorgaben für Mindestzahlen an Maschen, die für eine Beurteilung zu messen sind.

Die Festlegungen gelten grundsätzlich auch für den Drahtdurchmesser. Nach DIN ISO 3310-1 beziehen sich – teilweise im Gegensatz zu den anderen Normen – die

Anforderungen an die Drahtdicke (Vorzugsmaße) aber direkt auf das Produkt, d.h. auf ihren Durchmesser im Siebrahmen.

Angaben zur Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) waren in der Norm weder für die Maschenweite noch für den Drahtdurchmesser enthalten. Auch aus diesem Grund wurden die feineren Siebgewebe in den Ringversuch einbezogen.

Bei den Untersuchungen zeichnete sich ab, dass einige signifikante Einflussgrößen einen systematischen Charakter haben. Wenn diese systematische Komponenten quantifiziert wurden, wurde sie mit einem Richtungsvektor  $\varphi$  ( $\varphi = +1$  für tendenziell größere,  $\varphi = -1$  für kleinere Maschenweiten) versehen. Dadurch sollten zu pessimistische Schätzungen der Messunsicherheit verhindert werden.

*Hinweis: Bei den Untersuchungen an den optischen Messgeräten hatte sich gezeigt, dass eine Differenzierung zwischen Maschenweite und Drahtstärke in vielen Fällen nicht erforderlich war. Die Summe aus Maschenweite und Drahtstärke war in der überwiegenden Zahl der Fälle konstant. Aussagen zu den relativen Maschenweiten können daher auf die Drahtstärke umgerechnet werden, so dass eine getrennte Betrachtung beider Kennwerte bei dieser Analyse – im Gegensatz zur Auswertung des Ringversuchs – nicht erforderlich war.*

Als Schätzwerte wurden jeweils die Spannweiten  $a_i$  genannt. Sie flossen in dieser Form in die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit  $U$  in Kapitel 7.8.2 ein.

### **7.3.1 Einflussgröße Licht**

Das Licht spielte bei der Vermessung von Stahldrahtgeweben als indirekte und direkte Beleuchtung des Messobjekts in zweifacher Hinsicht eine Rolle:

#### **7.3.1.1 Fremdlicht**

Schon vor dem Start des Projektes war klar, dass Fremdlicht als Streulicht von außen zu erhöhten Streuungen der Messergebnisse führte. Auf dem Monitor waren die starken Reflexionen am Stahldraht deutlich zu erkennen. Bei der Mehrzahl der untersuchten Geräte wurde daher das Eindringen von Fremdlicht konstruktiv auf ein Mindestmaß vermindert. Das war allerdings nicht bei Geräten möglich, die mit Aufsicht arbeiten wie M-Service & Geräte.

Im Ergebnis führte Fremdlicht zu einem systematischen Effekt, der potentiell signifikant war. Die Maschenweite erschien bei gleichzeitiger ‚Verschlankung‘ des Drahtdurchmessers vergrößert. Als besonders problematisch erwiesen sich wechselnde Fremdlichteinwirkungen. Die Beleuchtung des Arbeitsraumes konnte in einzelnen Fällen auch zu diesen Effekten führen. Insbesondere bei automatisch ablaufenden Messungen konnten Fehlmessungen auftreten, die deutlichen Einfluss sowohl auf einzelne Messwerte als auch auf das Gesamtergebnis haben konnten.

Diese Einflüsse wurden nicht bei allen untersuchten Geräten hinreichend berücksichtigt.

Eine sinnvolle Schätzung dieser Einflussgröße war wegen der sehr unterschiedlichen Bedingungen schwierig. Sie wurde als nicht sinnvoll für Situationen angesehen, in denen durch Fremdlichteinwirkung keine Messung mehr möglich ist. Im Extremfall konnten die Messwerte systematisch um bis zu 6  $\mu\text{m}$  bezogen auf eine Maschenweite von 63  $\mu\text{m}$  (ca. 10 % größere Maschenweite bzw. kleinere Drahtdurchmesser) als zu hoch ( $\varphi = +1$ ) geschätzt werden (Rechteckverteilung). Die Spannweite  $a$  für diesen Einfluss betrug daher, soweit sie für das jeweilige Verfahren relevant werden konnte:

$$\begin{aligned} a_{2A} &= 10 \% \\ b &= 3 \\ \varphi &= +1 \\ u &\neq f(w) \\ &\text{für alle } w \end{aligned}$$

Der Einfluss von Fremdlicht wurde nicht in die Berechnung einbezogen, weil er nur bei Messungen mit einem geringen Sorgfaltsniveau auftreten kann. Eine Einbeziehung hätte zu einer zu pessimistischen Schätzung geführt, die den Blick von den eigentlichen Einflüssen abgelenkt hätte. Als zufällige Komponente wurde der Einfluss auch in die Kategorie  $a < 0,01 \text{ mm}$  (vernachlässigbar) eingestuft.

### 7.3.1.2 Objektbeleuchtung

Hinsichtlich der Beleuchtung der Objekte waren die untersuchten Geräte nicht gleich gestaltet. Jeder Unterschied in der Messung musste daher untersucht werden, da er potentiell signifikanten Einfluss auf das Ergebnis haben könnte. Vier Faktoren wurden unterschieden und näher untersucht:

- a) Durchlicht / Auflicht
- b) Art der Lichtquelle
- c) Intensität der Lichtes (Leuchtdichte)
- d) Ausleuchtung des Messfeldes

a) Durchlicht / Auflicht : Die Messungen erfolgten im Durchlicht und/oder im Auflicht. Bei einem Gerät wurde ein kombinierte Auflicht-/Durchlichtbeleuchtung des Messobjektes durch Verwendung eines Spiegels unter dem Gewebe realisiert. Ein direkter Vergleich der Beleuchtungsweisen konnte nicht vorgenommen werden. Allerdings erscheint es plausibel anzunehmen, dass die Art der Lichtzuführung zum Messobjekt einen systematischen Einfluss auf die Mittelwerte der Messergebnisse

hat. Einen deutlichen Hinweis in dieser Richtung liefern die durchschnittlichen Ergebnisse des einzigen ‚reinen‘ Auflichtgerätes in den Untersuchungen: In den Bereichen  $w_N = 30 \dots 250 \mu\text{m}$  bzw.  $w_N = 150 \dots 500 \mu\text{m}$  lagen die Messwerte durchschnittlich um ca. 6 % über einem Gesamtmittel aus allen betrachteten und untersuchten Geräten. Die deutlich sichtbaren Reflexionen am Stahldraht könnten die Ursache für das beobachtete Phänomen sein. Die Verwendung von Auflicht musste allerdings nicht alleinige Ursache für die festgestellte Abweichung vom Gesamtmittel sein. Das belegten die Messungen an dem Gerät Micromesh, das eine Kombination von Durch- und Auflicht verwendet. Daher wurde diese Schätzung für ‚reines‘ Auflicht durchgeführt. Die partielle Messunsicherheit wurde bei Verwendung von Auflicht wie folgt eingeschätzt (Normalverteilung):

$$a_{3A} = 4,0 \% \text{ (sys)}$$

$$\varphi = +1$$

$$u \neq f(w)$$

$$\text{für alle } w$$

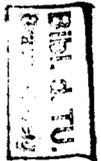
Wenn dieser systematische Effekt unter Beibehaltung der sonstigen Rahmenbedingungen korrigiert wird, bleibt eine Unsicherheit als Unsicherheit der Korrektur, dann aber als zufälliger Effekt mit nicht weiter spezifizierbarer Verteilung weiterhin vorhanden:

$$a_{3B} = 1,0 \%$$

$$b = 3$$

$$u \neq f(w)$$

$$\text{für alle } w$$



b) Art der Lichtquelle: Als Arten der Lichtquelle werden paralleles Licht und Streulicht unterschieden. Einige Gerätehersteller haben sehr bewusst paralleles Licht für die Durchführung der Messungen gewählt, da es sich bei den Messobjekten um ausgeprägte dreidimensionale Gegenstände handelt. Streulicht als Lichtquelle führt systematisch zu scheinbar höheren Maschenweiten und scheinbar dünneren Drähten. Ursache dafür sind Reflexionen von seitlich auftreffender Randstrahlung. Dieser Effekt ist wiederum abhängig von der jeweiligen Maschenweite und Drahtstärke, so dass sein Einfluss auch durch eine Kalibrierung mit einem dreidimensionalen Referenznormal nur begrenzt reduziert werden kann.

Quantitativ betragen die beobachteten scheinbaren Vergrößerungen der Maschenweite z.B. bis zu  $2 \mu\text{m}$  bezogen auf  $w = 63 \mu\text{m}$  (ca. 3 %) bzw. zu einer entsprechenden Verkleinerung der Drahtdicke führten. Bei größeren Maschenweiten wurde ein stärkerer Einfluss beobachtet, der in der Größenordnung von 5 % lag. Es musste daher angenommen werden, dass die Messunsicherheit eine Funktion der Maschenweite ist. Aus den Punkten  $P_1$  ( $a = 0,05 / w = 1 \text{ mm}$ ) und  $P_2$  ( $a = 0,03 / w = 0,063 \text{ mm}$ ) wurden logarithmische Zwischenwerte berechnet.

$$a_4 = 3,0 \dots 5,0 \% \text{ (sys)}$$

$$\varphi = +1$$

$$u = f(w)$$

für alle  $w$

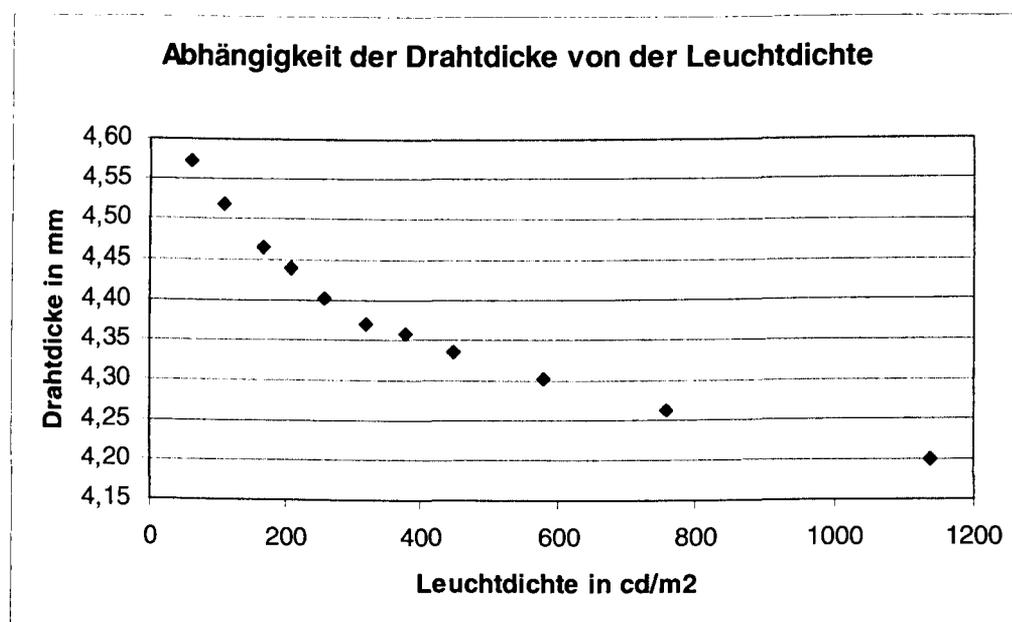
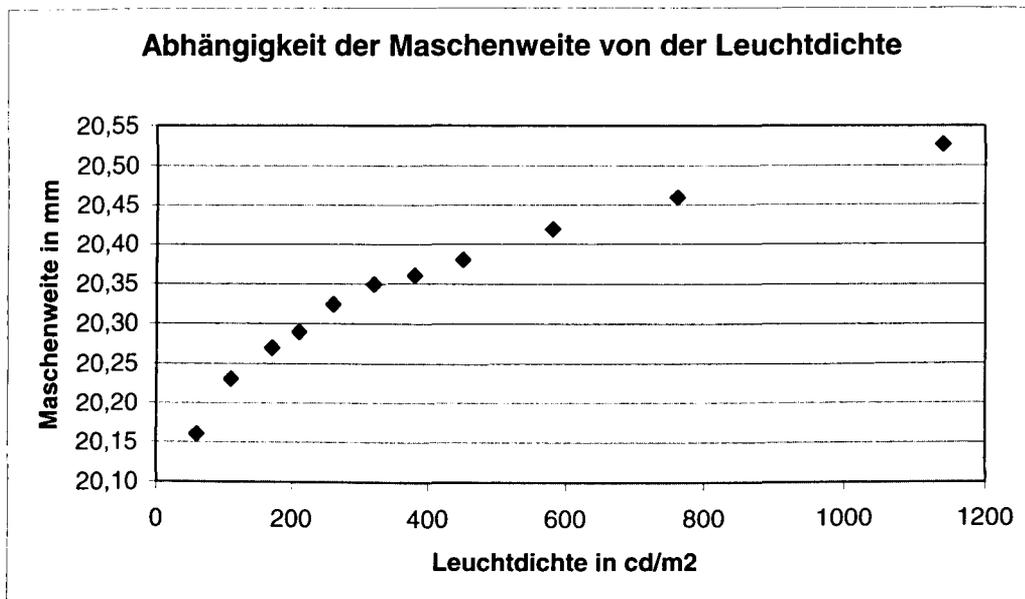
Dieser Effekt dürfte bei parallelem Licht deutlich geringer sein. Auf eine Quantifizierung des Einflusses bei parallelem Licht wurde daher verzichtet. Die Unsicherheit einer Korrektur wurde auf 1 % bei Rechteckverteilung geschätzt. Aus dem systematischen Einfluss wird in diesem Fall ein zufälliger.

Bei den Voruntersuchungen war festgestellt worden, dass mit dem Eigenbaugerät systematisch größere Maschenweiten festgestellt wurden. Eine zentrale Ursache dafür konnte in der Verwendung einer Streulichtquelle gesehen werden. Das musste sich bei Messungen an den in der PTB sehr präzise charakterisierten Mustern beweisen lassen. Bei diesen Untersuchungen wurden die Normierungen der festgestellten Längen, die mit den zweidimensionalen Mustern erzeugt worden waren, anhand der dreidimensionalen Muster verglichen. Die Abweichungen waren in der Größenordnung von 5 % (sys), d.h., dass ein erheblicher Unterschied je nach verwendetem Vergleichsmuster festgestellt wurde. Der genannte Betrag von  $a_4$ , der ja nur den Streulichteffect quantifiziert, erscheint vor diesem Hintergrund plausibel.

c) Intensität der Lichtes (Leuchtdichte): Die Vorgaben für die zu verwendende Leuchtdichte ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) waren unterschiedlich. Bei einem Gerät sollte eine möglichst minimale Leuchtdichte eingestellt werden, die gerade noch eine Messung erlaubt. Bei anderen waren keine expliziten Vorgaben genannt. Üblicherweise wurde eine wie auch immer quantifizierte „mittlere Leuchtdichte“ (etwa 200 ... 600  $\text{cd}/\text{m}^2$ ) mehr oder weniger empfohlen, bei der ‚keine sichtbaren Einschnürungen der Drähte‘ auftraten.

Für eine Schätzung von Bedeutung war, dass die Leuchtdichte, die im System in der Messung verarbeitet wird, direkt mit der offenen Siebfläche zusammenhängt. Bei feinen Geweben muss sie deutlich erhöht werden, weil das Verhältnis von Drahtdurchmesser zu Maschenweite ungünstiger ist. Ein Vergleich der Messungen unterschiedlicher Maschenweiten bei gleicher Leuchtdichte war daher nicht möglich. Mit sinkender Maschenweite musste immer mit einer Erhöhung der Leuchtdichte verbunden sein.

Bei dem Eigenbaugerät (Streulichtquelle) konnte der Einfluss der Leuchtdichte auf die gemessene Maschenweite detailliert untersucht werden. Ein Beispiel für ein sehr grobes Gewebe, anhand dessen allerdings eine besonders deutliche Darstellung anhand von Maschenweite und Drahtdurchmesser möglich ist, zeigt das folgende Diagramm.



Der Effekt wurde in ähnlicher Form auch bei den Maschenweiten  $w = 4 \text{ mm}$  und  $w = 0,75 \text{ mm}$  festgestellt. Allerdings war bei feinen Maschen unter etwa  $w = 0,25 \text{ mm}$  im weniger hellen bis mittelhellen Bereich kein vergleichbarer Anstieg mehr zu beobachten. Erst bei höheren Leuchtdichten konnte ein Anstieg der Maschenweite mit paralleler Abnahme des Drahtdurchmessers beobachtet werden. Hier wurde der ‚Verschlankungseffekt‘ des Drahtes messtechnisch deutlich sichtbar. Dabei erwies sich das Phänomen der Verschiebung der Kante zwischen Masche  $w$  und Draht  $d$  als charakteristisch. Das heißt, die Summe  $(w + d)$  blieb bei abnehmendem Drahtdurchmesser praktisch gleich.

Auch bei paralleler Lichtführung trat – zumindest bei höheren Leuchtdichten – eine scheinbare Erweiterung der Maschenweite mit zunehmender Leuchtdichte auf. Sie konnte nicht hinreichend quantifiziert werden; es kann aber angenommen werden,

dass unter den üblichen Messbedingungen kein signifikanter Einfluss auftritt. Mit Vorgabewerten für eine optimale Messbeleuchtung kann dieser Effekt deutlich reduziert werden. Die Vorgabewerte sollten sich an der jeweiligen Messmethode und am Kalibrierverfahren orientieren.

Die Leuchtdichte wurde mit dem digitalen Multifunktions-Beleuchtungsmesser für Blitz- und Dauerlicht Starlite der Fa. Gossen, Nürnberg, ermittelt. Es wurde im Funktionsbereich Photometrie bei den Messungen in das Streulichtfeld unmittelbar unterhalb des Gewebes mittig positioniert. Aus jeweils 10 Messungen wurde ein Mittelwert für eine Leuchtdichte berechnet. Bei feinen Geweben musste mit vergleichsweise hohen Leuchtdichten gearbeitet werden, um genügend Licht für die Messung nach Durchtritt des Lichts durch das Gewebe zur Verfügung zu haben. Mit dem Gerät können nach Angaben des Herstellers Leuchtdichten zwischen 0,2 ... 30.000 cd/m<sup>2</sup> direkt gemessen werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der Bereich 80 ... 4.000 cd/m<sup>2</sup> genutzt. Als Maßstab dient bei diesen Untersuchungen die Leuchtdichte L (Energiedichterichtungsverteilung):

$$L = \frac{\text{abgestrahlte Leistung}}{\text{Fläche} \cdot \text{Raumwinkel}} \text{ bzw. } L = \frac{dI}{dA_i \cdot \cos \zeta}$$

Durch die Versuchsgestaltung beträgt der Winkel zwischen Strahlungsrichtung und Flächennormal  $\zeta \approx 0^\circ$ .

Quantitativ ist der Effekt wenig von der Maschenweite abhängig. Daher wurde folgende Annahme gemacht: P<sub>1</sub> (a = 0,01 / w = 1 mm) und P<sub>2</sub> (a = 0,02 / w = 0,063 mm) für das gesamte Fenster ‚mittlerer‘ Leuchtdichten. Aufgrund der zunehmend geringeren Lichtdurchlässigkeit von feiner werdenden Geweben konnte der Effekt nicht weiter verfolgt werden. Allerdings wird mit abnehmender offener Siebfläche die Spanne des messbaren Bereiches kleiner, so dass sich auch das Fenster der mittleren Leuchtdichten verengt. Es ist nicht erkennbar, allerdings auch nicht auszuschließen, dass sich bei sehr feinen Geweben relativ geringe Schwankungen in der Leuchtdichte signifikant auf das Messergebnis auswirken. Zusammenfassend wurde der Einfluss auf folgenden Wert geschätzt (Rechteckverteilung):

Bei der Anforderung ‚mittlere Leuchtdichte‘ in der Messvorschrift:

$$a_5 = 1,0 \dots 2,0 \%$$

$$b = 3$$

$$u = f(w)$$

für alle w

Der Messwert korreliert mit der Messfeldausleuchtung, weil sich diese mit steigender Leuchtdichte vergrößert. Für den Fall der Anforderung ‚minimal mögliche

Leuchtdichte' in der Messvorschrift wurde ein systematischer Effekt angenommen (Rechteckverteilung):

$$\begin{aligned} a_{1D} &= 2,0 \% \text{ (sys)} \\ \varphi &= -1 \\ u &= f(w) \\ &\text{für alle } w \end{aligned}$$

d) Ausleuchtung des Messfeldes: Nach vorliegenden Untersuchungen eines Geräteherstellers liegt die Toleranz für Helligkeitsschwankungen im ausgeleuchteten Messfeld einer Kaltlichtquelle mit kollimatisiertem Licht bei  $\pm 15 \%$ , ohne dass damit die Messgenauigkeit nennenswert beeinflusst würde. Wenn dieser Wert erreicht wird, könnte der Effekt auch bei Streulichtquellen vernachlässigt werden. Auf der Grundlage von Beobachtungen in der Messpraxis bei den Herstellern muss bezweifelt werden, dass diese Voraussetzung generell erfüllt wird. Bei einer Reihe von Messungen in einem Herstellbetrieb fiel auf, dass sich minimale und maximale Werte für Maschenweite und Drahtdicke, vor allem bei kleinen Vergrößerungen, ganz überwiegend im (weniger hell erleuchteten) Randbereich häuften. Außerdem war in diesen Fällen, vor allem bei kleineren Vergrößerungen, die Größe der Lichtquelle nicht immer hinreichend, so dass sich zwangsläufig und deutlich visuell erkennbar dunklere Ränder im tatsächlich ausgemessenen Messfeld zeigten. In diesen Fällen muss schon davon ausgegangen werden, dass die dadurch erzeugte partielle Messunsicherheit nicht vernachlässigt werden kann. Sie wurde aufgrund der vorliegenden Beobachtungsergebnisse wegen der Abhängigkeit von der Vergrößerung auf  $P_1$  ( $a = 0,01 / w = 1 \text{ mm}$ ) und  $P_2$  ( $a = 0,02 / w = 0,063 \text{ mm}$ ) geschätzt (Rechteckverteilung):

$$\begin{aligned} a_6 &= 1,0 \dots 2,0 \% \\ b &= 3 \\ u &= f(w) \\ &\text{für alle } w \end{aligned}$$

Die Größen  $a_5$  und  $a_6$  korrelieren, weil sich mit Veränderung der Leuchtdichte auch die Ausleuchtung des Messfeldes verändert.

### 7.3.2 Kamera

Die Kamera ist bei den optischen Messverfahren ein zentrales Instrument. Das betrifft vor allem das Auflösungsvermögen, ggf. auch die Reproduzierbarkeit (im Sinne der Präzision die Wiederholbarkeit von Aufnahmen). Die untersuchten Messstände waren mit Kameras unterschiedlicher Auflösungen ausgestattet. In einem Fall wurde eine Farbkamera eingesetzt.

Die untersuchten Kameras hatten eine Auflösung von max. ca.  $1 \mu\text{m}$  bezogen auf  $w = 63 \mu\text{m}$  (Normalverteilung). Durch die nachfolgende Subpixelberechnung, die

vorsichtig mit einem Faktor von  $\frac{1}{2}$  in die Berechnung einbezogen wurde, betrug der Beitrag effektiv maximal etwa 1 % für Maschenweiten von  $w < 50 \mu\text{m}$ , ohne Subpixelberechnung etwa 2 %.

Kamera mit einer Auflösung von mindestens  $1 \mu\text{m}$  mit Subpixelberechnung:

$$\begin{aligned} a_{7A} &= 1,0 \% \\ b &= 3 \\ u &\neq f(w) \\ &\text{für alle } w \end{aligned}$$

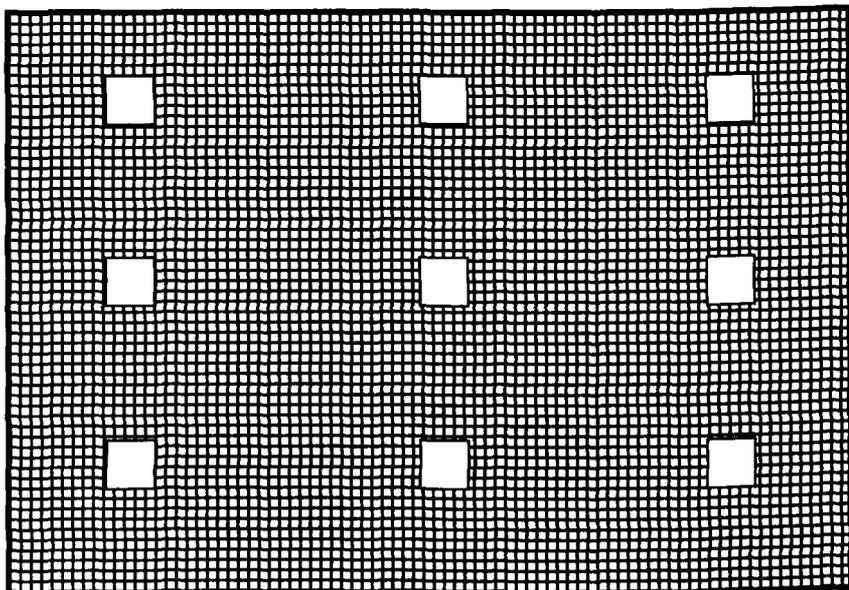
Kamera mit einer Auflösung von mindestens  $1 \mu\text{m}$  ohne Subpixelberechnung:

$$\begin{aligned} a_{7B} &= 2,0 \% \\ b &= 3 \\ u &\neq f(w) \\ &\text{für alle } w \end{aligned}$$

### 7.3.3 Optik

#### 7.3.3.1 Optisches System

Untersuchungen am optischen System konnten nur mit dem Eigenbaugerät vorgenommen werden. Dabei wurden einzelne Maschen und Drähte an verschiedenen Stellen innerhalb der Monitoranzeige vermessen (Bild unten). Diese Messungen wurden jeweils mehrfach vorgenommen. Dabei wurde – abgesehen von üblichen Schwankungen bei Wiederholungsmessungen (s.u.) – kein messbarer Effekt durch die Optik festgestellt. Offensichtlich tragen Verzerrungen des Bildes durch das optische System nur in vernachlässigbarem Umfang zur Messunsicherheit des gesamten Messsystems bei.



Die partiellen Messunsicherheiten des optischen System durch Verzerrungen wurden als vernachlässigbar gering festgestellt. Das erscheint auch wegen der allgemein hohen Anforderungen an optische Kennwerte plausibel.

$$a_8 < 1,0 \% \\ \text{für alle } w$$

### 7.3.3.2 Wahl der Vergrößerung

Bei jedem der untersuchten Geräte waren innerhalb des Messbereiches von  $w = (2,00 \dots 0,025)$  mm eine bis vier Entscheidungen über die Wahl der optimalen Vergrößerung zu treffen. Es handelte sich jeweils um einen diskontinuierlichen Wechsel, der bruchhaft vorgenommen wurde, wenn die Grenze einer optimalen Vergrößerung überschritten war und die Wahl einer anderen Vergrößerung als optimaler eingeschätzt wurde. Dabei war das Spektrum der Gewebe hinsichtlich Maschenweite und Drahtstärke wegen der Vielzahl der möglichen Produkte deutlich weniger diskontinuierlich, so dass im Gegensatz zur optischen Vergrößerung fast von einem kontinuierlichen Wechsel der Muster gesprochen werden kann.

Es sind in diesem Zusammenhang zwei Einflussgrößen zu betrachten: a) die Entscheidung über den Wechsel eines Objektivs und b) die Spreizung des Optimums einer Vergrößerung.

a) Durch die Entscheidung wegen eines Wechsels der Vergrößerung werden aufgrund des ‚Herausfahrens‘ aus dem Optimum Unsicherheiten in die Messung eingeführt, deren Größe aufgrund von vergleichenden Messungen, die am Eigenbau-Gerät durchgeführt wurden, auf folgende Größe geschätzt werden konnten.

b) Während bei häufigerem Wechsel des Objektivs innerhalb der Spanne von  $w = (0,032 \text{ und } 1,0 \text{ mm})$  jeweils mehrere Vergrößerungsoptima und Grenzzustände durchlaufen wurden, treten bei Systemen mit großen Vergrößerungsbreiten zunehmend größere Unsicherheiten zu den jeweiligen Rändern des Bereiches auf, weil die Größe der Maschen im Verhältnis zum von der Kamera erfassten Bild immer geringer wird. Das dürfte vor allem bei Maschenweiten von  $w \leq 0,125$  mm der Fall sein. Bei kleinen Maschen wird allerdings mit einem quantifizierbaren Einfluss gerechnet (Rechteckverteilung, zufällig):

$$a_9 = 1,0 \% \\ b = 3 \\ u \neq f(w) \\ \text{für } w = (0,125 \dots 1,0) \text{ mm}$$

Für Maschenweiten zwischen  $w = (0,032 \dots 0,125)$  mm wurde eine Abhängigkeit der Unsicherheit von der Maschenweite in folgender Form angenommen:  $P_1$  ( $a = 0,01 / w = 0,125$  mm) und  $P_2$  ( $a = 0,05 / w = 0,032$  mm):

$$a_9 = 1,0 \dots 5,0 \%$$

$$b = 3$$

$$u = f(w)$$

für  $w = (0,032 \dots 0,125) \text{ mm}$

### 7.3.4 Messsoftware

Die Umsetzung von Messvorgaben aus den Produktnormen in der Software

- a) zur Auswahl der zu messenden Maschen und
- b) zur Kalibrierung,

die Definition einzelner Messbedingungen

- c) Abschneide- und
- d) (Auto)Fokussierungskriterien

sowie/bzw. die Vorschriften an das Personal bei visueller Einstellung

e) der Helligkeit

wurden von den Geräteherstellern unterschiedlich gelöst. Diese Einflüsse können signifikant zur Unsicherheit der Messergebnisse beitragen. Die Einflüsse der Punkte a), d) und e) können auch personalbedingt sein.

a) Auswahl der zu messenden Maschen: Die Auswahl der zu messenden Maschen stellt für Analysensiebe nach DIN ISO 3310-1 ein sehr bedeutsames und detailliert beschriebenes Kriterium dar. Insbesondere die Vorgabe, dass die Wahrscheinlichkeit ausgemessen zu werden für alle Maschen in einem Sieb gleich groß sein soll, stellt hohe Ansprüche an die Soft- und letztendlich auch an die Hardware. Im Rahmen des Projektes wurde festgestellt, dass bei nicht hinreichender Beachtung dieses Kriteriums die Unsicherheiten des Messobjektes in die Ergebnisse eingetragen werden. Sie sind aber für die Einzelmaschenbetrachtung, wie sie hier vorgenommen wird, nicht von Bedeutung, so dass eine Quantifizierung für die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit hier entfallen kann. Die Mehrzahl der untersuchten Geräte war zudem nicht für Messungen nach DIN ISO 3310-1 ausgelegt. Mögliche personalbedingte Faktoren müssen daher hier nicht berücksichtigt werden.

$$a_{10} < 1,0 \%$$

für alle  $w$

b) Kalibrierung: Die Kalibrierung der Geräte erfolgt in der Regel über zweidimensionale Normale. Meistens werden dafür Chrommuster auf Glasträger angewendet. Sie sind je nach Hersteller unterschiedlich ausgeführt. Die beim

Kalibriervorgang von der Software erkannten Abstände wurden als richtige Werte gespeichert und für die nachfolgenden Messungen genutzt. Aufgrund der beobachteten, teilweise erheblichen systematischen Unterschiede bei den Messergebnissen muss angenommen werden, dass die so vorgenommene Kalibrierung nicht hinreichend eine Berichtigung des Bezugswertes sicherstellt.

Untersuchungen am Einfluss der Kalibrierung konnten nur am Eigenbaugerät vorgenommen werden, weil die Soft- und Hardware der anderen untersuchten Geräte nicht für eine Ausmessung der vorhandenen Muster ausgelegt waren, so dass eine generelle Schätzung nicht möglich ist und auf eine Einzelschätzung zur Quantifizierung dieser Unsicherheitskomponente in der Plausibilitätsbetrachtung eingegangen werden muss (s.a. Kapitel 7.6 Kalibrierung). Aufgrund der vorliegenden Daten ist eine systematische Beeinflussung der Messunsicherheit eher wahrscheinlich.

$a_{11}$  = unbekannt  
b = unbekannt  
 $\varphi$  = unbekannt  
für alle w

c) Abschneidekriterien: Bei allen untersuchten Messgeräten war es notwendig, dass die Software eine Funktion zur Kantendetektion enthielt. In den von der Kamera gelieferten Bildern musste entschieden werden, wo in der Aufnahme die Masche endet und der Draht anfängt. Üblicherweise wird diese Aufgabe durch mathematische Ableitungen aus der aufgenommenen Funktion bewerkstelligt. Ein Beispiel zeigt das Bild 11.

Links oben ist die Helligkeitsverteilung des Maschenbildes rechts zu erkennen. Das Bild links in der Mitte enthält die Veränderung der Helligkeit (1. Ableitung der Funktion), während das untere Bild links die 2. Ableitung darstellt. Die Maschenweite ist in dieser Darstellung als Abstand der Nulldurchgänge der 2. Ableitung (Wendepunkte der Ausgangsfunktion) definiert. Ein ähnliches Vorgehen beschreibt DOMEYER 1995 als Nulldurchgangsverfahren für eine Filterfunktion.

Diese Darstellung wurde der Software für das Eigenbaugerät entnommen. Es war wegen der verschlüsselten Auswertesoftware nicht klar, wie diese Aufgabe von den einzelnen Herstellern gelöst wurde, zumal hier üblicherweise auch Subpixelkorrekturen vorgenommen und verschiedene Filterfunktionen definiert werden können. Aufgrund des vergleichsweise klaren Übergangs von hell nach dunkel kann angenommen werden, dass der Einfluss dieses Faktors vernachlässigt werden kann. Sollte die Kantendetektion dennoch signifikant zur Messunsicherheit beitragen, wäre sie untrennbar mit den oben genannten signifikanten Einflüssen verbunden und damit bereits berücksichtigt.

Ein möglicher systematischer Fehler kann bei der Wahl der Messpunkte auftreten. Wenn der Abstand zwischen den beiden Wendepunkten direkt gemessen wird, sind die Abschneidekriterien an beiden Seiten nicht gleich, weil es sich um die linke und die rechte Maschenseite handelt. Dadurch treten, auf der Grundlage von Erfahrungen mit der Bildverarbeitung, Fehler in der Größenordnung von durchschnittlich einem halben Pixel auf.

$$a_{12} < 1,0 \% \\ \text{für alle } w$$

d) (Auto)Fokussierungskriterien: Der Einfluss der manuellen Fokussierung auf die Messunsicherheit wurde am Eigenbaugerät eingehend untersucht. Dabei wurden Einzelmaschen verschiedener Größe durch Änderung der z-Position der Kamera bei unterschiedlichen Schärfentiefen ausgemessen. Neben den wiederholt festgestellten Schwankungen bei Wiederholungsmessungen konnte auch hier kein quantifizierbarer Beitrag festgestellt werden, auch wenn sich ein leichter Trend zu einer scheinbaren Vergrößerung der Masche mit Entfernung von einer optimalen Schärfentiefe zu erkennen war. Das sollte auf der Grundlage der Erfahrungen mit den untersuchten Geräten auch für die Autofokusfunktion gelten. Da nicht damit zu rechnen war, dass die Fokussierung in einem größeren Bereich durchgeführt wird, wurde der Einfluss als vernachlässigt eingeschätzt. Mögliche personalbedingte Faktoren wurden daher hier nicht berücksichtigt, zumindest soweit telezentrische Optiken verwendet werden. Das gilt dann auch für Gewebe, bei denen die Tiefenschärfe nicht gleichmäßig über den gesamten Messbereich verteilt ist.

*Bemerkung: Im Rahmen der Untersuchungen wurde auch das bekannte Phänomen festgestellt, dass eine weniger optimale Fokussierung in einigen Fällen eine Messung überhaupt erst ermöglichte. Aufgrund des scharfen Hell-Dunkel-Kontrasts zwischen Masche und Draht konnte dem experimentell beobachteten Übergang keine mathematische Funktion zugeordnet werden, so dass auch keine Berechnung der Ableitungen möglich war. Durch eine leichte Defokussierung wurde die Kante erkannt.*

Bei einer Verwendung von nicht telezentrischen Objektiven ändert sich das Abbildungsverhältnis mit der Änderung der Einstellung des Fokus'. Das trifft bei den untersuchten Geräten nur für den MeshCheck zu. Entsprechende Effekte waren bei den Untersuchungen am Gerät auch am Bildschirm zu erkennen. Personalbedingte Einflüsse können in diesem Fall nicht ausgeschlossen werden, so dass die partielle Messunsicherheit auch nicht vernachlässigt werden kann. Im Gegensatz zu einigen anderen Größen dürfte der Einfluss dieses Faktor vergleichsweise gering sein, weil die Variationen in den z-Positionen gering und damit die Veränderungen des Abbildungsverhältnisses ebenso klein sein werden. Es wird daher geschätzt, dass diese Einflussgröße zu einer Spannweite der Messunsicherheit von 1 % beiträgt (Rechteckverteilung).

Bei Verwendung von telezentrischen Objektiven:

$$a_{13A} < 1,0 \% \\ \text{für alle } w$$

Bei Verwendung von nicht telezentrischen Objektiven:

$$a_{13B} = 1,0 \% \\ b = 3 \\ u \neq f(w) \\ \text{für alle } w$$

e) Zum Einfluss der Helligkeit siehe 6.5.1.2 d)

### 7.3.5 Stabilität der Messung'

Im Rahmen der Untersuchungen wurden auch umfangreiche Messungen unter weitgehenden Wiederholungsbedingungen, d.h. bei umgehender Durchführung einer weiteren Messung ohne Veränderung der Position des Messobjektes, gemacht. Sie zeigten, dass die Messgeräte hinsichtlich ihrer jeweiligen Ergebnisse wenig ‚stabil‘ waren. Während Neuberechnungen an gespeicherten Bildern zu exakt gleichen Ergebnissen führten, bewirkte die Berechnung einer neuen Aufnahme eine erhebliche Streuung der Ergebnisse. Die Streuungen bei Wiederholungsmessungen lagen teilweise in einer Größenordnung von bis zu 15 %.

Damit muss das Phänomen ‚Stabilität der Messung‘ als eine deutlich signifikante bzw. sogar dominante Einflussgröße für die Messunsicherheit angesprochen werden. Es kann nur vermutet werden, dass die Ursachen für diesen Effekt aus der gesamten Messkette stammen, die sich bei Wiederholungen von Messungen addieren. Das betrifft alle beobachteten Einflüsse mit Ausnahme des Messobjektes. Eine Berücksichtigung dieses Faktors als partielle Messunsicherheit könnte leicht eine Doppelberücksichtigung schon betrachteter Faktoren zur Folge haben. Damit würde die Schätzung der erweiterten Messunsicherheit in einen pessimistischen Bereich verschoben. Andererseits ist der Beitrag so erheblich, dass die Summe der Quadrate der anderen Einflussgrößen kaum an sie heranreicht.

Die mangelnde Stabilität der Messungen wurde bei den zahlreichen Wiederholungsmessungen am Gerät G/TIAG-A besonders deutlich. Das Programm endete mit dem Ausdruck eines Protokolls, in dem eine Aussage zur Konformität mit der DIN ISO 3310-1 enthalten war. Die Messungen wurden an jeweils 11 bis 21 selben Messobjekten (Analysensiebe) durchgeführt. Das Ergebnis in der Tabelle zeigt, dass mit abnehmender Maschenweite immer wahrscheinlicher wurde, dass die jeweiligen Anforderungen nicht erfüllt wurden. Die Ursachen lagen hauptsächlich in unzulässig hohen Standardabweichungen.

Maschenweite in $\mu\text{m}$	Anforderungen erfüllt	Anforderungen nicht erfüllt
3.150	11	0
2.000	20	0
1.250	13	6
1.000	17	3
800	16	4
500	10	12
250	6	16
200	6	15

Eingehend untersucht wurde die Stabilität der Messergebnisse auch am Eigenbaugerät. Die Messungen wurden an einem Gewebe mit der Maschenweite  $w = 22,4 \text{ mm}$  mit dem Objektiv 1:7,1 unter Wiederholungsbedingungen innerhalb sehr kurzer Zeit durchgeführt. Die festgestellten Maschenweiten und Drahtdurchmesser waren als Mittelwert aus zehn Messungen jeweils sehr ähnlich, nicht aber die Spannweiten der Einzelwerte und die Standardabweichungen. Aus der Tabelle ist klar ersichtlich, dass sich die Streuung der Einzelwerte mit steigender Zahl der Mittelwerte auch hier deutlich verringert.

Zahl der Aufnahmen pro Einzelmessung	Spannweite der Einzelwerte der Maschenweiten in $\mu\text{m}$	Standardabweichungen der Einzelwerte der Maschenweiten in $\mu\text{m}$	Spannweite der Einzelwerte der Drahtdicken in $\mu\text{m}$	Standardabweichungen der Einzelwerte der Drahtdicken in $\mu\text{m}$
1	13,4	4,3	11,9	3,6
3	4,3	1,4	5,3	1,6
5	2,8	0,9	4,8	1,4

Die relativen Standardabweichungen waren bei diesen großen Maschenweiten mit Werten unter 0,1 % sehr gering. Der Einfluss wurde bei kleineren Maschenweiten aber relevant. Das wurde auch mit dem Micromesh eingehend untersucht und bestätigt. Bei einer Maschenweite von  $w = 0,063 \text{ mm}$  betrug der relative Wert für die Standardabweichung 2,3 %. Zusammenfassend wurde auf der Grundlage dieser Betrachtungen eine Differenzierung zwischen ‚günstigem‘ und ‚ungünstigem‘ Messverfahren vorgenommen. Die partielle Standardabweichung für die Vermessung von Einzelmaschen auf folgende Werte geschätzt (Normalverteilung):

A. Beim ‚günstigen‘ Verfahren:

$$a_{14A} = 2,0 \%$$

$$b = 1$$

$$u \neq f(w)$$

für alle w

B. Beim ‚ungünstigen‘ Verfahren:

$$a_{14A} = 3,0 \%$$

$$b = 1$$

$$u \neq f(w)$$

für alle w

*Bemerkung: Bei Messungen zur Feststellung der Konformität eines Produktes oder bei Mehrfachmessungen an derselben Masche kommt dieser Einfluss auch deutlich weniger zum Tragen, so dass er hierbei sogar vernachlässigbar sein könnte.*

Die aufgeführten Daten sind in der Tabelle 2 im Anhang zusammengestellt.

#### 7.4 Kalibrierung

Ein signifikanter Einfluss kann auch aus der Kalibrierung eines Messsystems resultieren. Im Rahmen des Forschungsprojektes ergab sich die Möglichkeit neben der Präzision auch Aussagen zur Richtigkeit der Ergebnisse zu machen. Aufgrund der Situation, dass die meisten in der Praxis eingesetzten Messmittel für Drahtgewebe in das Projekt integriert werden konnten, stellte die Richtigkeit ein maßgebliches Kriterium dar. Mit dem Abschluss des Projektes sollte dann eine Aussage zur Genauigkeit als Produkt von Richtigkeit und Präzision gemacht werden können. Außerdem sollte damit geklärt werden, in welcher Weise die üblicherweise verwendeten (‚zweidimensionalen‘) Vergleichsmuster die Vergleichbarkeit der Messungen beeinflussen.

Es wurden zwei (‚dreidimensionale‘) Gewebemuster ( $w_1 \approx 57 \mu\text{m}$ ,  $w_2 \approx 760 \mu\text{m}$ ) in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) ausgemessen. Das Muster  $w_1$  lieferte ein Gewebehersteller, das Muster  $w_2$  fertigte die MPA Braunschweig an. Aufgrund des erheblichen Unterschiedes in der Maschenweite wurden zwei grundsätzlich verschiedene Messverfahren von der PTB eingesetzt.

a) Gewebemuster  $w_1$

Zur Kenntlichmachung der ausgemessenen Einzelmaschen wurde eine Lochblende auf das Gewebe aufgeklebt und ein Zeichen angebracht, um das Muster verwechslungsfrei ausrichten zu können. Die Messungen erfolgten im Rasterelektronenmikroskop bei 1000 ... 2000facher Vergrößerung. In der

Probenkammer befand sich ein Verschiebetisch, dessen Bewegung mit einem Laserinterferometer (Auflösung 1 nm) gemessen wird. Als Messergebnisse wurden festgestellt (Angaben in  $\mu\text{m}$ ):

		Probe 1		Probe 2	
<b>Kette</b>	<b>w</b>	55,4	56,1	59,8	56,7
	<b>d</b>	38,0		38,0	
<b>Schuss</b>	<b>w</b>	58,5	59,9	57,6	58,6
	<b>d</b>	41,5		41,5	

Die Messunsicherheit dieser Ergebnisse beträgt für die Maschenweite etwa (0,2 ... 0,4)  $\mu\text{m}$ , für die Drahtdicke etwa 0,5  $\mu\text{m}$ , jeweils für  $\sigma \approx 2$ .

Das Referenznormal konnte lediglich für das Eigenbaugerät spezifiziert werden, weil ein Eingriff in den Ablauf der Messsoftware der anderen Geräte nicht vorgesehen war. Es war wenig überraschend, dass sich ein systematischer Effekt zeigte, da es sich um eine Beleuchtung des Messobjektes mit Streulicht handelte. Insgesamt wurde bei der Kalibrierung mit dem Referenzmuster festgestellt, dass das Eigenbaugerät um 1 ... 2  $\mu\text{m}$  (Bezugswert:  $w = 63 \mu\text{m}$ ) bei Vergrößerungen von 4 ... 8 maß, d.i. 2 ... 3 % bezogen auf die Maschenweite. Die Kalibrierungsmessungen wurden durch deutliche Streuungen der Einzelwerte bei Wiederholungsmessungen gestört, so dass keine präzisere Angabe möglich war. Als Mittelwerte der Messungen an den Ausgangsgeweben waren jeweils 54,4 bzw. 54,1  $\mu\text{m}$  festgestellt worden. Aufgrund der vorgesehenen leichten Vorspannung der Gewebe in den Hülsen können diese Daten allerdings nicht zu Vergleichszwecken herangezogen werden.

#### b) Gewebemuster $w_2$

Das gröbere Gewebemuster wurde mit einem Fasertaster der Fa. Werth (Durchmesser 0,11069 mm) ausgemessen. Als Mittelwert ergab sich eine Maschenweite von  $w = (763,2 \pm 2,8) \mu\text{m}$ . In diesem Fall wurden mit dem Eigenbaugerät im Mittel systematisch höhere Werte für die Maschenweite gemessen. Daraus ergab sich wiederum eine relative Spannweite von 4 ... 6 % bei Vergrößerungen zwischen 0,5 ... 2. Auch in diesem Fall zeigte sich, dass die Streuungen der Resultate bei den Kalibrierungen bei Wiederholungsmessungen vergleichsweise gering war. Die Mittelwerte aus Vergleichsmessungen zeigten deutlichere Schwankungen. Als Beispiele dienen folgende Messungen:

- Wiederholungsmessungen mit Objektiv 1 : 2;  
Einzelmittelwerte aus 50 Messungen:

(58,06 ± 0,08) Pixel; (58,36 ± 0,04) Pixel  
Ergebnis: (58,2 ± 0,2) Pixel

- Wiederholungsmessungen mit Objektiv 2 : 1;  
Einzelmittelwerte aus 50 Messungen:  
(233,87 ± 0,3) Pixel; (233,86 ± 0,2) Pixel  
Ergebnis: (233,9 ± 0,7) Pixel

Es wurde daher, was aufgrund der geringen Einflüsse der verwendeten Optiken auch plausibel ist, davon ausgegangen, dass mit dem Eigenbaugerät systematisch um bis zu 3 % höhere Maschenweiten ermittelt werden. Da eine direkte Vermessung der Muster mit den anderen Geräten nicht möglich war, konnte dieses Resultat nur mittelbar über die Vergleiche der anderen Geräte miteinander und dem Bezug aus den Daten in Kapitel 2.2 (Erscheinen des Problems) verwertet werden.

### c) Verwendung von Verkleinerungsoptiken

Eines der Ziele des Forschungsprojektes war die Ausweitung der optischen Analyse auf Gewebe mit Maschenweiten deutlich über  $w = 2$  mm. Die Untersuchungen sollten einerseits Aufschluss geben über die grundsätzlichen Einsatzmöglichkeiten dieser Methode im Vergleich zum Messschieber. Andererseits sollte die Frage angegangen werden, ob nicht auch bei optischen Messungen ähnliche Messunsicherheiten erreichbar sind wie bei Verwendung des Messschiebers.

Im Ergebnis zeigte sich, dass optische Messungen bei weitem nicht an manuelle heranreichen. Die Einstellung vergleichbarer Messbedingungen erwies sich als besonders schwierig, so dass teilweise sehr große Spannweiten festgestellt wurden. Ein typisches Beispiel ist die Messung an einem Gewebe mit einer Maschenweite von  $w = 32$  mm. Mit dem optischen Verfahren wurden bei einem Vergrößerungsverhältnis von 1 : 7,1 bei mehreren Messungen zwar sehr präzise Wiederholungen in der Größenordnung von 0,1 Pixel realisiert. Beim Vergleich der Resultate zeigte sich jedoch, dass ein echter Bezug auf die Präzision des Messschiebers nicht möglich war. Die Messung ergab  $(580 \pm 79)$  Pixel.

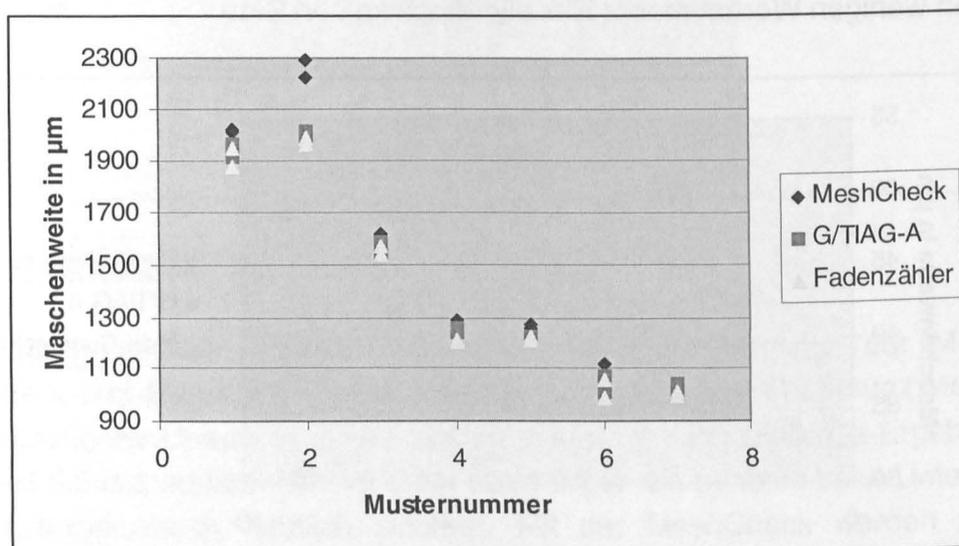
## 7.5 Vergleich der Ergebnisse verschiedener Messgeräte

Eine Ursache der Messunsicherheit können die Methoden der messtechnischen Auswertung in den untersuchten Geräten sein, die nicht einer quantitativen Analyse zugänglich waren. Beispiele sind die Methoden der Auswertung der jeweiligen Messsoftware (Kantendetektion, Subpixelberechnung, Wirkungen von Filtern usw.) und die verschiedenen Kalibrierungsverfahren. Diese Elemente wirken wegen der mangelnden Zugänglichkeit teilweise wie ‚black boxes‘. Wenn sie signifikant zum Messergebnis beitragen, bleibt ihre quantitative Komponente unberücksichtigt. Um eine zu optimistische Schätzung der Messunsicherheit zu vermeiden, wurden daher

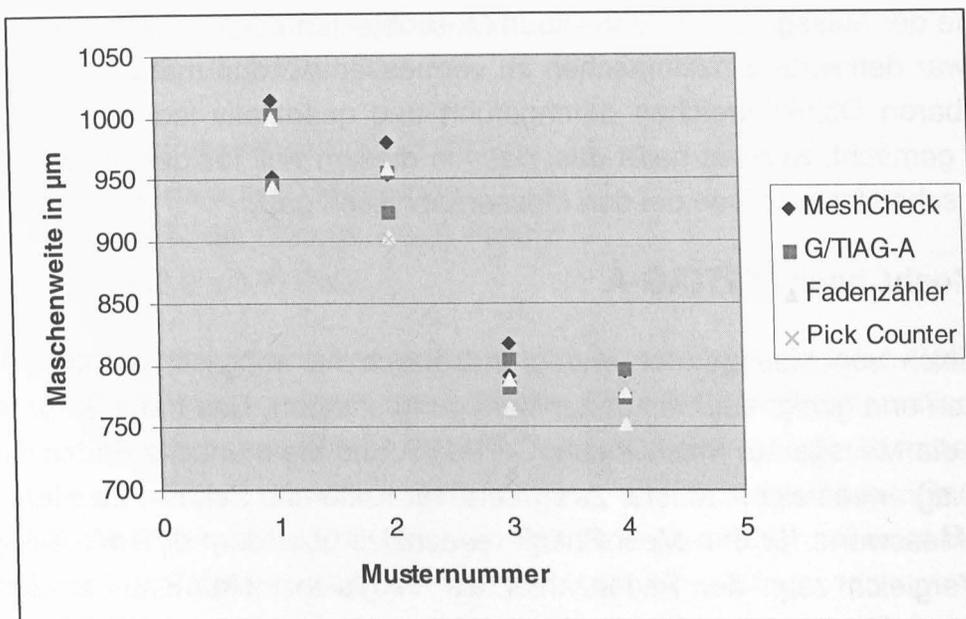
Vergleiche der Messgeräte an denselben Messobjekten durchgeführt. Wenn es nicht möglich war definierte Einzelmaschen zu vermessen wurden mehrere Vergleiche in vergleichbaren Objektbereichen durchgeführt und quantitativ lediglich eine relative Aussage gemacht. Konkret heißt das, dass in diesem Fall festgestellt wurde, ob es systematische Unterschiede bei den Messergebnissen gab.

### 7.5.1 MeshCheck / G/TIAG-A

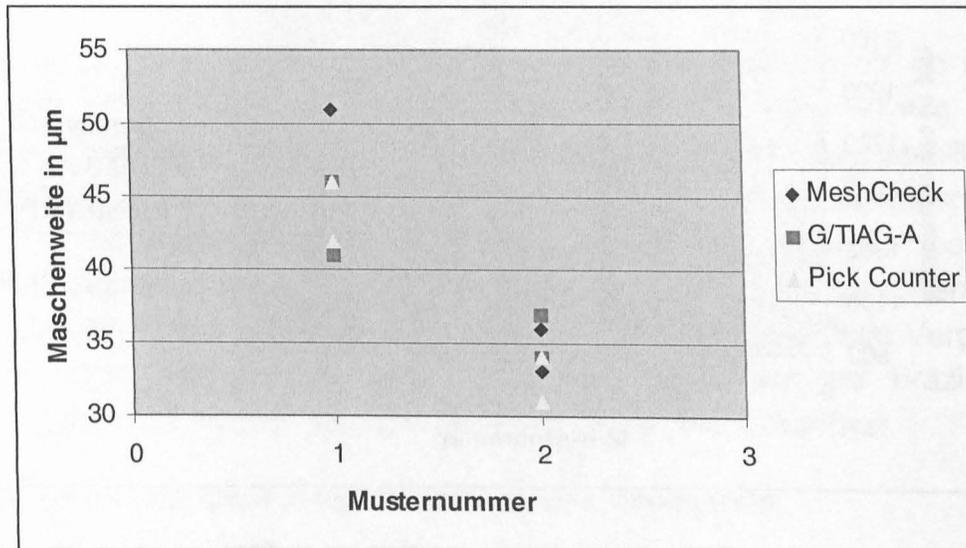
Ein Vergleich von Messgeräten war grundsätzlich nur möglich, wo Messbereiche überlappten und geeignete Muster zur Verfügung standen. Das traf z.B. für  $w = 1 \dots 2$  mm für die Messgeräte MeshCheck, G/TIAG-A und die manuelle Fadenzählerlupe zu. Das Diagramm zeigt je Muster zwei Werte für Kette und Schuss. Es wird deutlich, dass die Messwerte für den MeshCheck tendenziell über dem G/TIAG-A liegen. Im diesem Vergleich zeigt der Fadenzähler als Vergleichsinstrument die niedrigsten Werte. MeshCheck liegt (ohne Berücksichtigung der Werte in Muster 2) durchschnittlich 4 % über den Ergebnissen des Fadenzählers, G/TIAG-A um 1,6 %. Der Abstand zwischen den beiden Geräten mit Einzelmaschenmessung beträgt 2,6 % bezogen auf einen fiktiven Mittelwert von  $w = 1.500 \mu\text{m}$ . Das entspricht in etwa der geschätzten partiellen Messunsicherheit für die Streulichtbeleuchtung. Der systematische Charakter ist hier deutlich zu sehen.



Im Bereich von Maschenweiten zwischen  $w = (700 \dots 1.000)$  mm konnte zusätzlich der Pick Counter verwendet werden. Auch bei den geringeren Maschenweiten zeigt sich der systematische Unterschied zwischen MeshCheck und G/TIAG-A. Er verringert sich allerdings auf einen relativen Unterschied von  $< 2 \%$ . Deutlich ist allerdings in diesem Diagramm zu erkennen, dass mit dem automatischen Fadenzähler durchschnittlich geringere Maschenweiten festgestellt werden. Dieses Ergebnis passt nicht zu Aussagen des Herstellers, dass in die Messauswertung eine Angleichung von Ergebnissen mit den manuellen Fadenzählern vorgenommen wurde.



Schließlich wurde der Vergleich auch auf sehr feine Gewebe angewendet. Aufgrund der experimentellen Probleme (Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse möglichst ohne Einfluss des Messobjektes) konnten hier nur wenige Messergebnisse erzeugt werden. Der generelle Trend zeigt sich aber auch hier: MeshCheck lieferte die höchsten Werte, der Pick Counter die niedrigsten. Eine quantitative Berechnung aus diesen wenigen Werten macht hier allerdings keinen Sinn.

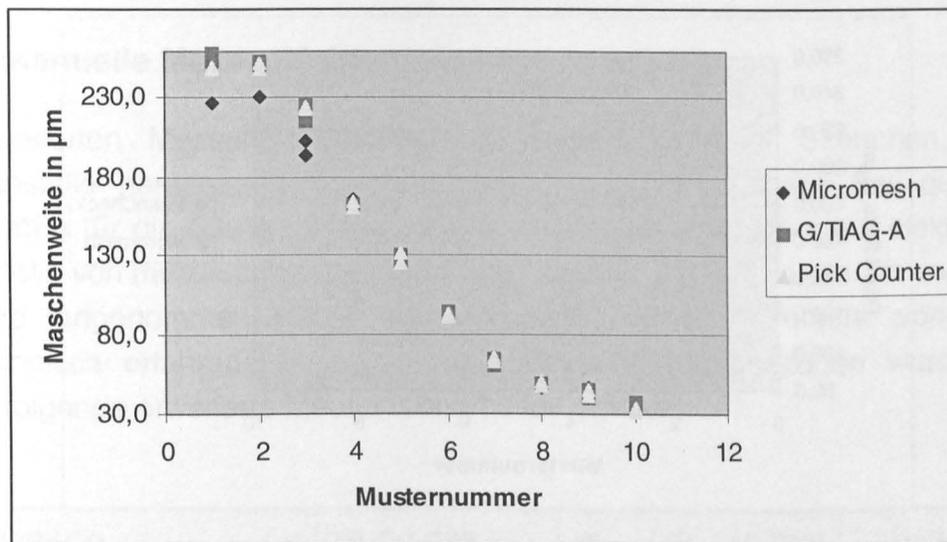


Insgesamt ergibt der Vergleich von MeshCheck und G/TIAG-A, dass mit dem Gerät der Fa. M-Service & Geräte systematisch um etwa 2 ... 3 % größere Maschenweiten festgestellt werden als mit dem Gerät der Fa. Graphikon. Eine mögliche Erklärung könnte die unterschiedliche Realisierung der Objektbeleuchtung (Parallellicht/Streulicht) sein. Betrachtet man insgesamt die festgestellten Spannweiten zwischen den Mittelwerten der einzelnen Geräte, so sind die Unterschiede mit bis zu 9 % bezogen auf einen fiktiven Mittelwert deutlich größer.

Das wiederum deckt sich mit den Feststellungen im Vorfeld des Forschungsprojektes.

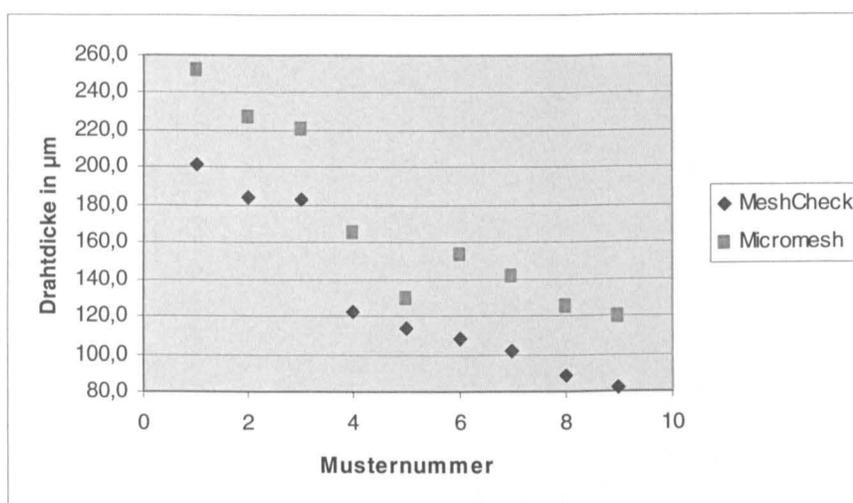
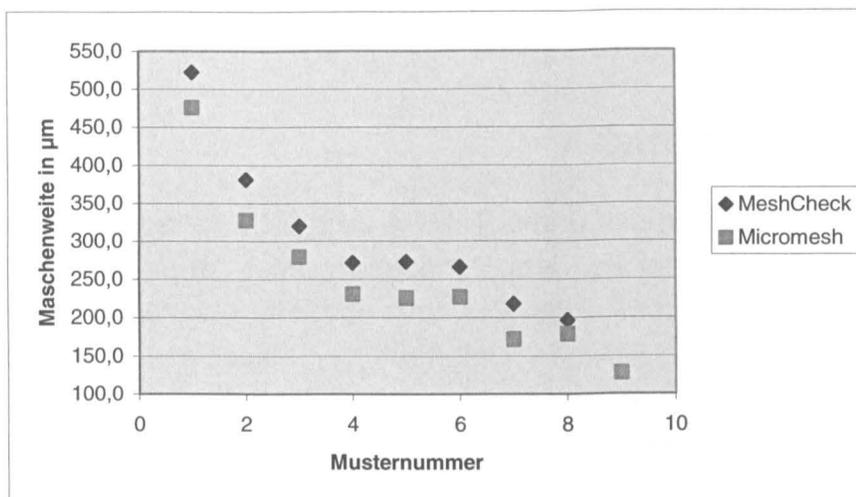
### 7.5.2 Micromesh / G/TIAG-A

Beim Vergleich von Micromesh und G/TIAG-A zeigt sich, dass die durchschnittlichen Messwerte des Gerätes der Fa. Jenoptik deutlich unter denen des Gerätes der Fa. Graphikon liegen. Mit dem Pick Counter wurden wiederum geringere Werte festgestellt als mit dem G/TIAG-A. Unterhalb der Maschenweite von ca. 150 µm wurden jedoch nur noch sehr geringe scheinbare Unterschiede festgestellt. Relativ sind aber auch hier Unterschiede vorhanden. Insgesamt liegt die Differenz bei durchschnittlich etwa 5 % bezogen auf eine fiktive mittlere Maschenweite.



### 7.5.3 MeshCheck / Micromesh

Die beiden folgenden Tabellen zeigen den direkten Vergleich der Messgeräte MeshCheck und Micromesh hinsichtlich Maschenweite und Drahtdurchmesser. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wurden in diesem Fall jeweils die Ergebnisse von Kette und Schuss addiert. Hier wird der oben allgemein beschriebene Unterschied in den Messergebnissen deutlich sichtbar. Mit der MeshCheck werden signifikant größere Maschenweiten und entsprechend kleinere Drahtdurchmesser ermittelt. Im Gegensatz zu den bisherigen Feststellungen liegen die einzelnen Resultate aber mit durchschnittlich etwa 14 % bezogen auf eine fiktive mittlere Maschenweite weiter auseinander.



#### 7.5.4 Fazit der Unterschiede bei den Messgeräten

Die Messwerte der untersuchten Geräte wichen insgesamt in systematischer Weise voneinander ab. Durchschnittlich die höchsten Messergebnisse für die Maschenweite lieferte die MeshCheck der Fa. M-Service und Geräte. Mit dem Gerät Micromesh der Fa. Jenoptik wurden die geringsten Maschenweiten festgestellt. Die anderen untersuchten Instrumente lagen zwischen diesen beiden Extrema.

Im Kapitel 2.2 (Erscheinen eines Problems) war von relativen Unterschieden von ca. 5 % die Rede, die im Bereich der Analysensiebe bereits eine eindeutige Aussage zur Konformität verhindern. Mit der Einbeziehung von zwei Messinstrumenten, von denen keines in die Ausgangsuntersuchung integriert war, verschärft sich das Problem erheblich, indem sich die Spanne zwischen den durchschnittlichen Messwerten im dort betrachteten Bereich von  $w = 125 \mu\text{m}$  etwa verdoppelt, in anderen Maschenbereichen sogar noch stärker auseinander driftet. Das trifft auch zu, obwohl es sich bei den Aussagen zur Konformität von Analysensieben nicht um Einzelmessungen handelt, weil systematische Effekte beobachtet wurden.

In den Untersuchungen der partiellen Messunsicherheiten wurden immer wieder systematische Effekte erkannt. Der Vergleich der Messgeräte zeigte, dass dieser Faktor tatsächlich von besonderer Bedeutung ist. Diese Feststellung legt nahe, dass eine Verbesserung der Geräte hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit bzw. ihres Bezugs auf einen richtigen Wert dringend erforderlich ist.

## 7.6 Erweiterte Messunsicherheiten

In die quantitative Betrachtung der Ergebnisunsicherheiten wurden die Messobjekte nicht einbezogen, um einerseits nicht durch Verwendung dieser eher orientierenden Schätzungen die Qualität der präziseren Resultate zu beeinflussen. Andererseits sollte ein direkter Vergleich mit den Präzisionsdaten möglich sein. Bei diesen Messungen wurde der Einfluss des Messobjektes weitgehend ausgeschlossen.

### 7.6.1 Manuelle Messverfahren

Die erweiterten Messunsicherheiten  $U_w$  wurden für zwei Szenarien, die als Vergleichsfälle herangezogen wurden, berechnet. Der günstige Fall quantifiziert diese Größe für die Situation, dass ein kalibrierter Messschieber mit elektronischer Schnittstelle von messtechnisch erfahrenem Personal bedient wurde. Im ungünstigen Fall wird angenommen, dass ein nicht kalibriertes Instrument von weniger messtechnisch erfahrenem Personal zur Messung herangezogen wurde. Damit wurden folgende erweiterte Messunsicherheiten ermittelt:

Szenario	Auflösung des Messschiebers in mm	$w_{\text{korr}} / d_{\text{korr}}$ in mm	$U_w$ in mm
Maschenweite			
Günstiger Fall	0,01	-	0,066
	0,05	-	0,095
Ungünstiger Fall	0,01	0,14	
	0,05	0,20	
Drahtdicke			
Günstiger Fall	0,01	-	0,032
	0,05	-	0,084
Ungünstiger Fall	0,01	0,06	
	0,05	0,13	

Diese Angaben sind weitgehend unabhängig von der absoluten Maschenweite bzw. Drahtdicke. Lediglich bei Maschenweiten von  $w < 4$  mm, bei vergleichsweise dünnen Drähten im Verhältnis zur Maschenweite sowie ggf. bei weniger stabilen Bindungsarten wie Köper ist mit einem leichten Anstieg der Unsicherheit zu rechnen, weil sich mechanische Probleme bei der Messung ergeben.

Das messende Personal stellte die wesentliche Einflussgrößen auf die Messunsicherheit dar. Weder der Messschieber noch seine Kalibrierung oder die Korrelation einer Größen waren mit diesem Einfluss größenordnungsmäßig vergleichbar. Das galt sowohl für beide Szenarien als auch für beide Auflösungen.

### 7.6.2 Optische Messverfahren

Schon im mathematischen Modell wurde beschrieben, dass die Angabe der Messunsicherheit bei den optischen Messverfahren aufgrund der Verwendung von Vergrößerungsoptiken von Maschenweite  $w$  und Drahtdicke  $d$  abhängig und damit nicht so einfach zu beschreiben war. Für die Darstellung der Ergebnisse wurden daher neben den Szenarienmerkmale immer einige typische Bezugsgrößen für die Maschenweite ausgewählt, für die jeweils eine Quantifizierung vorgenommen wurde.

Als ungünstiger Messfall wurde streuendes Auflicht mit minimaler Leuchtdichte, ohne Subpixelberechnung und Verwendung von nicht telezentrischen Objektiv angenommen. Der günstige Fall quantifiziert die Messunsicherheit für die Situation, dass gerichtetes Durchlicht mit mittlerer Leuchtdichte benutzt, Subpixelberechnung durchgeführt und telezentrische Objektiv verwendet werden. Sowohl die Einflüsse aus dem Messobjekt als auch durch Fremdlicht wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Das galt auch für die Kalibrierung, weil hierfür keine ausreichenden Daten vorlagen. Zwischenwerte wurden durch logarithmische Interpolationen ermittelt.

Szenario	$w$ in mm	$w_{\text{korr}}$ in mm	$U_w$ in mm
Günstiger Fall	1	-	0,049
	0,5	-	0,025
	0,25	-	0,013
	0,0125	-	0,007
	0,063	-	0,004
	0,032	-	0,002
Ungünstiger Fall	1	0,030	0,102
	0,5	0,025	0,061

	0,25	0,020	0,038
	0,0125	0,015	0,024
	0,063	0,010	0,015
	0,032	0,006	0,005

Die wesentlichen Einflüsse aus der Messunsicherheit im weiteren Sinne stammten aus den systematischen Einflüssen. Das betraf vor allem die Lichtzuführung und -ausrichtung zum Messobjekt und die Stabilität der Messsoftware. Die Unsicherheiten aus den zufälligen Schwankungen waren in ihrer Summe erheblich geringer und differierten trotz wesentlicher Unterschiede in den gewählten Szenarien wenig.

### 7.6.3 Zusammenfassung der Daten

Die Angabe eines kombinierten Wertes für den Bereich, in dem Messergebnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit zu finden sind, war über die Angabe einer Spannweite  $S$  aus  $w_{\text{korr}} / d_{\text{korr}}$  und  $U_w / U_d$  möglich. Mit

$$S_w = w_{\text{korr}} + U_w \quad \text{bzw.} \quad S_d = d_{\text{korr}} + U_d$$

wurde ein Bereich abgedeckt, der sich aus dem vollen Betrag von  $w_{\text{korr}}$  bzw.  $d_{\text{korr}}$  und der halben Spannweite von  $U_w$  bzw.  $U_d$  zusammensetzt. Bildlich ergab das die Obergrenze der maximalen Abweichung in Richtung des Vektors  $\varphi$ .

### 7.7 Präzisionsdaten

Die Planung und Durchführung wurde an DIN ISO 5725 und am FGSV-Merkblatt Ringversuche Teil 3 orientiert. Insgesamt 10 Gewebe mit Maschenweiten zwischen 0,06 und 32 mm wurden stabilisiert, die den ganzen betrachteten Bereich abdecken. Hierfür wurde eine Messvorschrift entwickelt und durch mehrere Messungen unter Beteiligung von sechs Personen in der Forschungsstelle für die groben Gewebe erprobt.

Es wurden zwei Gruppen von messenden Stellen beteiligt: 4 Gewebehersteller und 14 Laboratorien. Während die Hersteller als routinierte Prüfer eingeschätzt werden konnten, verfügten die beteiligten Laboratorien nur über mehr oder weniger allgemeines messtechnisches Know-how.

Wesentliches Merkmal des Ringversuchs war, dass den Teilnehmern jeweils identische Muster für Doppelmessungen zur Verfügung gestellt wurden. In der Anlage 3 ist der allgemeine Fragebogen für die Teilnehmer wiedergegeben. Die Anlagen 4a und 4b enthalten Beispiele für die Messvorschriften, nach denen die Messungen im Rahmen des Ringversuchs durchzuführen waren. Da jeweils die selben Muster verwendet wurden, waren keine signifikante Einflüsse des

Messobjektes zu erwarten. Der zeitliche Aufwand für dieses Vorgehen war allerdings so beträchtlich, dass das Projekt um einige Monate verlängert werden musste.

### 7.7.1 Manuelle Messverfahren

In der Vorschrift für die Durchführung der Messungen war nicht die Verwendung eines bestimmten Messinstruments vorgeschrieben worden. Die Teilnehmer verwendeten jedoch in jedem Fall Messschieber für die Muster mit Maschenweite zwischen  $w = (2 \dots 32)$  mm. Da bei dem Gewebe mit  $w_N = 2$  mm die Drahtdicke  $d_N = 0,5$  mm betrug, wurde auch diese Größe mit dem Messschieber ermittelt. Der Einsatzbereich des Messschiebers war daher bei der Ermittlung der Drahtdicke zu beträchtlich kleineren Werten hin verschoben.

#### 7.7.1.1 Wiederholpräzision

Für eine Berechnung der Wiederholgrenze  $r$  nach DIN ISO 5725 lagen mit jeweils 30 Einzelwerten (in Einzelfällen 24) hinreichende Datenmengen vor, die nahezu unter Wiederholungsbedingungen durchgeführt wurden, weil die Unterschiede zwischen den einzelnen Messwerten sehr gering waren. Es ergaben sich Werte für  $r$  im Bereich von  $(0,00 \dots 0,15)$  mm. Üblicherweise müssen solche Daten kritisch bewertet werden, weil die Unabhängigkeit der Werte aus der ersten und der zweiten Messreihe nicht immer gewährleistet ist. Das war offensichtlich auch hier der Fall; denn es traten teilweise sehr niedrige, unplausible Werte auf. Wurden in die Bewertung Daten mit  $r < 0,03$  mm nicht einbezogen, ergab sich für  $w = (2 \dots 32)$  mm ein durchschnittliches Intervall für die Wiederholgrenze von  $r = (0,04 \dots 0,09)$  mm. Die entsprechenden Werte für die Drahtdickenmessungen im Bereich  $d = (0,5 \dots 5)$  mm lagen bei  $r = 0,03$  mm und sind daher – absolut gesehen – durchgehend geringer.

Eine getrennte Auswertung von Daten nach Ablesegenauigkeit war nicht möglich, weil sich mit den analogen Messschiebern in einigen Fällen keine hinreichende Differenzierung der Messwerte ergab.

#### 7.7.1.2 Vergleichpräzision

Für eine Berechnung der Vergleichgrenze  $R$  nach DIN ISO 5725 lagen keine hinreichenden Datenmengen vor. Wenn man den Mittelwert aller Maschen je Muster aus den Teilnehmerergebnissen berechnete, ergaben sich aber sehr ähnliche Werte. Die Spannweiten dieser Mittelwerte lagen bei etwa 0,09 mm über alle Maschenweiten<sup>2</sup>. Die durchschnittliche Zahl der Teilnehmer an den Ausmessungen

---

<sup>2</sup> Das ist ein weiterer deutlicher Hinweis, dass die Verwendung von Messschiebern für alle Maschen eines stabilisierten Gewebeteiles auch bei Vergleichsversuchen zu sehr ähnlichen Ergebnissen führt.

eines spezifischen Musters lag zwischen 7 und 11, durchschnittlich bei 8,8. Der Wert aus der Student-Verteilung für diesen Freiheitsgrad für den gewählten Überdeckungsfaktor von  $k = 1,96$  beträgt  $t \approx 2,27$ . Daraus ergab sich rechnerisch ein Schätzwert für die Maschenweite von  $2R_w' = 0,20$  mm. Mit  $2R_d' = 0,20$  mm ergibt sich durchschnittlich der gleiche Wert für die Drahtdicke.

Die berechneten Daten für Maschenweite und Drahtdicke sind in den Tabellen 3a bis 3e enthalten.

## 7.7.2 Optische Messverfahren

Im Rahmen des Ringversuchs war es den Teilnehmern überlassen worden, welches Messverfahren sie verwenden. Die im folgenden dargestellten Ergebnisse beziehen sich somit weniger auf ein einzelnes Messmittel, wie den Messschieber bei den manuellen Messungen, sondern auf teilweise recht unterschiedliche Methoden. Gemeinsam haben sie aber, dass sie mit optischen Vergrößerungstechniken arbeiten.

### 7.7.2.1 Wiederholpräzision

Für eine Berechnung der Wiederholgrenze  $r$  nach DIN ISO 5725 lagen auch bei den optischen Messungen mit jeweils 30 Einzelwerten hinreichende Datenmengen vor. Es ergaben sich Werte für  $r$  im Bereich von (0,006 ... 0,018) mm. Bei diesen Werten traten keine unplausible Werte auf, so dass diese Spanne für den gesamten Bereich  $w = (0,06 \dots 0,8)$  mm ergab. Die entsprechenden Werte für die Drahtdickenmessungen im Bereich  $d = (0,04 \dots 0,4)$  mm lagen bei  $r = (0,003 \dots 0,010)$  mm und waren daher auch hier durchgehend geringer.

### 7.7.2.2 Vergleichpräzision

Für eine Berechnung der Vergleichgrenze  $R$  nach DIN ISO 5725 lagen auch hier keine hinreichenden Datenmengen vor. Da bei den optischen Messungen eine deutliche Abhängigkeit der Präzision von der Maschenweite bzw. Drahtdicke zu erkennen bzw. zu vermuten war, wurde hier differenziert.

Mittelwert in mm	Spannweite (absolut) in mm	Spannweite (relativ) in %
0,780	0,024	3,1
0,548	0,035	6,4
0,254	0,022	8,6
0,128	0,012	9,4
0,059	0,013	22,0

Während die absolute Spannweite eine mäßige Abhängigkeit von der Maschenweite zeigte, nahm die relative Spannweite mit abnehmender Maschenweite deutlich zu. Berechnet wurde wieder mit der Student-Verteilung eine geschätzte Vergleichsgrenze mit folgendem Ergebnis für die Maschenweite:  $2R_w' = (0,028 \dots 0,086)$  mm im gesamten Bereich  $w = (0,06 \dots 0,8)$  mm. Für die Drahtdicke errechneten sich folgende Werte:  $2R_d' = (0,007 \dots 0,079)$  mm im gesamten Bereich  $d = (0,04 \dots 0,38)$  mm.

Die berechneten Daten für Maschenweite und Drahtdicke sind in den Tabellen 4a bis 4e enthalten.

## 7.8 Plausibilität der Schätzungen

Die Plausibilität der Schätzung der erweiterten Messunsicherheit  $U_w$  konnte auf der Grundlage des Vergleichs mit den Präzisionsdaten auf ihre Plausibilität geprüft werden: Zwischen günstigem und ungünstigem Messfall bei den Messungen mit dem Messschieber betrug der Bereich der Schätzwerte für  $U_w = (0,066 \dots 0,214)$  mm. Aus dem Ringversuch ergab sich eine geschätzte Vergleichsgrenze  $R' = 0,10$  mm. Wenn man berücksichtigt, dass beim Ringversuch ganz überwiegend Messschieber mit einer Auflösung der Anzeige von 0,01 mm verwendet wurden und die Teilnehmer Laboratorien mit messtechnischem Hintergrund waren, ergibt sich eine gute Deckung der Resultate für die manuellen Messungen.

Bei den optischen Messungen mussten die Messunsicherheiten jeweils bezogen auf eine Maschenweite berechnet werden, so dass ein Vergleich nur bereichsweise möglich ist. Der Unterschied zwischen günstigem und ungünstigem Fall lag für  $w = 0,5$  mm zwischen  $S_w = (0,025 \dots 0,061)$  mm, für  $w = 0,063$  mm zwischen  $S_w = (0,004 \dots 0,015)$  mm. Als geschätzte Vergleichsgrenze wurde für  $w = 0,548$  mm ein  $R' = 0,035$  mm errechnet, für  $w = 0,059$  mm betrug  $R' = 0,013$  mm. Damit lagen die im Ringversuch ermittelten Größen innerhalb der Bandbreiten zwischen günstigem und ungünstigem Fall. Vor diesem Hintergrund erscheinen die Ergebnisse plausibel. Weniger plausibel erscheinen die Schätzungen für die sehr kleinen Maschenweiten, weil der Gerätevergleich auf größere Abweichungen hinwies. Für diesen Fall kann angenommen werden, dass hier der Einfluss der Kalibrierung eine besondere Rolle spielt und damit hinsichtlich ihrer Dominanz vor die berücksichtigten Einflüsse treten.

Eine Aussage über die Richtigkeit der Schätzungen für die einzelnen Einflussgrößen bei der Berechnung von  $U_w$  war mit dem gewählten Untersuchungsverfahren nicht möglich. Insgesamt konnte aber die Plausibilität der Schätzwerte für  $U_w$  sowohl für die manuelle als auch für die optische Messung bestätigt werden.

## 7.9 Abschlussbewertung der Validierung

Eine Aussage zur Validierung von Messverfahren für die quantitative Kennzeichnung von Stahldrahtgeweben musste auf der Grundlage der Forschungsergebnisse sehr differenziert ausfallen. Zunächst war die Spanne der untersuchten Produkte hinsichtlich Maschenweite und Drahtdurchmesser sehr groß, dann enthielten drei zentrale Produktnormen deutlich unterschiedliche Anforderungen. Schließlich wurde ein Spektrum an verschiedenen Messmitteln eingesetzt. Eine Bestätigung der Eignung eines bestimmten Messmittels für die Ausmessung von Drahtgeweben sollte aber (eine) Produktnorm(en) und einen jeweils eindeutig definierten Messbereich enthalten. Außerdem war zu berücksichtigen, dass aufgrund sehr unterschiedlicher Kundeninteressen und Vorgaben für die interne Produktionsüberwachung auf der einen Seite auch präzisere als die notwendigen Messverfahren, auf der anderen Seite unpräzisere Messmethoden interessant sein konnten. Das zeigten die Gespräche vor Ort in den Betrieben.

Ein weiterer kritischer Punkt war die Zuweisung von möglichen Messverfahren in der Nähe von Anforderungsgrenzen. Hierzu gibt es eine grundsätzliche Festlegung: Die goldene Regel der Messtechnik besagt, dass die Messunsicherheit mindestens ein Zehntel der Anforderungsspanne betragen sollte. In der Praxis sollte dieser Betrag ein Fünftel, in Grenzfällen maximal ein Drittel nicht überschreiten.

### 7.9.1 Gewebevermessung mit Messschiebern

Das zentrale Kriterium für Aussagen zur Validierung sind die Anforderungswerte an die Produkte. Dazu liegen drei Normen vor (DIN ISO 3310-1, DIN ISO 9044, DIN ISO 14315). In der folgenden Tabelle sind die dargestellten Daten den Zahlen für den jeweils größten zulässigen Einzelwert (+ X) und den maximal zulässigem Mittelwert ( $\pm Y$ ) gegenüber gestellt. Außerdem sind die berechneten erweiterten Messunsicherheiten als Relativdaten für den Vergleich mit den Mittelwerten enthalten.

w in mm	32	16	8	4	2
$U_w$	0,066 ... 0,214				
DIN ISO 3310-1	1,63	0,99	0,60	0,37	0,23
DIN ISO 9044	-	1,92	1,20	0,72	0,46
DIN ISO 14315	2,52	1,60	1,04	0,64	0,40

Die Tabelle zeigt, dass das im Forschungsvorhaben angewendete Messverfahren im Grundsatz für Drahtgewebe mit Maschenweiten von  $w = (2 \dots 32)$  mm nach den genannten Normen – mit einer Ausnahme – geeignet ist, wenn eine Unsicherheit von

einem Fünftel akzeptiert wird. Diese Maßgabe wird allerdings nicht für die Messung von Maschenweiten  $w_N = 2$  mm nach DIN ISO 3310-1 eingehalten, selbst dann nicht, wenn ein günstiger Messfall vorliegt (Ablesegenauigkeit von 0,01 mm, erfahrenes Personal). Die ‚goldene Regel der Messtechnik‘ gilt für den günstigen Messfall klar für Maschenweiten  $w \geq 8$  mm.

Eine entsprechende Aussage für die Messung von Drahtdurchmessern von  $d = (0,9 \dots 4)$  mm erübrigte sich, weil die Produktnormen hier sehr viel weniger spezifisch waren. Beispielsweise bezieht sich DIN ISO 9044 auf den Draht vor dem Verweben und nennt aus diesem Grund keine Toleranzen. DIN ISO 3310-1 für  $w_N = 8$  mm ein Vorzugsmaß  $d_{nom}$  von 2 mm und legt als zulässige Grenzmaße  $d_{max} = 2,3$  mm und  $d_{min} = 1,7$  mm fest. Die tolerierte Spannweite von  $S_d = 0,6$  mm ist somit beim Drahtdurchmesser sehr viel größer als bei der Maschenweite ( $S_w = 0,60$  mm). Lediglich für  $w_N = 2$  mm nach DIN ISO 3310-1 wurde daher geprüft, ob der Messschieber für das Vorzugsmaß von  $d_{nom} = 0,9$  mm bei  $S_d = 0,27$  mm nach den genannten Kriterien einsetzbar war. Auch für diesen Fall musste wegen der Ähnlichkeit der Beträge von  $S_w$  (0,23 mm) und  $S_d$  (0,27 mm) festgestellt werden, dass der Messschieber auch zur Messung des Drahtdurchmessers nach DIN ISO 3310-1 nur als bedingt geeignet angesehen werden musste.

Die Kennwerte für die Wiederholbarkeit der Messwerte lag bei den Geweben mit großen Maschenweiten ( $w = 16$  mm bzw.  $w = 32$  mm) im Bereich der Vergleichbarkeit. Bei geringer werdenden Maschenweiten sank die Wiederholgrenze  $r$  bis auf den Faktor 2 unter die Vergleichgrenze  $R$ . Das heißt, dass die Verwendung von Messschiebern für innerbetriebliche Kontrollen damit im gesamten untersuchten Bereich sinnvoll möglich ist, in diesem Fall einschließlich auch für Gewebe mit Maschenweiten von  $w = 2$  mm ( $r = 0,01 \dots 0,08$  mm).

### 7.9.2 Validierung der Gewebevermessung mit optischen Verfahren

In den beiden Produktnormen DIN ISO 3310-1 und DIN ISO 9044 werden Anforderungen an die größten zulässigen Einzelwerte  $+X$  für die jeweiligen Maschenweiten gestellt. In der folgenden Tabelle sind diese Zahlen den berechneten erweiterten Messunsicherheiten gegenübergestellt:

<b>w in mm</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,25</b>	<b>0,125</b>	<b>0,063</b>	<b>0,032</b>
$S_w$ in mm	0,049 ... 0,102	0,025 ... 0,061	0,013 ... 0,038	0,007 ... 0,024	0,004 ... 0,015	0,002 ... 0,05
DIN ISO 3310-1	0,14	0,089	0,058	0,038	0,026	0,019
DIN ISO 9044	0,28	0,18	0,115	0,076	0,052	0,032

Aus der Tabelle wird deutlich, dass die verwendeten Geräte in günstigen Messfällen sowohl für die Ermittlung der Maschenweite nach DIN ISO 9044 als auch nach der strengeren DIN ISO 3310-1 erfüllen können. Grundsätzlich erscheint die optische Methode also als geeignet für derartige Messungen. Die Voraussetzungen für die erfolgreiche Validierung eines konkreten Verfahrens sind damit gegeben. Die Unsicherheiten aus dem ungünstigen Messfall sind dagegen so groß und die Ergebnisse aus dem Vergleich der marktgängigen Messgeräte so divergent, dass erhebliche Zweifel an der Vergleichbarkeit der Ergebnisse bestehen bleiben. Das gilt nur eingeschränkt für die Drahtdicke, weil hier die Toleranzbereiche viel größer sind als bei der Maschenweite. Die scheinbar günstigen Werte für  $S_w$  für die sehr kleinen Maschenweite könnten, wie oben beschrieben, weniger realistisch sein, so dass die allgemeine Aussage auch hier gilt.

Die Kennwerte für die Wiederholbarkeit der Messwerte lagen bei den Geweben mit kleineren Maschenweiten durchgängig deutlich besser als die der Vergleichbarkeit. Auch hier spielte im Mittel wiederum der Faktor 2 zwischen  $r$  und  $R$  eine Rolle. Eine Übersicht zeigt die folgende Tabelle.

<b>w in mm</b>	<b>0,780</b>	<b>0,558</b>	<b>0,254</b>	<b>0,128</b>	<b>0,063</b>
r in mm	0,005 ... 0,039	0,001 ... 0,035	0,003 ... 0,051	0,000 ... 0,014	0,000 ... 0,017
DIN ISO 3310-1	0,14	0,089	0,058	0,038	0,026
DIN ISO 9044	0,28	0,18	0,115	0,076	0,052

Für die Praxis heißt das, dass die Verwendung der optischen Messverfahren für innerbetriebliche Kontrollen im gesamten untersuchten Bereich in vielen Fällen sinnvoll ist. Die ermittelten Obergrenzen lagen meist niedriger als die Zahlen für die Vergleichsgrenze. Wenn man zudem berücksichtigt, dass die am Ringversuch beteiligten Gewebhersteller meist deutlich unter dem Gesamtmittel der Teilnehmer lagen, haben sich die optischen Verfahren für die Produktionskontrolle als im Wesentlichen geeignet erwiesen.

### 7.9.3 Rückverfolgung der Messergebnisse

Die Verwendung von zweidimensionalen Vergleichskörpern stellt keine akzeptable Rückführung der Messungen auf ein Längennormal dar, weil mit ihr insbesondere nicht die Phänomene der Messobjektbeleuchtung erfasst werden. Die Randeffekte am Draht, die durch die Beleuchtung entstehen, können in den flächigen Maßstäben nicht simuliert werden. Daher wird voraussichtlich nur eine Kalibrierung mit

dreidimensionalen Normalen zu vergleichbaren Ergebnissen führen, wenn nicht insgesamt eine gleichartige Messtechnik entwickelt bzw. für Schiedsuntersuchungen vereinbart wird.

#### 7.9.4 Angabe der Ergebnisse

Die Angabe der Ergebnisse bei den untersuchten Geräten war sehr unterschiedlich. In der Mehrzahl der Fälle wurden offensichtlich Stellen angegeben, die inhaltsleer waren. Auf der Grundlage der Resultate aus diesem Projekt war eine Berechnung der Anzahl der Stellen auf methodischer Basis möglich (Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen; Teil 6, 2004).

a) Manuelle Messverfahren: Mit  $U_{w, \min} = 0,066$  mm und  $U_{w, \max} \dots 0,214$  mm für Messungen mit dem Messschieber lässt sich eine Berechnung für dieses Verfahren durchführen. Mit Bezug auf die Stellenzahl für Einzelwerte ergibt sich:

$$\sigma_{w, \min} = \frac{U_{w, \min}}{k} \text{ bzw. } \sigma_{w, \max} = \frac{U_{w, \max}}{k}$$

$$a_1(x_i) = 0,6 \cdot \frac{U_{w, \min}}{k} \text{ bzw. } a_2(x_i) = 0,6 \cdot \frac{U_{w, \max}}{k}$$

Die Angabe erfolgt hiernach auf zwei Nachkommastellen ( $a_1(x_i) = 0,02$ ;  $a_2(x_i) = 0,066$ ). Während dieses Resultat für Messschieber mit einer Auflösung von 0,01 mm trivial erscheint, ist es mit Messschiebern einer Auflösung von 0,05 mm nur realisierbar, wenn die Ablesung auch auf Zwischenwerte erfolgt. Ist das nicht der Fall, können die Ergebnisse nur bedingt für die Bildung eines arithmetischen Mittelwertes verwendet werden: Die Auflösung ist in diesem Fall zu grob. Als Stellenzahl für die Standardabweichung ergeben sich für den gesamten Bereich z.B. für 30 Messungen drei Nachkommastellen, so dass allgemein für die manuellen Messverfahren gelten kann:

$$W_{\text{manuell}} = \text{xxxx,yy} \pm \text{xx,yyy} \text{ (für } w \geq 2 \text{ mm)}$$

b) Optische Messverfahren:

Die Berechnung für das manuelle Verfahren können auf das optische in gleicher Weise übertragen werden. Für den Fall, dass  $U_w < 0,033$  mm ist, sollten drei Nachkommastellen für die Maschenweite und vier Kommastellen für die Standardabweichung angegeben werden.

$$W_{\text{optisch}} = \text{xxx,yyy} \pm \text{xx,yyyy} \text{ (für } w < 0,033 \text{ mm)}$$

### 7.9.5 Unsicherheit des gewählten Modells

In den letzten Jahren wurde das GUM-Modell aufgrund von methodischen Schwächen in einzelnen Bereichen diskutiert und alternative Methoden beschrieben. Zwei zentrale Argumente in diesen Diskussionen sind fehlende Beschreibungen von Vorgehensweisen für die Gestaltung des mathematischen Modells und für Annahmen zur erwarteten Wahrscheinlichkeitsverteilung (SOMMER et al. 2004). Beide Punkte sind auch für die Berechnungen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens relevant.

Das verwendete mathematische Modell weicht mit seinen Annahmen praktisch nicht von der Ausgangsformel des GUM ab. Das betrifft zwar nicht den Term

$$w_{korr} = w_N \cdot \sum_{j=1}^n \varphi_j \cdot a_j, \text{ aber durch die Wahl eines ‚günstigen‘ und eines ‚ungünstigen‘}$$

Falles sowie der Berücksichtigung von Messunsicherheiten, die aus der Korrektur von systematischen Abweichungen resultieren, ist die Formel GUM-konform. Für das Projekt stellte diese Schwäche des GUM daher kein Problem dar.

Hinsichtlich der Annahmen zur Wahrscheinlichkeitsverteilung konnte wenig auf Vergleichswerte und Erfahrungen zurückgegriffen werden. Eine Hilfestellung durch den GUM ist kaum vorhanden. In dieser Hinsicht wurde eine Schwäche der Methode in das Projekt eingetragen. Variationen bei den Annahmen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeitsverteilung zwischen Normal- ( $b = 1$ ), Rechteck- ( $b = 3$ ) und Dreieckverteilung ( $b = 6$ ) führen zu Schwankungen der Resultate für  $U_w$  etwa um den Faktor 2. Die aktuelle Forschung geht dieses Problem mit Modellierungen z.B. auf der Grundlage von Monte-Carlo-Verfahren an.

### 7.10 Messung vs. Prüfung

Im Kern ist der Unterschied zwischen Messung und Prüfung, dass die Prüfung verfahrensabhängig ist, d.h. dass der Ablauf des Verfahrens wesentlich das Prüfergebnis beeinflusst. Im Rahmen dieses Projektes war eine solche Abhängigkeit deutlich zu erkennen. Bei der Verwendung von Messschiebern zeigt sich das vor allem am Einfluss des ausführenden Personals auf die Messunsicherheit. Bei den optischen Verfahren waren es einige relevante Einflussgrößen, insbesondere die Beleuchtung des Messobjektes, die die Verfahrensabhängigkeit der Ergebnisse kennzeichnen. Die Vermessung von Drahtgeweben ist daher tendenziell eher eine Prüfung als eine Messung.

## 8 Was kann man mit den Ergebnissen anfangen?

Die qualitativen und halbquantitativen Erfahrungen der Gewebehersteller im Umgang mit Toleranzen in Produktnormen wie DIN ISO 9044 oder DIN ISO 3310-1 konnten im Rahmen dieses Forschungsprojektes bestätigt und quantifiziert werden. Durch die Wahl der analytischen Untersuchung der Messunsicherheiten im Forschungsansatz konnten die Schwächen der eingesetzten Messgeräte aufgeklärt werden. Mit dem Ringversuch konnten die Messverfahren in toto charakterisiert werden.

### 8.1 Hersteller von Stahldrahtgeweben („first party“)

Für die Gewebehersteller ergeben sich damit im wesentlichen folgende Ergebnisse und Konsequenzen:

- Die Vermessung von Stahldrahtgeweben mit Maschenweiten von mehr als 4 mm und Drahtdicken von mehr als 0,5 mm nach den gängigen Produktnormen liefert grundsätzlich brauchbare Ergebnisse. Eine wesentliche Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Resultate ist, dass bei der Messung ein Messverfahren angewandt wird, das hinreichend detailliert beschrieben ist. Die Vorgaben der Produktnormen sind ausreichend, wenn allgemeine messtechnische Erfahrung vorliegt.
- Ergebnisse aus Messungen mit Messschiebern bei Maschenweiten zwischen 2 mm und 4 mm, die für den Vergleich mit Anforderungen der DIN ISO 9044 oder DIN ISO 14315 herangezogen werden, sind im allgemeinen brauchbar, wenn eine geeignete Messbeschreibung vorliegt und ein kalibriertes Messgerät mit einer Auflösung von 0,01 mm verwendet wird. Wenn DIN ISO 3310-1 als Vergleichsbasis herangezogen wird, sind eher zweifelhafte Ergebnisse zu erwarten, wenn nicht besondere Anstrengungen zur Reduzierung der Messunsicherheit unternommen werden.
- Am Markt angebotene optische Messgeräte für Maschenweiten unter 2 mm und entsprechende Drahtdicken sind im allgemeinen für betriebsinterne Messungen zur Kontrolle der Konstanz der Produktion geeignet. Eine betriebsexterne Verwendung dieser Messergebnisse ist dagegen nur mehr oder weniger stark eingeschränkt praktizierbar, weil die untersuchten Geräte systematisch voneinander abweichende Resultate produzieren.
- Unter anderem auf der Grundlage der Forschungsergebnisse ist es möglich ggf. abweichende Ergebnisse, z.B. im Rahmen der Bearbeitung von Reklamationen, ein von beiden Seiten akzeptiertes Messverfahren zu vereinbaren. Der Gewebehersteller könnte im Vorfeld auch auf Messverfahren für Streitfälle in seine Allgemeinen Geschäftsbedingungen aufnehmen.

## 8.2 Kunden („second party“)

Für Kunden auf dem Stahldrahtgewebemarkt könnten die Ergebnisse in folgender Hinsicht nützlich sein:

- Eine gute Vergleichbarkeit von Messwerten an Geweben mit Maschenweiten von mehr als 4 mm (DIN ISO 3310-1) bzw. 2 mm (DIN ISO 9044, DIN ISO 14315) ist unter Beachtung üblicher Sorgfaltspflichten gewährleistet.
- Bei Produkten mit Maschenweiten von weniger als 2 mm können Probleme mit der Vergleichbarkeit der Ergebnisse vorhanden sein. In Zweifelsfällen sollten die jeweils angewendeten Messverfahren in die Beurteilung einbezogen werden. Wenn Schiedsuntersuchungen vereinbart werden, sollte ein Verfahren mit guten Wiederholgrenzen herangezogen werden.
- In der Wareneingangskontrolle sollten beschriebene Messverfahren vorliegen und angewendet werden. Das dient einerseits der Klarheit der Ergebnisse, andererseits ist die Datenbasis für (zeitaufwändige) Reklamationen besser.

## 8.3 Stellen zur Konformitätsbewertung („third party“)

Die durchgeführten Forschungsarbeiten haben starken Bezug auf Normen, auf deren Grundlage Aussagen zur Konformität von Produkten gemacht werden, insbesondere für Analysensiebe. Damit sind auch Tätigkeiten von Stellen zur Bewertung der Konformität von Produkten betroffen. Mit dem Forschungsprojekt wurde folgendes deutlich:

- Es trifft in der Praxis nicht immer zu, dass die allgemein akzeptierte Voraussetzung, wonach genormte Verfahren a priori als validiert angenommen werden können, richtig ist. Der untersuchte Fall macht deutlich, dass die allgemeine Annahme in speziellen Fällen falsch sein kann (HINRICHS 2003 (1)). Ein allgemeiner Widerspruch gegen diese Praxis wäre allerdings nicht gerechtfertigt, weil die a-priori-Validierung in vielen Fällen wesentliche Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der Handlungsfähigkeit der Stellen ist. Mit den Ergebnis dieses Projektes ist aber nachgewiesen, dass die Annahme für diesen speziellen Fall teilweise nicht gilt (Falsifikation). Bei einer Konformitätsbewertung von feinmaschigen Analysensieben muss diese Situation berücksichtigt werden.
- Eine Rückführung der Messergebnisse auf ein ‚zweidimensionales‘ Längennormal, wie es derzeit der Stand der Technik bei der Kalibrierung von optischen Gewebemessgeräten ist, liefert keinen hinreichenden Nachweis für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

## 8.4 Hersteller von Messgeräten

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurde eine Reihe von Einflussgrößen auf die Messunsicherheit spezifiziert, die als Ansatzpunkte für eine Optimierung der Messgeräte verwendet werden können. In vielen Fällen macht das aber nur Sinn, wenn eine betriebsexterne Verwendung vom Gerätehersteller gewünscht wird bzw. wenn der Kunde des Geräteherstellers das Instrument nicht für betriebsinterne Gewebekontrollen sondern für Vergleichszwecke einsetzen möchte. Einige Optimierungspotentiale an den Messgeräten sind deutlich erkennbar (HINRICHS et al. 2004):

- Maßgeblichen Einfluss auf die mangelnde Vergleichbarkeit der Ergebnisse haben Unterschiede nicht nur in der Hardware (Beleuchtung des Messobjektes, optisches System usw.) und teilweise in der Software sondern auch die Stabilität des gesamten Messsystems hinsichtlich der Konstanz unter Wiederholbedingungen.
- Die Verwendung von zweidimensionalen Vergleichskörpern stellt keine akzeptable Rückführung der Messungen auf ein Längennormal dar.
- Keines der untersuchten Geräte hielt die Messvorschriften der Produktnorm ISO 3310-1 vollständig ein bzw. konnte sie in der vorhandenen Bauform konstruktiv einhalten, zumindest nicht hinsichtlich der Auswahl der Maschen.

## 9 Symbole

$w$ : Maschenweite

$d$ : Drahtdicke

$w_N$ : Nennmaschenweite

$\sigma$ : Standardabweichung

$a$ : Spannweite einer geschätzten Streuung

$a_i$ : Spannweite einer geschätzten Streuung bezogen auf zufällige Einflussgrößen

$a_j$ : Spannweite einer geschätzten Streuung bezogen auf systematische Einflussgrößen

$b$ : Wahrscheinlichkeitsverteilung

$\varphi$ : Richtungsvektor

$k$ : Überdeckungsfaktor

$U$ : Erweiterte Messunsicherheit

$U_w$ : Erweiterte Messunsicherheit bezogen auf die Maschenweite

$U_d$ : Erweiterte Messunsicherheit bezogen auf die Drahtdicke

$S_w$ : Spannweite bezogen auf die Maschenweite

$S_d$ : Spannweite bezogen auf die Drahtdicke

$r$ : Wiederholgrenze

$R$ : Vergleichgrenze

$R_w^{\wedge}$ : Vergleichgrenze bezogen auf die Maschenweite

$R_d^{\wedge}$ : Vergleichgrenze bezogen auf die Drahtdicke

## 10 Danksagung

Die erfolgreiche Durchführung des Forschungsvorhabens war nur durch die intensive Zusammenarbeit mit den beteiligten Gewebeherstellern möglich. Ihnen sei hier für die sehr konstruktive Mitgestaltung gedankt.

Gedankt auch den Herstellern der Messgeräte wegen der Bereitstellung von Messgeräten und die Einführung in die Bedienung. Dadurch war ein starker Bezug auf den Stand der Technik der Gewebevermessung möglich, der wesentlich war für die praktische Umsetzungsmöglichkeiten der Ergebnisse des Forschungsvorhabens. Sie sind in Anlage 5 genannt.

Die Messungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) haben die Aussagekraft der Forschungsergebnisse durch einen Bezug auf die Richtigkeit der Ergebnisse erhöht. Den beteiligten Mitarbeitern sei hier für die sehr entgegenkommende Beteiligung gedankt.

Schließlich sei noch gedankt den Teilnehmern am Ringversuch, den Mitgliedern in den Gremien FGSV-Ausschuss 9.10 (Statistische Auswertung von Prüfergebnissen) und EA Expert Group on Measurement Uncertainty in Testing sowie allen sonstigen Personen, die mit ihren Ideen zum Erfolg des Projektes beigetragen haben.

## 11 Literatur

### 11.1 Einzelbeiträge

Abdul-Maula, S.; Görke, R.; Hinrichs, W.

Analysensiebe – Die neue ISO 3310

GIT Labor-Fachzeitschrift (2001) 5, 526-528

Breuckmann, Bernd

Bildverarbeitung und optische Messtechnik in der industriellen Praxis

Franzis München 1993

Brinkmann, R,

Ermittlung der Messunsicherheit beim Kalibrieren von Messschiebern

VDI-Berichte Nr. 1867, 2004, 57-66

Brüggemann, Cord

Die optimierte dreidimensionale Bildaufnahme

Berichte der Technischen Optik 35, Berlin 2001

Chapman, G.D.; Butland, R.A

Fourier transform method for the verification of wire screens for standard sieves

Journal of Physics E, 06/1977, vol. 10, no. 6, 621-626

Domeyer, Martina

Entwicklung eines bildangepassten Kantendetektors zur Erkennung feiner Bildstrukturen

Forschungsbericht 95-19, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V.Göttingen 1995

Fajgeli, A.; Ambrus, A. [Hrsg.]

Principles and Practices of Method Validation

Cambridge 2000

Harscheidt, M.

Das Moiréprinzip und seine praktische Nutzung in der Textilprüfung

Textilbetrieb (1976) 3, 46-49

Hinrichs, W.; Kielhorn, L.; Görke, R.

Validierung von Messverfahren für die Kennzeichnung von Stahldrahtgeweben

VDI-Berichte 1867, 75-83, Düsseldorf 2004

Hinrichs, W.

Information on measurement uncertainty in product and test standards

Accreditation and Quality Assurance (2003) 8:569-575

Forschungsbericht ‚Vermessung von Stahldrahtgeweben‘

Hinrichs, W.

Example for estimating the measurement uncertainty in building materials testing (aggregates), January 2003

[http://141.63.4.16/docs/EL\\_04-11\\_03\\_419.pdf](http://141.63.4.16/docs/EL_04-11_03_419.pdf)

Hinrichs, W.

Analysensiebe kalibrieren – Ergebnisse eines Ringversuchs für die Charakterisierung eines Kontrollmaterials

Materialprüfung 41 (1999) 11/12, 474-481

Hoffmann, Jörg

Handbuch der Messtechnik

München, Wien: Hanser 1999

Holve, D.J.

Correlation light scattering particle sizing results with sieving results

Powder and Bul Engineering (1994) 2, 43-49

Junge, H.P.; Kneer, H.

Ein automatisiertes Messgerät für die Prüfung von Drahtsiebböden in Analysensieben

Aufbereitungs-Technik 20 (1979) 7, 374-382

Koch, Alexander W. [Hrsg.]

Optische Messtechnik an technischen Oberflächen

Renningen-Malmsheim 1998

Leuenberger, Rolf

Automatische Gewebeinspektion mit Hilfe neuronaler Netzwerke

Dissertation Nr. 11826 der ETH Zürich 1996

Lipka, Karel

Stahldrahtgewebe für den Siebdruck in der Feinleitertechnik

Veranstaltung ‚Der Siebdruck in der Leiterplattentechnik und in der Oberflächenmontage‘

Fellbach, 5./6. April 1990

Litfin, Gerd [Hrsg.]

Technische Optik in der Praxis

Springer Berlin Heidelberg 1997

Litzba, F.; Oltzcher, W.; Zeyer, C.

Die Wirklichkeit zuverlässig abbilden

QZ Qualität und Zuverlässigkeit 43 (1998) 4

Meier, R.; Uhlmann, J.; Leuenberger, R. (F)  
Automatisches Qualitäts-Inspektionssystem für Gewebe  
Melliand Textilberichte 80 (1999) 5, 366-370

Meister, Gerhard; Thiemer, Rolf; Lenski, Gerhard  
Ein automatisch messendes und registrierendes lichtelektronisches Feinmeßgerät  
zur Vermessung der Teilung von Präzisionsdrahtgeweben und sonstigen Gittern  
Jenaer Rundschau 9 (1964) 3, 143-147

Morkowski, J.S.  
Characterisation and validation of test methods  
Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Eurolab Symposium 446-462, Berlin 1996

Pfeifer, Tilo  
Fertigungsmesstechnik  
München, Wien; Oldenbourg 2001

Pitsch, H.; McCartney, K.;  
Exakt durchgefallen – Zuverlässigkeit durch Siebung  
Die Naturstein-Industrie (2001) 1, 33-35

Profos, Paul.; Pfeifer, Tilo [Hrsg.]  
Handbuch der industriellen Messtechnik  
München, Wien: Oldenbourg 1994

Schmalfuß, H.; Schinner, K.-J.  
Automatische Gewebeschau direkt an der Maschine  
Melliand Textilberichte 80 (1999) 6, 499-500

Sommer, K.D.; Siebert, B.R.L.; Weckenmann, A.  
Modulares Modellieren von Messungen und Kalibrierungen für die  
Messunsicherheitsbewertung  
VDI-Berichte 1867, 289 - 310, Düsseldorf 2004

Windecker, Robert  
Optische Topometrie im Grenzbereich zwischen mikroskopischer und  
makroskopischer Formvermessung  
Berichte aus dem Institut für Technische Optik der Universität Stuttgart, April 1998

Wulfhorst, Burkhard  
Textile Fertigungsverfahren – eine Einführung  
München, Wien 1998

## **11.2 Produktnormen**

### **11.2.1 Gewebe**

DIN ISO 565:1998-12

Analysensiebe; Metalldrahtgewebe, Lochplatten und elektrogeformte Siebfolien;  
Nennöffnungsweiten

DIN ISO 2194:1998-12

Industriesiebböden; Drahtgewebe, Lochplatten und elektrogeformte Siebfolien;  
Bezeichnung und Nennöffnungsweiten

DIN ISO 2395:1999-01

Analysensiebe und Siebanalyse; Begriffe

DIN ISO 3310-1, Ausgabe:2000-07

Analysensiebe - Anforderungen und Prüfungen - Teil 1: Analysensiebe mit  
Metalldrahtgewebe

DIN ISO 3310-2, Ausgabe:1999-08

Analysensiebe - Anforderungen und Prüfung - Teil 2: Analysensiebe mit Lochblechen

DIN 4185-1:2000-05

Begriffe und Kurzzeichen für Siebböden – Teil 1: Gewebesiebböden

DIN 4185-2:2000-05

Begriffe und Kurzzeichen für Siebböden – Teil 2: Lochplatten

E DIN 4185-2:2002-04, Beiblatt 1

Begriffe und Kurzzeichen für Siebböden – Teil 2: Lochplatten, Beispiele zur  
Anwendung in anderen technischen Industriebereichen

DIN 4185-3:2000-05

Begriffe und Kurzzeichen für Siebböden – Teil 3: Gewebeähnliche Siebböden,  
Spaltsiebböden und Roste

DIN ISO 4782:1993-10

Metalldraht für industriell genutzte Siebgewebe

DIN ISO 4783-1:1996-10

Drahtgewebe und Drahtgitter für industrielle Zwecke; Leitfaden zur Auswahl von  
Kombinationen aus Maschenweite und Drahtdurchmesser; Teil 1: Allgemeines

DIN ISO 4783-2:1996-10

Drahtgewebe und Drahtgitter für industrielle Zwecke; Leitfaden zur Auswahl von

Kombinationen aus Maschenweite und Drahtdurchmesser; Teil 2:  
Vorzugskombinationen für Drahtgewebe

DIN ISO 4783-3:1996-10

Drahtgewebe und Drahtgitter für industrielle Zwecke; Leitfaden zur Auswahl von  
Kombinationen aus Maschenweite und Drahtdurchmesser; Teil 3:  
Vorzugskombinationen für vorgeformte oder pressgeschweißte Drahtgitter

DIN EN ISO 9000:2000-12

Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe

DIN ISO 9044, Ausgabe:1999-08

Industriedrahtgewebe - Technische Anforderungen und Prüfung

DIN ISO 9045:1998-12

Siebe und Siebung für industrielle Zwecke

DIN ISO 14315, Ausgabe:1997-11

Drahtgitter für industrielle Zwecke - Technische Anforderungen und Prüfungen

ASTM E 11 – 01:2001

Standard Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes

### **11.2.2 Messtechnik**

DIN 862

Messschieber

DIN 2257-1, Ausgabe:1982-11

Begriffe der Längenprüftechnik; Einheiten, Tätigkeiten, Prüfmittel; Messtechnische  
Begriffe

DIN 2257-2, Ausgabe:1974-08

Begriffe der Längenprüftechnik - Fehler und Unsicherheiten beim Messen

DIN 2272-1, Ausgabe:1985-08

Anforderungen an Prüfmittel der Längenprüftechnik; Hilfsmittel

DIN EN 10204:2005-01

Metallische Erzeugnisse - Arten von Prüfbescheinigungen

DIN 32937-1:2000-04

Prüfmittelüberwachung - Teil 1: Längenprüftechnik

DIN-Taschenbuch 303, Längenprüftechnik 1,

Ausgabe:2001-04

DIN-Taschenbuch 197, Längenprüftechnik 2,  
Ausgabe:2002-01

DIN-Taschenbuch 11, Längenprüftechnik 3,  
Messgeräte, Messverfahren, Normen, Ausgabe:2000-10

### **11.2.3 Sonstige Unterlagen**

ISO/TAG4:January 1993  
Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement

FD X 07-021 (ohne Datum)  
Aid in the procedure for estimating and using uncertainty in measurements and test results

Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen; Teil 3: Planung, Organisation und Durchführung von Ringversuchen  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Fassung November 2004 der Überarbeitung der Ausgabe von 1979

Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen; Teil 6: Bestimmung der geeigneten Stellenzahl für die Angabe von Prüfergebnissen und daraus abgeleiteten Kenngrößen, Ausgabe 2004

DIN EN 932-5:2000-01  
Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 5:  
Allgemeine Prüfeinrichtungen und Kalibrierung

DIN EN 10204:1995-08  
Metallische Erzeugnisse; Arten von Prüfbescheinigungen

DIN 53883:1983-12  
Prüfung von Textilien; Bestimmung der Maschenreihenanzahl, Maschenstäbchenanzahl und Maschendichte von Gewirken und Gestriicken

DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH  
DAP-TM 10; Anwendung der Rückführung bei Analysensieben  
Berlin 2002

Graphikon  
Siebmessung zur Prüfung von Analysesieben, Version 3.0, Benutzerhandbuch  
Berlin, 12.2002

Jenoptik-Gruppe  
MicroMesh<sup>®</sup> Mikromesssystem für technische Gewebe, Version 2.1  
(ohne Angabe des Erscheinungsdatums)

Werth Messtechnik GmbH  
Bedienungsanleitung Messprogramm K2000 – A577 –  
Gießen 1994

### **11.3 Patente**

Offenlegungsschrift 21 04 916 vom 17. August 1972  
Maschenweite-Messvorrichtung für Siebgewebe u. dgl.

Offenlegungsschrift DE 44 08 722 A 1 vom 21. September 1995  
Gewebemessgerät

## Anhang

### I. Fotos

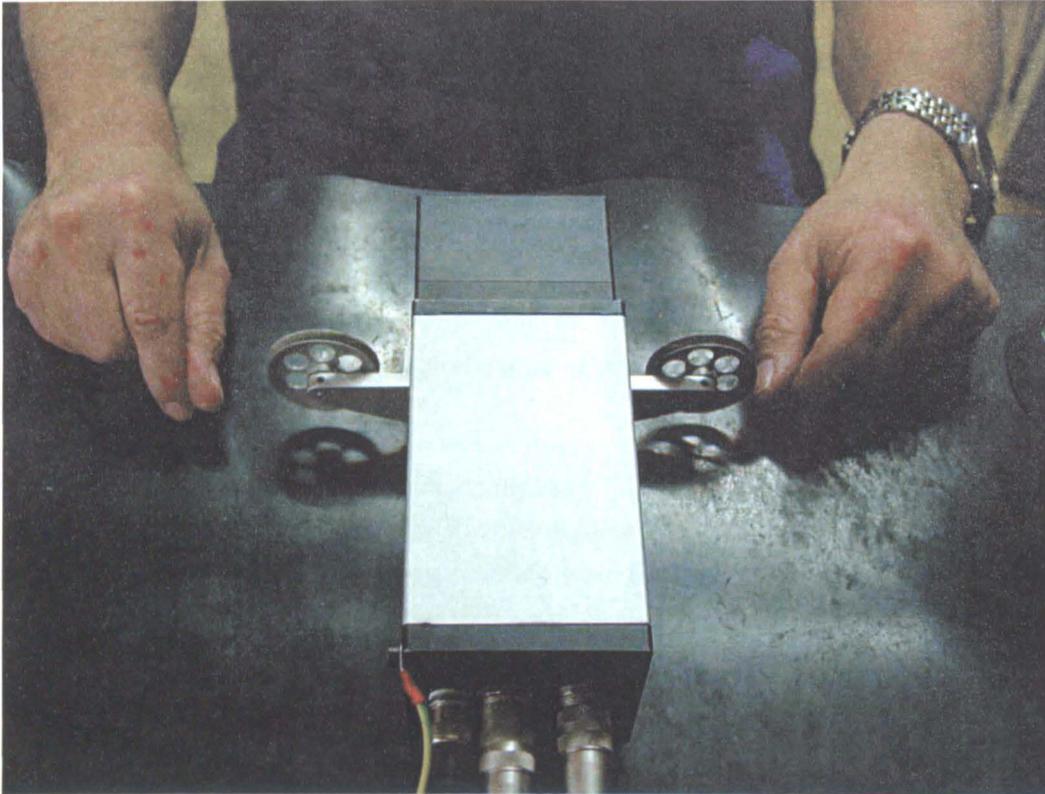
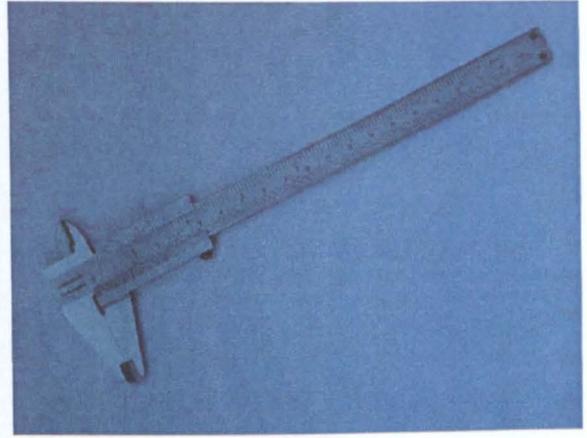


Bild 1: Wareneingangskontrolle Drahtdurchmesser bei einem Gewebhersteller

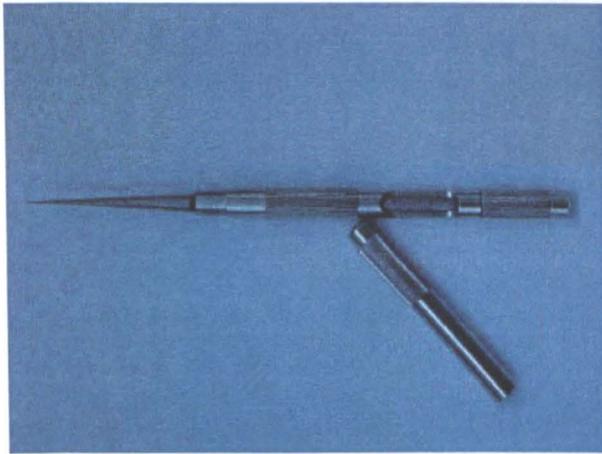


Bild 2: Kontrolle an einem Gitterprodukt

Forschungsbericht ‚Vermessung von Stahldrahtgeweben‘



Bilder 3a/b: Im Rahmen des Forschungsprojektes verwendete Messschieber



Bilder 4a/b: Messdorne



Bild 5: Tyler-Messer

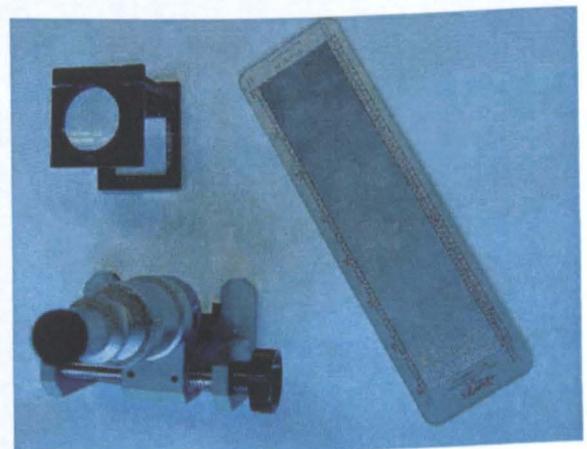


Bild 6: Messlupe, Lunometer und Fadenzähler



Bild 7: FX 3250 Pick Counter der Fa. TexTest

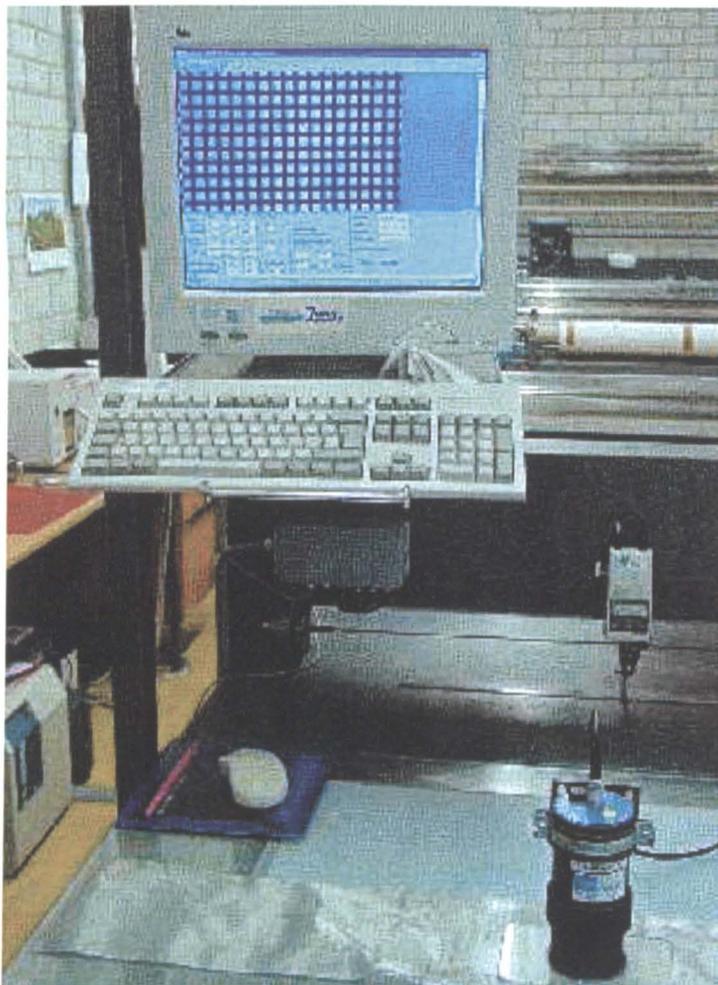
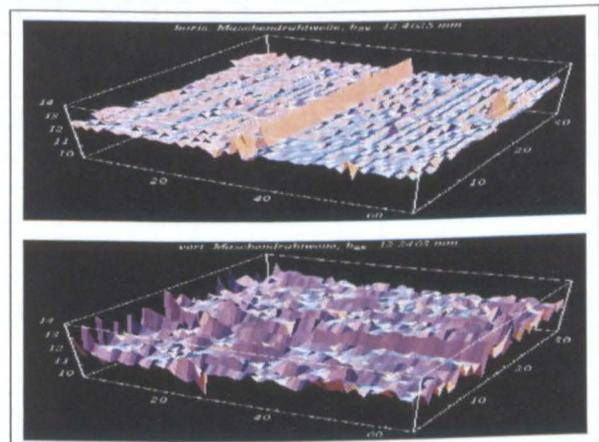
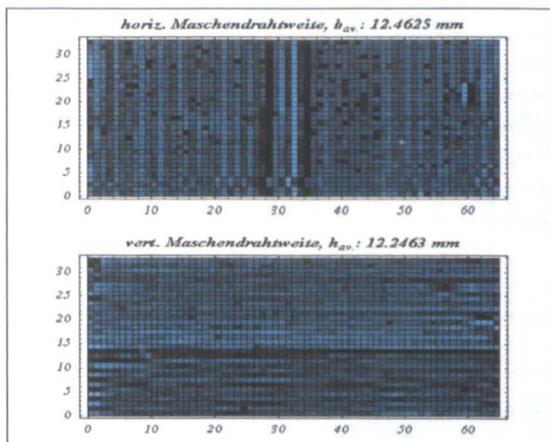


Bild 8: Micromesh-Gerät bei einem Gewebehersteller

Forschungsbericht ‚Vermessung von Stahldrahtgeweben‘



Bild 9: Eigenbaugerät der MPA Braunschweig



Bilder 10a/b: Texturen in einem groben Gewebe in zwei- und dreidimensionaler Darstellung

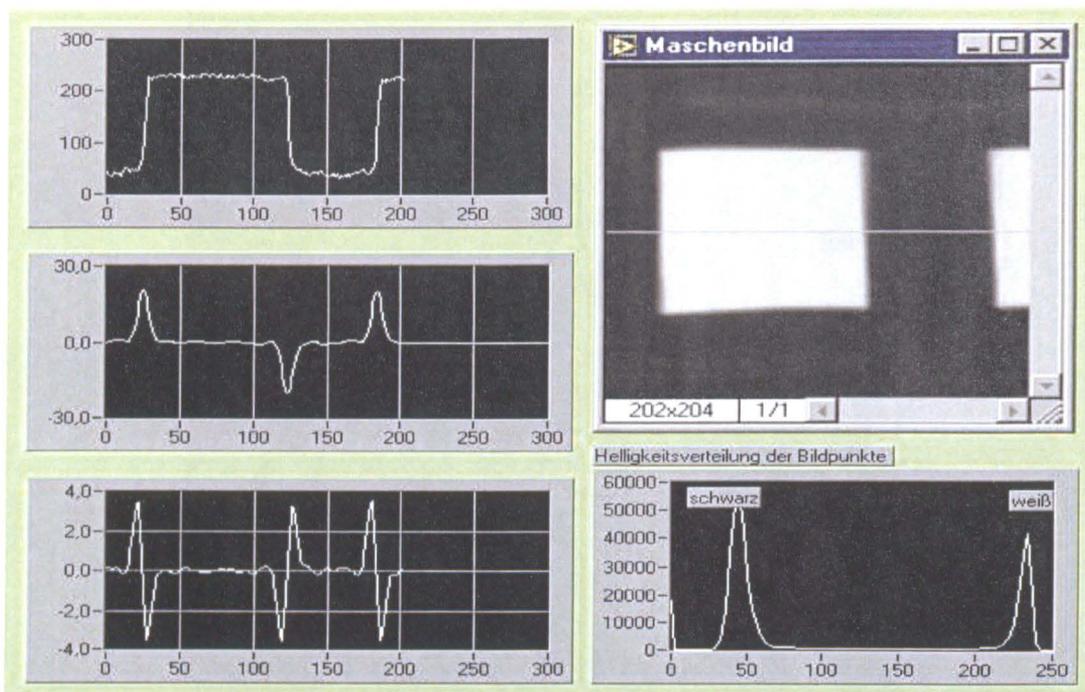


Bild 11: Monitoroberfläche eines Messprogramms für Drahtgewebe

## II. Tabellen

Nr.	Einflussfaktor		systematisch		zufällig		Korrelation	Geltungsbereich
			$\varphi_j$	$a_j$	$b_i$	$a_i$		
0	Messobjekt				3	0,05		(2 ... 32) mm
1	Kalibrierung	mit Korrektur			3	0,01		(2 ... 32) mm
1	Kalibrierung	ohne Korrektur	-1	0,02				
2	Schnittstelle				3	0,02		(2 ... 4) mm
3	Personal	gute messtechnische Erfahrung			3	0,05	4	(2 ... 32) mm
3	Personal	gute messtechnische Erfahrung	$\pm 1$	0,05			4	
3	Personal	geringe messtechnische Erfahrung			3	0,1	4	
3	Personal	geringe messtechnische Erfahrung	$\pm 1$	0,1			4	
4	Aufzeichnung	Fehleintragungen			1	0,01	3	(2 ... 32) mm

Tabelle 1a: Digitaler Messschieber mit einer Ablesegenauigkeit von 0,01 mm (Maschenweite)

Nr.	Einflussfaktor		systematisch		zufällig		Korrelation	Geltungsbereich
			$\varphi_j$	$a_j$	$b_i$	$a_i$		
0	Messobjekt				3	0,05		(2 ... 32) mm
1	Kalibrierung	mit Korrektur			3	0,05		(2 ... 32) mm
1		ohne Korrektur	$\pm 1$	0				(2 ... 32) mm
2	Schnittstelle				3	0,02		(2 ... 4) mm
3	Personal	gute messtechnische Erfahrung			3	0,05	4	(2 ... 32) mm
3	Personal	gute messtechnische Erfahrung	$\pm 1$	0,05			4	(2 ... 32) mm
3	Personal	geringe messtechnische Erfahrung			3	0,1	4	(2 ... 32) mm
3	Personal	geringe messtechnische Erfahrung	$\pm 1$	0,1			4	
4	Aufzeichnung	Fehleintragungen			1	0,02	3	(2 ... 32) mm

Tabelle 1b: Analoger Messschieber mit einer Ablesegenauigkeit von 0,05 mm (Maschenweite)

Nr.	Einflussfaktor		systematisch		zufällig		Korrelation	Geltungsbereich
			$\varphi_j$	$a_j$	$b_i$	$a_i$		
1	Kalibrierung	mit Korrektur			3	0,01		(0,4 ... 15) mm
1	Kalibrierung	ohne Korrektur	$\pm 1$	0,01				(0,4 ... 15) mm
2	Personal	gute messtechnische Erfahrung			3	0,02	4	(0,4 ... 15) mm
2	Personal	gute messtechnische Erfahrung	$\pm 1$	0,02			4	(0,4 ... 15) mm
2	Personal	geringe messtechnische Erfahrung			3	0,05	4	(0,4 ... 15) mm
2	Personal	geringe messtechnische Erfahrung	$\pm 1$	0,05			4	(0,4 ... 15) mm
3	Aufzeichnung	Fehleintragungen			1	0,01	3	(0,4 ... 15) mm

**Tabelle 1c: Digitaler Messschieber mit einer Ablesegenauigkeit von 0,01 mm (Drahtdicke)**

Nr.	Einflussfaktor		systematisch		zufällig		Korrelation	Geltungsbereich
			$\varphi_j$	$a_j$	$b_i$	$a_i$		
1	Kalibrierung	mit Korrektur			3	0,05		(0,4 ... 15) mm
1	Kalibrierung	ohne Korrektur	$\pm 1$	0,05				(0,4 ... 15) mm
2	Personal	gute messtechnische Erfahrung			3	0,05	4	(0,4 ... 15) mm
2	Personal	gute messtechnische Erfahrung	$\pm 1$	0,05			4	(0,4 ... 15) mm
2	Personal	geringe messtechnische Erfahrung			3	0,075	4	(0,4 ... 15) mm
2	Personal	geringe messtechnische Erfahrung	$\pm 1$	0,075			4	(0,4 ... 15) mm
3	Aufzeichnung	Fehleintragungen			1	0,01	3	(0,4 ... 15) mm

**Tabelle 1d: Analoger Messschieber mit einer Ablesegenauigkeit von 0,05 mm (Drahtdicke)**

Nr.	Einflussfaktor		systematisch		zufällig		Korr.	Geltungsbereich	
			$\varphi$	$w_{\text{korr}}$	b	a			
1	Messobjekt	gleichmäßig			1	0,02		w < 2 mm	
1		ungleichmäßig			1	0,1		w < 2 mm	
2	Beleuchtung	Fremdlicht	1	0,1				w < 2 mm	
2						1	0		
3		Reines' Auflicht	1	0,04				w < 2 mm	
3						3	0,01		
4		Lichtausrichtung	1	0,05				w = 1 mm	
4			1	0,045				w = 0,5 mm	
4			1	0,04				w = 0,25 mm	
4			1	0,035				w = 0,125 mm	
4			1	0,03				w = 0,063 mm	
4			1	0,0251				w = 0,032 mm	
4					1	0,01			
5		Leuchtdichte, mittel			3	0,01	6	w = 1 mm	
5					3	0,0125		w = 0,5 mm	
5					3	0,015		w = 0,25 mm	
5					3	0,0175		w = 0,125 mm	
5					3	0,02		w = 0,063 mm	
5					3	0,0225		w = 0,032 mm	
5		Leuchtdichte, minimal	-1	0,02			6	w < 2 mm	
5						1	0,01		
6		Helligkeitsschwankungen			3	0,01	5	w = 1 mm	
6					3	0,0125		w = 0,5 mm	
6					3	0,015		w = 0,25 mm	
6					3	0,0175		w = 0,125 mm	
6					3	0,02		w = 0,063 mm	
6					3	0,0225		w = 0,032 mm	
7	Kamera	Auflösung o.S.			3	0,02		w < 2 mm	
7		Auflösung m.S.			3	0,01		w < 2 mm	
8	Optik	Verzerrungen			3	0		w < 2 mm	
9			Wahl der Vergrößerung			3	0,01		w = 0,125 mm
9						3	0,02		w = 0,063 mm
9						3	0,04		w = 0,032 mm
9						3	0		w < 2 mm
10	Messsoftware	Maschenauswahl			3	0		w < 2 mm	
11		Kalibrierung			3	0		w < 2 mm	
12		Abschneidekriterien			3	0		w < 2 mm	
13		Fokussierung, telez.			3	0		w < 2 mm	
13		Fokussierung, nicht telez.			3	0,01		w < 2 mm	
14		Stabilität			1	0,03		w < 2 mm	

Tabelle 2: Zusammenstellung der Unsicherheitsschätzungen für die optischen Messverfahren

Maschenweite	Teilnehmer	Mittelwert/e der Maschen in mm			Wiederholgrenzen r in mm		
$w_N = 2 \text{ mm}$	GW 02	2,067			0,08		
	GW 03	2,09			0,03		
	GW 05	2,09	2,08		0,04	0,01	
	GW 08	2,11	2,03	2,04	0,08	0,03	0,03
	GW 09	2,03			0,03		
	GW 16	2,10	2,06		0,03	0,04	
	GW 17	2,07			0,08		
	GW 19	2,10			0,03		

Drahtdicke	Teilnehmer	Mittelwert/e der Drahtdicken in mm			Wiederholgrenzen r in mm		
$d_N = 0,5 \text{ mm}$	GW 02	0,55			0,03		
	GW 03	0,54			0,01		
	GW 05	0,54	0,55		0,01	0,00	
	GW 08	0,50	0,50	0,50	0,02	0,02	0,02
	GW 09	0,55			0,02		
	GW 16	0,53	0,54		0,01	0,02	
	GW 17	0,57			0,05		
	GW 19	0,53			0,01		

Tabelle 3a: Ergebnisse des Ringversuchs ( $w_N = 2 \text{ mm}$ ,  $d_N = 0,5 \text{ mm}$ )

Maschenweite	Teilnehmer	Mittelwert/e der Maschen in mm			Wiederholgrenzen r in mm		
$w_N = 4 \text{ mm}$	GW 05	3,96			0,03		
	GW 11	3,98			0,01		
	GW 12	3,92			0,04		
	GW 13	3,90			0,07		
	GW 14	3,96			0,02		
	GW 15	3,94			0,01		
	GW 16	3,96	3,95		0,02	0,02	
	GW 17	3,94			0,02		
	GW 19	3,97			0,03		

Drahtdicke	Teilnehmer	Mittelwert/e der Drahtdicken in mm			Wiederholgrenzen r in mm		
$d_N = 1 \text{ mm}$	GW 05	0,99	0,99				
	GW 11	0,92			0,01		
	GW 12	0,93			0,04		
	GW 13	0,99			0,03		
	GW 14	0,97			0,01		
	GW 15	1,01			0,01		
	GW 16	1,00	1,00		0,02	0,05	
	GW 17	1,02			0,06		
GW 19	0,99			0,02			

Tabelle 3b: Ergebnisse des Ringversuchs ( $w_N = 4 \text{ mm}$ ,  $d_N = 1 \text{ mm}$ )

Maschenweite	Teilnehmer	Mittelwert/e der Maschen in mm			Wiederholgrenzen r in mm		
$w_N = 8 \text{ mm}$	GW 01	7,77			0,10		
	GW 03	7,91			0,03		
	GW 05	7,80			0,04		
	GW 06	7,77	7,76	7,76	0,06	0,09	0,06
	GW 07	7,78	7,84		0,15	0,07	
	GW 10	7,8			0,09		
	GW 16	7,79	7,79		0,03	0,05	
	GW 17	7,80			0,13		
	GW 19	7,80			0,07		

Drahtdicke	Teilnehmer	Mittelwert/e der Drahtdicken in mm			Wiederholgrenzen r in mm		
$d_N = 1,6 \text{ mm}$	GW 01	1,53			0,00		
	GW 03	1,58			0,02		
	GW 05	1,58	1,58				
	GW 06	1,58	1,57	1,56	0,03	0,03	0,00
	GW 07	1,60	1,59		0,05	0,04	
	GW 10	1,56			0,00		
	GW 16	1,58	1,60		0,03	0,04	
	GW 17	1,59			0,10		
	GW 19	1,58			0,01		

Tabelle 3c: Ergebnisse des Ringversuchs ( $w_N = 8 \text{ mm}$ ,  $d_N = 1,6 \text{ mm}$ )

Maschenweite	Teilnehmer	Mittelwert/e der Maschen in mm			Wiederholgrenzen r in mm		
$w_N = 16 \text{ mm}$	GW 03	15,98			0,03		
	GW 05	15,98			0,10		
	GW 06	15,91	15,90	15,90	0,04	0,07	0,07
	GW 07	15,93	15,91		0,11	0,05	
	GW 08	15,96	15,96	15,98	0,02	0,03	0,02
	GW 09	15,90			0,14		
	GW 10	15,9			0,05		
	GW 11	16,0			0,00		
	GW 12	15,96			0,04		
	GW 15	15,95			0,03		
	GW 19	15,98			0,08		

Drahtdicke	Teilnehmer	Mittelwert/e der Drahtdicken in mm			Wiederholgrenzen r in mm		
$d_N = 4 \text{ mm}$	GW 03	3,95			0,02		
	GW 05	3,96	3,96				
	GW 06	3,96	3,95	3,94	0,02	0,03	0,00
	GW 07	4,00	3,95		0,00	0,00	
	GW 08	3,95	3,95	3,95	0,01	0,00	0,00
	GW 09	3,96			0,01		
	GW 10	3,91			0,00		
	GW 11	3,91			0,00		
	GW 12	3,95			0,00		
	GW 15	3,95			0,02		
	GW 19	3,98			0,03		

Tabelle 3d: Ergebnisse des Ringversuchs ( $w_N = 16 \text{ mm}$ ,  $d_N = 4 \text{ mm}$ )

Maschenweite	Teilnehmer	Mittelwert/e der Maschen in mm			Wiederholgrenzen r in mm		
w <sub>N</sub> = 32 mm	GW 05	31,68			0,11		
	GW 06	31,67	31,67	31,62	0,13	0,04	0,06
	GW 07	31,6	31,7		0,13	0,06	
	GW 10	31,68			0,08		
	GW 11	31,62			0,11		
	GW 14	31,67			0,04		
	GW 19	31,67			0,12		

Drahtdicke	Teilnehmer	Mittelwert/e der Drahtdicken in mm			Wiederholgrenzen r in mm		
d <sub>N</sub> = 5 mm	GW 05	5,09	5,09				
	GW 06	5,10	5,09		0,01	0,01	
	GW 07	5,1	5,09		0,16	0,00	
	GW 10	5,04			0,00		
	GW 13	5,08			0,03		
	GW 14	5,08			0,01		
	GW 19	5,12			0,02		

Tabelle 3e: Ergebnisse des Ringversuchs (w<sub>N</sub> = 32 mm, d<sub>N</sub> = 5 mm)

Maschenweite	Teilnehmer	Mittelwert/e der Maschen in mm		Wiederholgrenzen r in mm		Auflösung in mm
w <sub>N</sub> = 0,78 mm	GW 01	0,794		0,005		0,01
	GW 02	0,780		0,014		0,01
	GW 11	0,842		0,006		0,01
	GW 15	0,776		0,006		0,01
	GW 16	0,780		0,039		0,01
	GW 17	0,786		0,017		0,01
	GW 18	0,775		0,005		0,01
	GW 19	0,770		0,016		0,0001

Spannweite:		0,072			
Gesamtmittel		0,788			
Spannweite:		0,024	ohne GW 11		
Gesamtmittel		0,780			

Drahtdicke	Teilnehmer	Mittelwert/e der Drähte in mm		Wiederholgrenzen r in mm		Auflösung in mm
d <sub>N</sub> = 0,315 mm	GW 01	0,302		0,000		0,01
	GW 02	0,318		0,014		0,001
	GW 11	0,239		0,010		0,001
	GW 15	0,316		0,006		0,001
	GW 16	0,307		0,032		0,01
	GW 17	0,306		0,017		0,001
	GW 18	0,318		0,005		0,001
	GW 19	0,322		0,002		0,0001

Spannweite:		0,083			
Gesamtmittel		0,347			
Spannweite:		0,020	ohne GW 11		
Gesamtmittel		0,313			

Tabelle 4a: Ergebnisse der Ringversuchsmessungen

Maschenweite	Teilnehmer	Mittelwert/e der Maschen in mm	Wiederholgrenzen r in mm	Auflösung in mm
$w_N = 0,55 \text{ mm}$	GW 02	0,541	0,011	0,01
	GW 05	0,549	0,539	0,023
	GW 16	0,569	0,035	0,01
	GW 17	0,552	0,032	0,001
	GW 18	0,543	0,004	0,001
	GW 19	0,534	0,001	0,0001

Spannweite:		0,035		
Gesamtmittel		0,548		

Drahtdicke	Teilnehmer	Mittelwert/e der Drähte in mm	Wiederholgrenzen r in mm	Auflösung in mm
$d_N = 0,380 \text{ mm}$	GW 02	0,385	0,010	0,01
	GW 05	0,355	0,389	0,018
	GW 16	0,357	0,052	0,01
	GW 17	0,372	0,016	0,001
	GW 18	0,380	0,003	0,001
	GW 19	0,390	0,001	0,0001

Spannweite:		0,035		
Gesamtmittel		0,375		

**Tabelle 4b: Ergebnisse der Ringversuchsmessungen**

Maschenweite	Teilnehmer	Mittelwert/e der Maschen in mm	Wiederholgrenzen r in mm	Auflösung in mm
$w_N = 0,250 \text{ mm}$	GW 02	0,266	0,009	0,001
	GW 11	0,262	0,003	0,001
	GW 12	0,244	0,004	0,001
	GW 14	0,258	0,027	0,001
	GW 15	0,253	0,005	0,001
	GW 16	0,248	0,051	0,01
	GW 17	0,257	0,014	0,001
	GW 18	0,251	0,003	0,001
	GW 19	0,244	0,003	0,0001

Spannweite		0,022		
Gesamtmittel		0,254		

Drahtdicke	Teilnehmer	Mittelwert/e der Drähte in mm	Wiederholgrenzen r in mm	Auflösung in mm
$d_N = 0,170 \text{ mm}$	GW 02	0,175	0,011	0,001
	GW 11	0,155	0,002	0,001
	GW 12	0,173	0,002	0,001
	GW 14	0,164	0,019	0,001
	GW 15	0,171	0,004	0,001
	GW 17	0,167	0,009	0,001
	GW 18	0,173	0,003	0,001
	GW 19	0,179	0,001	0,0001

Spannweite		0,024		
Gesamtmittel		0,170		

**Tabelle 4c: Ergebnisse der Ringversuchsmessungen**

Maschenweite	Teilnehmer	Mittelwert/e der Maschen in mm	Wiederholgrenzen r in mm	Auflösung in mm	
w <sub>N</sub> = 0,130 mm	GW 01	0,134	0,006	0,005	
	GW 02	0,133	0,005	0,0025	
	GW 05	0,122	0,120	0,014	0,006
	GW 12	0,127	0,003	0,001	
	GW 17	0,131	0,009	0,001	
	GW 18	0,127	0,002	0,001	
	GW 19	0,123	0,000	0,0001	

Spannweite		0,012		
Gesamtmittel		0,128		

Drahtdicke	Teilnehmer	Mittelwert/e der Drähte in mm	Wiederholgrenzen r in mm	Auflösung in mm	
d <sub>N</sub> = 0,090 mm	GW 01	0,081	0,005	0,005	
	GW 02	0,086	0,007	0,0025	
	GW 05	0,090	0,100	0,000	0,000
	GW 12	0,083	0,003	0,001	
	GW 17	0,086	0,008	0,001	
	GW 18	0,090	0,001	0,001	
	GW 19	0,092	0,001	0,0001	

Spannweite		0,019		
Gesamtmittel		0,089		

Tabelle 4d: Ergebnisse der Ringversuchsmessungen

Maschenweite	Teilnehmer	Mittelwert/e der Maschen in mm	Wiederholgrenzen r in mm	Auflösung in mm
w <sub>N</sub> = 0,063 mm	GW 02	0,060	0,006	0,001
	GW 05	0,050	0,050	0,01
	GW 11	0,077	0,017	0,001
	GW 14	0,063	0,010	0,005
	GW 17	0,062	0,010	0,001
	GW 18	0,059	0,003	0,001
	GW 19	0,058	0,000	0,0001

Spannweite		0,027		
Gesamtmittel		0,060		
Spannweite		0,013	ohne GW 11	
Gesamtmittel		0,059		

Drahtdicke	Teilnehmer	Mittelwert/e der Drähte in mm	Wiederholgrenzen r in mm	Auflösung in mm
d <sub>N</sub> = 0,040 mm	GW 02	0,041	0,004	0,001
	GW 05	0,040	0,000	0,000
	GW 11	0,024	0,003	0,001
	GW 14	0,040	0,003	0,005
	GW 17	0,038	0,008	0,001
	GW 18	0,042	0,002	0,001
	GW 19	0,043	0,000	0,0001

Spannweite:		0,026		
Gesamtmittel:		0,040		
Spannweite:		0,003	ohne GW 11	
Gesamtmittel:		0,041		

Tabelle 4e: Ergebnisse der Ringversuchsmessungen

Exzelltabellen 1a-d, 2, 3a-e; 4a-e

Forschungsbericht ‚Vermessung von Stahldrahtgeweben‘

### III. Dokumente

T.U. Amtliche Materialprüf-  
anstalt für Bauwesen  
Beethovenstr. 52  
38106 Braunschweig

**Prüfprotokoll Nr. P-469190**

Seite (1/1)

**Ident-Nummer** : 29-1188  
**Bezeichnung** : Meßschieber DIN 862

**Prüfdatum** : 11.02.04

**Prüfungsrichtlinie** : VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 9.1 Ü (DKD Richtlinie Nr. 4)  
**Prüfgerät** : PEM 41,3 mm PN 0841; PEM 131,4 mm PN 0685; Einstellung 4 mm PN 0693;  
Einstellung 35 mm PN 0694; PEM 25 mm PN 0566

**Bezugsnormal** : 3517 PTB 99, 0274 PTB 98, 3493 PTB 99, 3494 PTB 99, 6931 DKD-K-05201

**Meßunsicherheit k=2** : 20+2\*|\*10E-6 µm

**Bemerkung** :

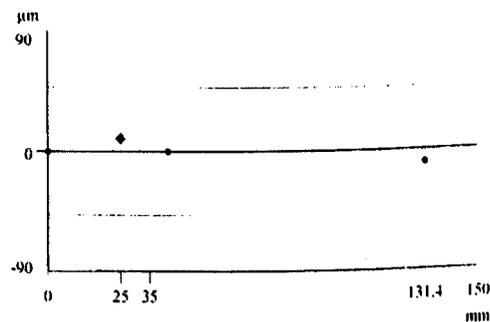
**Prüfergebnis** : uneingeschränkt einsatzfähig **Sichtprüfung** : in Ordnung

**Temperatur** : 19,7 °C

**Typ** : analog  
**Meßbereich** : 0 bis 150 mm  
**Skalenteilung** : 0,05 mm

**Zul. Abw.**  
**O. Richtungsw.** : 50 µm  
**M. Richtungsw.** : 70 µm

**festg. max. Abw.** : 30 µm



**Kalibrierwerte:**

mm		µm	mm		µm	mm		µm
Soll	festg. Abw.		Soll	festg. Abw.		Soll	festg. Abw.	
<b>Außenmessung *</b>			<b>Innenmessung *</b>			<b>Tiefenmessung *</b>		
0,00	0		4,00	-20		25,00	10	
41,30	0		35,00	10				
131,40	-10							

Prüfer : Jan Gonschior  
Jan Gonschior

Die Kalibrierung erfolgt durch Vergleich mit Bezugsnormen bzw. Bezugsnormaleinrichtungen, die rückgeführt sind auf nationale Normale zur Darstellung der physikalischen Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI). DKD-Labor  
DKD-Nr.: 10801

Hch. Perschmann GmbH Tel.: 05307/933-200 Fax: -191 Bankverbindung Deutsche Bank Geschäftsführer  
Kalibrier-Center info@perschmann.de BLZ 270 700 30 Konto 3904638 Dipl.-Kfm. Ulrich Perschmann  
Hauptstraße 46 d IBAN: DE94 2707 0030 0390 463800 USI-IH-Nr.: DE 114 821 255 Dipl.-Kfm. Justus Perschmann  
38110 Braunschweig BIC: DEUTDE22H270 Steuer-Nr. 1320209715 Braunschweig HRB 15 11  
www.perschmann.de

Anlage 1: Kalibrierprotokoll

Forschungsbericht ‚Vermessung von Stahldrahtgeweben‘

T.U. Amtliche Materialprüf-  
anstalt für Bauwesen  
Beethovenstr. 52  
38106 Braunschweig

Seite (1/1)

**Prüfprotokoll Nr. P-469200**

**Ident-Nummer** : 0000895 **Prüfdatum** : 11.02.04  
**Bezeichnung** : Meßschieber DIN 862

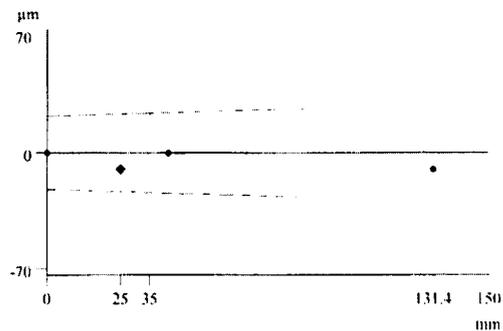
**Prüfungsrichtlinie** : VDI/VDE/DGQ 2618 Blatt 9.1 Ü (DKD Richtlinie Nr. 4)  
**Prüfgerät** : PEM 41,3 mm PN 0841; PEM 131,4 mm PN 0685; Einstellring 4 mm PN 0693;  
Einstellring 35 mm PN 0694; PEM 25 mm PN 0566  
**Bezugsnormal** : 3517 PTB 99, 0274 PTB 98, 3493 PTB 99, 3494 PTB 99, 6931 DKD-K-05201  
**Meßunsicherheit k=2** :  $20 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \mu\text{m}$   
**Bemerkung** : Kappe für Datenausgang fehlt

**Prüfergebnis** : **uneingeschränkt einsatzfähig** **Sichtprüfung** : in Ordnung

**Temperatur** : 19,7 °C

**Typ** : digital  
**Meßbereich** : 0 bis 150 mm  
**Skalenteilung** : 0,01 mm

**Zul. Abw.**  
**O. Richtungsw.** : min. 20  $\mu\text{m}$  max. 30  $\mu\text{m}$   
**M. Richtungsw.** : 40  $\mu\text{m}$   
**festg. max. Abw.** : 30  $\mu\text{m}$



**Kalibrierwerte:**

mm		$\mu\text{m}$		mm		$\mu\text{m}$		mm		$\mu\text{m}$	
Soll	festg. Abw.	Soll	festg. Abw.	Soll	festg. Abw.	Soll	festg. Abw.	Soll	festg. Abw.	Soll	festg. Abw.
<b>Außenmessung *</b>				<b>Innenmessung *</b>				<b>Tiefenmessung *</b>			
0,00	0	4,00	20	25,00	-10						
41,30	0	35,00	20								
131,40	-10										

Prüfer : Jan Gonschior  
Jan Gonschior

Die Kalibrierung erfolgt durch Vergleich mit Bezugsnormen bzw. Bezugsnormalmaßeinrichtungen, die rückgeführt sind auf nationale Normale zur Darstellung der physikalischen Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI).  
DKD-Nr.: 10801

Hch. Perschmann GmbH  
Kalibrier-Center  
Hauptstraße 46 d  
38110 Braunschweig

Tel.: 0 53 07/933-200 Fax: -191  
info@perschmann.de  
IBAN: DE94 2707 0030 0390 463800  
BIC: DEUTDE2270

Bankverbindung Deutsche Bank  
BLZ 270 700 30 Konto 3904638  
UST-IdNr. DE 114 821 255  
Steuer Nr. 13 20 20 97 15

Geschäftsführer  
Dipl.-Kfm. Ulrich Perschmann  
Dipl.-Kfm. Justus Perschmann  
Braunschweig HRB 15 11

DKD - Kalibrierlaboratorium  
www.perschmann.de

Anlage 2: Kalibrierprotokoll

**Ringversuch ,Gewebe' (RV 8)**

**Beiblatt**

**Labor-Code: GW**

Datum der Durchführung der Messungen:

.....

Name der/s Durchführenden der Messungen:

.....

Art des verwendeten Messgerätes:

Messschieber (Muster Nr. )

Messlupe (Muster Nr. )

Messmikroskop (Muster Nr. )

sonstiges Messgerät (Muster Nr. )

nämlich.....

Anzeige des/der Messinstrumente/s:

analog

digital

Geschätzter Messunsicherheitsbereich der Messergebnisse:

< 0,05 mm (Muster Nr. )

≥ 0,05 ... < 0,1 mm (Muster Nr. )

≥ 0,1 ... < 0,2 mm (Muster Nr. )

≥ 0,2 ... < 0,3 mm (Muster Nr. )

≥ 0,3 mm (Muster Nr. )

.....

.....  
Unterschrift

Stempel des Teilnehmers

Anlage 3: Beiblatt zum Ringversuch

Forschungsbericht ,Vermessung von Stahldrahtgeweben'

## Messvorschrift für den Ringversuch ‚Gewebe‘ (RV 8)

**Maschen mit  $w \geq 2 \text{ mm}$**

**Labor-Code: GW**

Maschenbereich:  $w > 22,4 \text{ mm}$

Gerät: Messschieber oder ähnliches Messinstrument

Die Gewebe sind als rechteckige Muster mit 5 Maschen in Quer- und 3 Maschen in Längsrichtung präpariert. An diesen Mustern sollen alle 15 Maschen sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung und die 10 Drahtdurchmesser ermittelt werden. Um einen direkten Vergleich aller einzelnen Messwerte und der teilnehmenden Laboratorien zu erhalten, ist die Messung nach den folgenden Vorgaben für jedes Muster zweifach durchzuführen.

### **Ausmessung des Musters**

Vor Beginn der Messung wird das Muster quer vor die messende Person gelegt, so dass die Schweißperle in der rechten oberen Ecke erscheint. Das Muster soll kippelfrei aufliegen.

Die Messung beginnt mit der vollständigen Masche in der linken oberen Ecke. Die fünf Maschen in der ersten Reihe werden einzeln quer jeweils in der augenscheinlichen Mitte von links nach rechts vermessen. Es folgen in gleicher Weise die fünf Maschen der zweiten Reihe, dann die der dritten Reihe. Die gemessenen Werte werden jeweils in die beiliegende Tabelle übertragen.

Nach Erfassung dieser 15 Werte werden die Drahtdurchmesser in gleicher Reihenfolge jeweils in der Mitte der mittleren Maschenreihe gemessen, d.h. es soll zunächst der *längslaufende* Draht an der linken Seite ausgemessen werden, dann der rechts von ihm liegende usw. In diesem Messschritt werden 6 Drahtdicken erfasst.

Zur Fortsetzung der Messungen wird das Muster um  $90^\circ$  gegen den Uhrzeigersinn gedreht, so dass die Ecke mit der Schweißperle links oben erscheint. Die Messung erfolgt in gleicher Weise wie vorher, d.h. es wird mit der Vermessung der drei oberen Maschen von links nach rechts begonnen und die Erfassung in der gleichen Reihenfolge wie vorher fortgesetzt, so dass wieder insgesamt 15 Maschenweiten ermittelt werden. Entsprechend sind die 4 Drahtdurchmesser auszumessen. Die festgestellten Werte werden wieder jeweils in die beiliegende Tabelle übertragen.

### **Dokumentation**

Alle Angaben werden in Millimetern entsprechend der Ablesegenauigkeit des Messgerätes in die vorgegebenen Felder notiert. Der Labor-Code und der Maschengrößenbereich sind bereits auf den Vordrucken eingetragen. Schließlich ist bitte das Beiblatt auszufüllen und zu unterschreiben.

Anlage 4a: Messvorschrift für den Ringversuch

Forschungsbericht ‚Vermessung von Stahldrahtgeweben‘

## Messvorschrift für den Ringversuch ‚Gewebe‘ (RV 8)

**Labor-Code: GW**

Maschenbereich:  $w < 1,4 \dots 0,71 \text{ mm}$

In einem teilweise mit Lack verklebten Gewebe befindet sich eine nicht verklebte rechteckige Partie mit 7 Maschen in Quer- und 5 Maschen in Längsrichtung. An diesen offenen Gewebepartien sollen die 15 in der Mitte liegenden Maschen sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung und die dazugehörigen 10 Drahtdurchmesser ermittelt werden. Um einen direkten Vergleich aller einzelnen Messwerte und der teilnehmenden Laboratorien zu erhalten, ist die Messung nach den folgenden Vorgaben für jedes Muster zweifach durchzuführen.

### Ausmessung des Musters

Vor Beginn der Messung wird das Muster quer vor die messende Person gelegt, so dass die Messingmutter in der rechten oberen Ecke erscheint. Das Muster soll kippelfrei aufliegen.

Die Messung beginnt mit der Masche in der zweiten Zeile, zweite Spalte. Die fünf Maschen in der zweiten Zeile werden einzeln quer jeweils in der augenscheinlichen Mitte von links nach rechts vermessen. Es folgen in gleicher Weise die fünf Maschen der dritten Reihe, dann die der vierten Reihe. Die gemessenen Werte werden jeweils in die beiliegende Tabelle übertragen.

Nach Erfassung dieser 15 Werte werden die Drahtdurchmesser in gleicher Reihenfolge jeweils in der Mitte der mittleren Maschenreihe gemessen, d.h. es soll zunächst der *längslaufende* freiliegende Draht an der linken Seite ausgemessen werden, dann der rechts von ihm liegende usw. In diesem Messschritt werden 6 Drahtdicken erfasst.

Zur Fortsetzung der Messungen wird das Muster um  $90^\circ$  gegen den Uhrzeigersinn gedreht, so dass die Ecke mit der Messingmutter links oben erscheint. Die Messung erfolgt in gleicher Weise wie vorher, d.h. es wird mit der Vermessung der drei mittleren Maschen in der zweiten Zeile von links nach rechts begonnen und die Erfassung in der gleichen Reihenfolge wie vorher fortgesetzt, so dass wieder insgesamt 15 Maschenweiten ermittelt werden. Entsprechend sind die 4 freiliegenden Drahtdurchmesser auszumessen. Die festgestellten Werte werden wieder jeweils in die beiliegende Tabelle übertragen.

### Dokumentation

Alle Angaben werden in Millimetern oder Mikrometern entsprechend der Ablesegenauigkeit des Messgerätes in die vorgegebenen Felder notiert. Der Labor-Code und der Maschengößenbereich sind bereits auf den Vordrucken eingetragen. Schließlich ist bitte das Beiblatt auszufüllen und zu unterschreiben.

Anlage 4b: Messvorschrift für den Ringversuch

Graphikon GmbH  
Mandelstr. 16  
10409 Berlin  
<http://www.graphikon.de>

Gebrüder HAFF GmbH  
Fabrik für Zeichengeräte, Planimeter, mathematische Instrumente  
Tiroler Straße 5  
D-87459 Pfronten  
<http://www.haff.de>

JENOPTIK Laser, Optik, Systeme GmbH  
Göschwitzer Str. 25  
07745 Jena  
<http://www.jenoptik-los.de>

M-Service & Geräte  
Peter Müller  
53344 Alfter

Anlage 5: Messgerätehersteller, die das Projekt direkt unterstützt haben:





## VERZEICHNIS DER BISHER IN DER SCHRIFTENREIHE DES IBMB ERSCHIENENEN HEFTE (ISSN 1439-3875)

In der Schriftenreihe "Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig - ISSN 0178-5796 (Heft 1 bis 16 als "Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig", Heft 17 bis 39 als "Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig") sind bisher die nachfolgend aufgeführten Hefte erschienen.

Sie können bezogen werden von:

Institut für Baustoffe,  
Massivbau und Brandschutz  
der Technischen Universität Braunschweig  
Bibliothek  
Beethovenstraße 52  
38106 Braunschweig

Tel. (05 31) 3 91-54 54  
Fax (05 31) 3 91-5900  
E-Mail o.dienelt@tu-bs.de

oder über jede Buchhandlung.

Kosten:  
Je nach Umfang zwischen € 7 und € 30  
(zuzüglich Versandkosten)

Das aktuelle Verzeichnis unter:  
[www.ibmb.tu-bs.de](http://www.ibmb.tu-bs.de) (→ Bibliothek)

Vergriffene Hefte können als Kopien gegen Erstattung der Kopierkosten bezogen werden.

Heft 1:  
Deters, R.: Über das Verdunstungsverhalten und den Nachweis öliger Holzschutzmittel. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1962; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1962

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

Heft 3:  
Eibl, J.: Zur Stabilitätsfrage des Zweigelenkbogens mit biegeweichem Zugband und schlaffen Hängestangen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1963; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1963

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

Heft 5:  
Ertingshausen, H.: Über den Schalungsdruck von Frischbeton. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1965; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Hannover, 1965

Heft 6:

Waubke, N.V.: Transportphänomene in Betonporen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1966; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

Heft 7:

Ehm, H.: Ein Beitrag zur rechnerischen Bemessung von brandbeanspruchten balkenartigen Stahlbetonbauteilen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1967; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1967

Heft 8:

Steinert, J.: Möglichkeiten der Bestimmung der kritischen Last von Stab- und Flächen-tragwerken mit Hilfe ihrer Eigenfrequenz. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1967; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1967

Heft 9:

Lämmke, A.: Untersuchungen an dämmschichtbildenden Feuerschutzmitteln. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1967; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1967

Heft 10:

Rafla, K.: Beitrag zur Frage der Kippstabilität aufgehängter Träger. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1968; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

Heft 11:

Ivanyi, G.: Die Traglast von offenen, kreisförmigen Stahlbetonquerschnitten: Brazier-Effekt. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1968; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

Heft 12:

Meyer-Ottens, C.: Brandverhalten verschiedener Bauplatten aus Baustoffen der Klassen A und B. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1969

Heft 13:

Fuchs, G.: Zum Tragverhalten von kreisförmigen Doppelsilos unter Berücksichtigung der Eigensteifigkeit des Füllgutes. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1968; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1968

Heft 14:

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

Heft 15:

Lewandowski, R.: Beurteilung von Bauwerksfestigkeiten anhand von Betongütekübeln und -bohrproben. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1970; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1970

Heft 16:

Neubauer, F.-J.: Untersuchungen zur Frage der Rissesicherung von leichten Trennwänden aus Gips-Wandbauplatten. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, 1970; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1969

Heft 17:

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

Heft 17:

Meyer-Ottens, C.; Kordina, K.: Gutachten über das Brandverhalten von Bauteilen aus dampfgehärtetem Gasbeton. Erw. Neuaufl. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974

Heft 18:

Bödeker, W.: Die Stahlblech-Holz-Nagelverbindung und ihre Anwendung: Grundlagen und Bemessungsvorschläge. Braunschweig. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1971; Zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1971, ISBN 3-89288-057-3

Heft 19:

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

Heft 20:

Liermann, K.: Das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbrückenpfeilern mit Rollenlagern. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1972; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972, ISBN 3-89288-056-5

Heft 22:

Nürnberger, U.: Zur Frage des Spannungsrißkorrosionsverhaltens kohlenstoffarmer Betonstähle in Nitratlösungen unter Berücksichtigung praxisnaher Verhältnisse. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1972; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972, ISBN 3-89288-054-9

Heft 23:

Meyer-Ottens, C.: Zur Frage der Abplatzungen an Betonbauteilen aus Normalbeton bei Brandbeanspruchung. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1972; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1972

Heft 24:

El-Arousy, T.H.: Über die Steinkohlenflugasche und ihre Wirkung auf die Eigenschaften von Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge im frischen und festen Zustand. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1973; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1973, ISBN 3-89288-053-0

Heft 25:

Rieche, G.: Mechanismen der Spannungs-korrosion von Spannstählen im Hinblick auf ihr Verhalten in Spannbetonkonstruktionen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1973; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1973, ISBN 3-89288-052-2

Heft 26:

Tennstedt, E.: Beitrag zur rechnerischen Ermittlung von Zwangsschnittgrößen unter Berücksichtigung des wirklichen Verformungsverhaltens des Stahlbetons. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-051-4

Heft 27:

Schneider, U.: Zur Kinetik festigkeitsmindernder Reaktionen in Normalbetonen bei hohen Temperaturen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1973; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1973

Heft 28:

Neisecke, J.: Ein dreiparametrisches, komplexes Ultraschall-Prüfverfahren für die zerstörungsfreie Materialprüfung im Bauwesen. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-050-6

Heft 29:

Kordina, K.; Maack, P.; Hjorth, O.: Traglastermittlung an Stahlbeton-Druckgliedern. Schlußbericht (AIF-Nr. 956). Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-048-4

Heft 30:

Eibl, J.; Ivanyi, G.: Berücksichtigung der Torsionssteifigkeit von Randbalken bei Stahlbetondecken. Schlußbericht, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974

Heft 31:

Kordina, K.; Janko, B.: Stabilitätsnachweise von Rahmensystemen im Stahlbetonbau. Schlußbericht (AIF-Nr. 1388), Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974, ISBN 3-89288-049-2

Heft 32:

Hjorth, O.: Ein Beitrag zur Frage der Festigkeiten und des Verbundverhaltens von Stahl und Beton bei hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1976; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1975

Heft 33:

Klingsch, W.: Traglastberechnung instationär thermisch belasteter schlanker Stahlbetondruckglieder mittels zwei- und dreidimensionaler Diskretisierung. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1976; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1976

Heft 34:

Djamous, F.: Thermische Zerstörung natürlicher Zuschlagstoffe im Beton. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977

Heft 35:

Haksever, A.: Zur Frage des Trag- und Verformungsverhaltens ebener Stahlbetonrahmen im Brandfall. Braunschweig. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977

Heft 36:

Storkebaum, K.-H.: Ein Beitrag zur Traglastermittlung von vierseitig gelagerten Stahlbetonwänden. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977, ISBN 3-89288-045-X

Heft 37:

Bechtold, R.: Zur thermischen Beanspruchung von Außenstützen im Brandfall. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1977, ISBN 3-89288-046-8

Heft 38:

Steinert, J.: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesbeton aus dem Wassereindringverhalten. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977; Unveränderter Nachdruck der Erstveröffentlichung Bad Honnef, Osang, 1977 (Zivilschutzforschung, Bd. 7)

Heft 39:

Weiß, R.: Ein haufwerkstheoretisches Modell der Restfestigkeit geschädigter Betone. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1978; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1978, ISBN 3-89288-047-6

Heft 40:

Alda, W.: Zum Schwingkriechen von Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1978; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1978, ISBN 3-89288-035-2

Heft 41:

Teutsch, M.: Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken mit rechteckigem Querschnitt unter kombinierter Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Torsion. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1979, ISBN 3-89288-036-0

Heft 42:

Schneider, U.: Ein Beitrag zur Frage des Kriechens und der Relaxation von Beton unter hohen Temperaturen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1979

Heft 43:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Veröffentlichungen 1967 bis 1979. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979, ISBN 3-89288-037-9

Heft 44:

Kordina, K.; Fröning, H.: Druckmessungen in Silozellen mit einer neu entwickelten Sonde. Abschlußbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1979, ISBN 3-89288-038-7

Heft 45:

Henke, V.: Ein Beitrag zur Zuverlässigkeit frei gelagerter Stahlbetonstützen unter genormter Brandeinwirkung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1980; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1980

Heft 46:

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

Heft 47:

Walter, R.: Partiiell brandbeanspruchte Stahlbetondecken: Berechnung des inneren Zwanges mit einem Scheibenmodell. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1981; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1981, ISBN 3-89288-039-5

Heft 48:

Svensvik, B.: Zum Verformungsverhalten gerissener Stahlbetonbalken unter Ein-schluß der Mitwirkung des Betons auf Zug in Abhängigkeit von Last und Zeit. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1981; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1981, ISBN 3-89288-040-9

Heft 49:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Veröffentlichungen 1967 bis 1981. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1981, ISBN 3-89288-041-7

Heft 50:

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

Heft 51:

Henke, V.: Zusammenstellung und Anwendung Bayes'scher Verfahren bei der Stichprobenbeurteilung. Projekt D1 des SFB 148. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-043-3

Heft 52:

Haksever, A.: Stahlbetonstützen mit Rechteckquerschnitten bei natürlichen Bränden. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982; Zugl.: Habil.-Schr., Technische Universität Istanbul, 1982, ISBN 3-89288-044-1

Heft 53:

Weber, V.: Untersuchung des Reiß- und Verformungsverhaltens segmentärer Spannbetonbauteile. Braunschweig. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-017-4

Heft 54:

Ranisch, E.-H.: Zur Tragfähigkeit von Verklebungen zwischen Baustahl und Beton: geklebte Bewehrung. Unveränderter Nachdruck der Ausgabe 1982. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-010-7

Heft 55:

Wiedemann, G.: Zum Einfluß tiefer Temperaturen auf Festigkeit und Verformung von Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1982

Heft 56:

Timm, R.: Ein geometrisch und physikalisch nichtlineares Rechenmodell zur optimalen Biegebemessung ebener Stahlbetonrahmen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1982; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1982, ISBN 3-89288-018-2

Heft 57:

Diederichs, U.: Untersuchungen über den Verbund zwischen Stahl und Beton bei hohen Temperaturen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1983; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1983, ISBN 3-89288-019-0

Heft 58:

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

Heft 59:

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

Heft 60:

Hillger, W.: Verbesserungen und Erweiterungen von Ultraschallprüfverfahren zur zerstörungsfreien Fehlstellen- und Qualitätskontrolle von Betonbauteilen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1983; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1983, ISBN 3-89288-014-X

Heft 61:

Blume, F.: Zur Wirklichkeitsnähe der Lastannahmen in Silovorschriften für Zellen aus Stahlbeton und Spannbeton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1984; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1984, ISBN 3-89288-013-1

Heft 62:

Nölting, D.: Das Durchstanzen von Platten aus Stahlbeton : Tragverhalten, Berechnung, Bemessung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1984; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1984, ISBN 3-89288-012-3

Heft 63:

Wesche, J.: Brandverhalten von Stahlbetonplatten im baupraktischen Einbauzustand. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-009-3

Heft 64:

Droese, S.: Untersuchungen zur Technologie des Gleitschalungsbaus. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-000-X

Heft 65:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Forschungsarbeiten 1978 - 1983. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1984, ISBN 3-89288-001-8

Heft 66:

Hegger, J.: Einfluß der Verbundart auf die Grenztragfähigkeit von Spannbetonbalken. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-002-6

Heft 67:

Kepp, B.: Zum Tragverhalten von Verankerungen für hochfeste Stäbe aus Glasfaserverbundwerkstoff als Bewehrung im Spannbetonbau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-003-4

Heft 68:

Sager, H.: Zum Einfluß hoher Temperaturen auf das Verbundverhalten von einbetonierten Bewehrungsstäben. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1985; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1985, ISBN 3-89288-004-2

Heft 69:

Haß, R.: Zur praxisgerechten brandschutztechnischen Beurteilung von Stützen aus Stahl und Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-005-0

Heft 70:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: 17. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, März 1986, Kurzfassungen der Beiträge. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-006-9

Heft 71:

Ehm, C.: Versuche zur Festigkeit und Verformung von Beton unter zweiachialer Beanspruchung und hohen Temperaturen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-007-7

Heft 72:

Hartwich, K.: Zum Reiß- und Verformungsverhalten von Stahlfaserverstärkten Stahlbetonstäben unter Längszug. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-008-5

Heft 73:

Scheuermann, J.: Zum Einfluß tiefer Temperaturen auf Verbund und Reißbildung von Stahlbetonbauteilen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-011-5

Heft 74:

Hinrichsmeyer, K.: Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-015-8

Heft 75:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Fachseminar Neue Bemessungsregeln durch Änderung der Stahlbeton- und Spannbetonvorschriften DIN 1045, DIN 4227, Juni 1986, Kurzfassungen der Beiträge. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1986, ISBN 3-89288-022-0

Heft 76:

Budelmann, H.: Zum Einfluß erhöhter Temperaturen auf Festigkeit und Verformung von Beton mit unterschiedlichen Feuchtegehalten. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-016-6

Heft 77:

Großmann, F.: Spannungen und bruchmechanische Vorgänge im Normbeton unter Zugbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-023-9

Heft 78:

Rohling, A.: Zum Einfluß des Verbundkriechens auf die Rißbreitenentwicklung sowie auf die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-024-7

Heft 79:

Henning, W.: Zwangrißbildung und Bewehrung von Stahlbetonwänden auf steifen Unterbauten. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-025-5

Heft 80:

Richter, E.: Zur Berechnung der Biegetragfähigkeit brandbeanspruchter Spann-betonbauteile unter Berücksichtigung geeigneter Vereinfachungen für die Materialgesetze. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-026-3

Heft 81:

Kiel, M.: Nichtlineare Berechnung ebener Stahlbetonflächentragwerke unter Ein-schluß von Brandbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1987; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987, ISBN 3-89288-027-1

Heft 82:

Konietzko, A.: Polymerspezifische Auswirkungen auf das Tragverhalten modifizierter zementgebundener Betone (PCC). Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-028-X

Heft 83:

Grzeschkowitz, R.: Zum Trag- und Verformungsverhalten schlanker Stahlbetonstützen unter besonderer Berücksichtigung der schiefen Biegung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-030-1

Heft 84:

Wiese, J.: Zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonplatten unter partieller Brandbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-031-X

Heft 85:

Rudolph, K.: Traglastberechnung zwei-achsig biegebeanspruchter Stahlbetonstützen unter Brandeinwirkung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1988; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1988, ISBN 3-89288-032-8

Heft 86:

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

Heft 87:

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Forschungsarbeiten 1984 - 1989. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1989, ISBN 3-89288-034-4

Heft 88:

Grossert, E.: Untersuchungen zum Tragverhalten von Massivbrücken mit zweizelligem Kastenquerschnitt. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1989; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1989, ISBN 3-89288-059-X

Heft 89:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Weiterbildungsseminar "Bauen in Europa", 15.-16. November 1990 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-063-8

Heft 90:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Claußen, T.; Voß, K.-U.: Vorspannung im Hochbau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1991, ISBN 3-89288-064-6

Heft 91:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachtagung Spannbeton im Hoch- und Industriebau, Kurzreferate, 1991, ISBN 3-89288-065-4

Heft 92:

Heins, T.: Simulationsmodell zur sicherheitstechnischen Beurteilung der Rauchausbreitung in ausgedehnten Räumen. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1991; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, ISBN 3-89288-066-2

Heft 93:

Hagen, E.: Zur Prognose des Gefährdungspotentials von Raumbränden. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1992; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1991, ISBN 3-89288-072-7

Heft 94:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachseminar "Instandsetzung und Ertüchtigung von Massivbauten", 14.-15. November 1991 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-068-9

Heft 95:

Qualitätssicherung im Bauwesen, VMPA-Tagung 1992, 25.-26.06.1992, Tagungsbericht, ISBN 3-89288-071-9

Heft 96:

Weiterbildungsseminar "Brandschutz im Industriebau", 30.09.1992 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-070-0

Heft 97:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachseminar "Neue Technologien im Bauwesen", 12.-13.11.1992 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-073-5

Heft 98:

Gunkler, E.: Verstärkung biegebeanspruchter Mauerwerkswände durch bewehrte Ergänzungsschichten. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1992, ISBN 3-89288-074-3

Heft 99:

Dorn, T.: Zur Berechnung des Tragverhaltens brandbeanspruchter Tragwerke in Verbundbauweise unter besonderer Berücksichtigung der Träger-Stützen-Anschlüsse. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993; Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1992, ISBN 3-89288-075-1

Heft 100:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Fachseminar "Stahlfaserbeton", 04.03.1993 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-076-X

Heft 101:

Falkner, H.; Teutsch, M.: Vergleichende Untersuchungen an unbewehrten und stahlfaserbewehrten Industriefußböden. Forschungsbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-077-8

Heft 102:

Falkner, H.; Teutsch, M.: Comparative studies of plain and steel fiber reinforced concrete industrial ground slabs. Forschungsbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-078-6

Heft 103:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1993: Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis. 06.-07.10.1993, Kurzreferate, ISBN 3-89288-079-4

Heft 104:

Thienel, K.-C.: Festigkeit und Verformung von Beton bei hoher Temperatur und biaxialer Beanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1993

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-080-8

Heft 105:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Braunschweiger Bauseminar 1993 "Dauerhafte Bauwerke aus Faserbeton", 11.-12.11.1993 in Braunschweig, Kurzreferate, ISBN 3-89288-081-6

Heft 106:

Neuentwicklungen im baulichen Brandschutz. Dr. Meyer-Ottens 60 Jahre; Fachseminar 18.03.1994 in Braunschweig, ISBN 3-89288-085-9

Heft 107:

Bunte, D.: Zum karbonatisierungsbedingten Verlust der Dauerhaftigkeit von Außenbauteilen aus Stahlbeton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-086-7

Heft 108:

Holzenkämpfer, P.: Ingenieurmodell des Verbundes geklebter Bewehrung für Betonbauteile. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1994, ISBN 3-89288-087-5

Heft 109:

Forschungsarbeiten 1990 - 1994. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994, ISBN 3-89288-088-3

Heft 110:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Rohde, S.: Untersuchung der Schubtragfähigkeit und der Wasserundurchlässigkeit von Arbeitsfugen unter Verwendung von Stremaform-Abschalelementen.

Falkner, H.; Teutsch, M.; Claußen, T.: Schubtragfähigkeit des Vergußbetons zwischen Köcher-, Block oder Hülsenfundamenten und Stützenfuß bei unterschiedlich profilierten Betonoberflächen.  
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994, ISBN 3-89288-089-1

- Heft 111:  
Voß, K.-U.: Zum Trag- und Verformungsverhalten bei Schwellbeanspruchung. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1994  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1993, ISBN 3-89288-090-5
- Heft 112:  
Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 05./06.10.1994 in Braunschweig; Kurzreferate, 1994, ISBN 3-89288-092-1
- Heft 113:  
Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Aus der Forschung in die Praxis: 10./11.11.1994; Braunschweiger Bauseminar 1994, ISBN 3-89288-091-3
- Heft 114:  
Warnecke, P.: Tragverhalten und Konsolidierung von historischem Natursteinmauerwerk, 1995  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-094-8
- Heft 115:  
Braunschweiger Brandschutz-Tage 1995: 6. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 04.-05.10.1995, Kurzreferate, ISBN 3-89288-093-X
- Heft 116:  
Huang, Z.: Grenzbeanspruchung gebetteter Stahlfaserbetonplatten, 1995  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-095-6
- Heft 117:  
Falkner, H.; Teutsch, M.; Huang, Z.: Untersuchung des Trag- und Verformungsverhaltens von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-096-4
- Heft 118:  
Kubat, B.: Durchstanzverhalten von vorgespannten, punktförmig gestützten Platten aus Stahlfaserbeton, 1995  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1995, ISBN 3-89288-097-2
- Heft 119:  
Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Dichte Bauwerke: 09./10.11.1995; Braunschweiger Bauseminar 1995, ISBN 3-89288-091-3
- Heft 120:  
Steinert, C.: Bestimmung der Wärmeübergangsbedingungen auf Bauteile im Brandfall, Abschlußbericht, 1995, ISBN 3-89288-099-9
- Heft 121:  
Schütte, J.; Teutsch, M.; Falkner, H.: Fugenlose Betonbodenplatten, Forschungsbericht, 1996, ISBN 3-89288-100-6
- Heft 122:  
Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 24./25.09.1996 in Braunschweig, Kurzreferate, 1996, ISBN 3-89288-101-4
- Heft 123:  
Droese, S.; Riese, A.: Belastungsversuche an zwei Durchlauf-Plattenstreifen aus Elementplatten mit Aufbeton aus Stahlfaserbeton, 1996, ISBN 3-89288-102-4
- Heft 124:  
Hankers, C.: Zum Verbundtragverhalten laschenverstärkter Betonbauteile unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung, 1996  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1996, ISBN 3-89288-103-0
- Heft 125:  
Schmidt-Döhl, F.: Ein Modell zur Berechnung von kombinierten chemischen Reaktions- und Transportprozessen und seine Anwendung auf die Korrosion mineralischer Baustoffe, 1996  
Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1996, ISBN 3-89288-104-9

Heft 126:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Ingenieurbauwerke mit neuen Konzepten: 14./15.11.1996, Braunschweiger Bauseminar 1996, ISBN 3-89288-105-7

Heft 127:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1990 - 1993, 1996, ISBN 3-89288-106-5

Heft 128:

Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. F. S. Rostásy: Baustoffe in Praxis, Lehre und Forschung, 1997, ISBN 3-89288-107-3

Heft 129:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1994, 1997, ISBN 3-89288-108-1

Heft 130:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1995, 1997, ISBN 3-89288-109-X

Heft 131:

Falkner, H.; Teutsch, M.; Klinkert H.: Trag- und Verformungsverhalten dynamisch beanspruchter Fahrbahnen aus Beton- und Stahlfaserbeton, Forschungsbericht, 1997, ISBN 3-89288-110-3

Heft 132:

Schütte, J.: Einfluß der Lagerungsbedingungen auf Zwang in Betonbodenplatten, 1997

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1997, ISBN 3-89288-111-1

Heft 133:

Braunschweiger Brandschutz-Tage 1997: 7. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis: 01.-02.10.1997, Kurzreferate, ISBN 3-89288-112-X

Heft 134:

Ameler, J.: Betonverhalten bei hohen Temperaturen und triaxialer Beanspruchung - FE-Modell auf der Basis der Betonstruktur, 1997

Zugl.: Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1997, ISBN 3-89288-113-8

Heft 135:

Tagung Konsolidierung von historischem Natursteinmauerwerk: 06./07.11.1997 in Braunschweig, ISBN 3-89288-114-6

Heft 136:

Falkner, H.; Teutsch, M. [Hrsg.]: Innovatives Bauen: 13./14.11.1997, Braunschweiger Bauseminar 1997, ISBN 3-89288-115-4

Heft 137:

Forschung über Baudenkmalpflege - Arbeitsberichte: 1996 - 1997. 1998. ISBN 3-89288-116-2

Heft 138:

Scheibe, M.: Vorhersage des Zeitstandverhaltens unidirektionaler Aramidfaserverbundstäbe in alkalischer Umgebung. 1998. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 1998. ISBN 3-89288-117-0

Heft 139:

Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten : 29./30.9.1998 in Braunschweig ; Kurzreferate. 1998. ISBN 3-89288-118-9

Heft 140:

Gutsch, A.: Stoffeigenschaften jungen Betons - Versuche und Modelle. 1998. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss. ISBN 3-89288-119-7

Heft 141:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.] Beton auf neuen Wegen : 12.-13.11.1998 ; Braunschweiger Bauseminar 1998. ISBN 3-89288-120-0

- Heft 142:  
Betonbau - Forschung, Entwicklung und Anwendung : Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing Horst Falkner am 20.4.1999. 1999.  
ISBN 3-89288-121-9
- Heft 143:  
Teutsch, M ; Klinkert, H.  
Leistungsklassen von Stahlfaserbeton. 1999.  
ISBN 3-89288-122-7
- Heft 144:  
Forschungsarbeiten 1995 - 1999. 1999.  
ISBN 3-89288-123-5
- Heft 145:  
Braunschweiger Brandschutztage 1999: 8. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis ; 4.-5. Oktober 1999 in Braunschweig., Kurzreferate. 1999.  
ISBN 3-89288-124-3
- Heft 146:  
Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]  
Bauen im nächsten Jahrtausend : 11.11.-12.11.1999 ; Braunschweiger Bauseminar 1999.  
ISBN 3-89288-125-1
- Heft 147:  
Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten: 28./29.3.2000 in Braunschweig; Kurzreferate, 2000.  
ISBN 3-89288-126-X
- Heft 148:  
Hariri, K.: Bruchmechanisches Verhalten jungen Betons - Laser-Speckle-Interferometrie und Modellierung der Rißprozeßzone. 2000.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.  
ISBN 3-89288-127-8
- Heft 149:  
Wigger, H.: Rissbildung in historischem Natursteinmauerwerk : Beobachtung, Versuche und Berechnungsmodelle. 2000.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.  
ISBN 3-89288-128-6
- Heft 150:  
Neubauer, U.: Verbundtragverhalten geklebter Lamellen aus Kohlenstofffaser - Verbundwerkstoff zur Verstärkung von Betonbauteilen. 2000  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2000.  
ISBN 3-89288-129-4.
- Heft 151:  
Brandschutz in Chemikalienlagern. 2000.  
ISBN 3-89288-130-8
- Heft 152:  
Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]  
Trends und Entwicklungen im Bauwesen : 9.-10.11.2000 ; Braunschweiger Bauseminar 2000.  
ISBN 3-89288-131-6
- Heft 153:  
Rostásy, F.S. ; Budelmann, H. [Hrsg.]  
Rissbeherrschung massiger Betonbauteile : Bauwerk, Werkstoff, Simulation ; Braunschweig, 20.3.2001.  
ISBN 3-89288-132-4
- Heft 154:  
Krauß, M. ; Hariri, K. ; Rostásy, F.S.  
Hydratationsgrad, Ultraschall-Technik zur Beschreibung der Erhärtung, bruchmechanisches Verhalten jungen Betons : Berichte ; Forschungsprojekt der EU (Brite Euram BE96-3843), IPACS. 2001.  
ISBN 3-89288-135-9.
- Heft 155:  
Gutsch, A. ; Rostásy, F.S.  
Spannungs-Dehnungslinie, viskoelastisches Verhalten und autogenes Schwinden jungen Betons : Berichte ; Forschungsprojekt der EU (Brite Euram BE96-3843), IPACS. 2001.  
ISBN 3-89288-136-7

Heft 156:

Rostásy, F.S. ; Krauß, M. ; Gutsch, A.  
Spannungsberechnung und Risskriterien für  
jungen Beton – Methoden des iBMB : Be-  
richt ; Forschungsprojekt der EU (Brite  
Euram BE96-3843), IPACS. 2001.  
ISBN 3-89288-137-5

Heft 157:

Rostásy, F.S. ; Krauß, M. ; Gutsch, A.  
Früher Zwang in massigen Sohlplatten :  
Bericht ; Forschungsprojekt der EU (Brite  
Euram BE96-3843), IPACS. 2001.  
ISBN 4-89288-138-3

Heft 158:

Braunschweiger Brandschutztage 2001: 9.  
Fachseminar Brandschutz - Forschung und  
Praxis ; 1.-2. Oktober 2001 in Braun-  
schweig., Kurzreferate. 2001.  
ISBN 3-89288-139-1

Heft 159:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]  
Bauen im Wandel der Zeit : 8.-9.11.2001 ;  
Braunschweiger Bauseminar 2001. 2001.  
ISBN 3-89288-140-5.

Heft 160:

Beiträge zum 40. Forschungskolloquium  
des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton :  
11.-12.10.2001 in Braunschweig. 2001.  
ISBN 3-89288-141-3

Heft 161:

Dora, B.: Hydraulisch erhärtende Baustoffe  
aus Betonbrechsand – Phasenveränderun-  
gen durch Temperaturbehandlung und  
Einsatzmöglichkeiten.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2001.  
ISBN 3-89288-142-1.

Heft 162:

RO 70 : 50 Jahre Forschung und 25 Disser-  
tationen ; Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. zum  
70 Geburtstag gewidmet. 2002.  
ISBN 3-89288-143-X.

Heft 163:

Praxisseminar Brandschutz bei Sonderbau-  
ten : 1. und 2. Oktober 2002 in Braun-  
schweig ; Kurzreferate.  
2002.  
ISBN 3-89288-144-8

Heft 164:

Stahlfaserbeton : Ein unberechenbares Ma-  
terial? ; 14.-15. November - Braunschwei-  
ger Bauseminar 2002.  
ISBN 3-89288-145-6

Heft 165:

Niemann, P.  
Gebrauchsverhalten von Bodenplatten aus  
Beton unter Einwirkungen infolge Last und  
Zwang. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss.,  
2002.  
ISBN 3-89288-146-4

Heft 166:

Budelmann ; H. ; Falkner, H. [Hrsg.]  
Bauen im Bestand : 25. März 2003.  
ISBN 3-89288-147-2

H. 167:

Blume, G.W.: Ingenieurmodell zur brand-  
schutztechnischen Bemessung von Bautei-  
len auf der Basis von experimentell ermit-  
telten Verbrennungseffektivitäten. 2003.  
Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2002.  
ISBN 3-89288-148-0

H. 168:

Braunschweiger Brandschutztage 2003: 10.  
Fachseminar Brandschutz - Forschung und  
Praxis ; 30.9. - 1.10.2003 in Braunschweig.,  
Kurzreferate. 2003.  
ISBN 3-89288-149-9

H. 169:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]  
Bauforschung und –praxis in schwierigen  
Zeiten : 13. und 14. November ; Braun-  
schweiger Bauseminar 2003.  
ISBN 3-89288-150-2

H 170:

Hemmy, O.: Zum Gebrauchs- und Tragverhalten von Tunnelschalen aus Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärktem Stahlbeton. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2003. ISBN 3-89288-151-0

H. 171:

Dehne, M.: Probabilistisches Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung. 2003.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2003. ISBN 3-89288-153-7

H. 172:

Paliga, K.: Entstehung und Vermeidung von Betonabplatzungen bei Tunnelbränden. 2003.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2003. ISBN 3-89288-154-5

Heft 173:

Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hossler : Brandschutz und mehr... 2003.

ISBN 3-89288-152-9

Heft 174:

Timm, M.: Verbundwirkung des Betons im Bereich von STREMAFORM - Abschalelementen : Untersuchungsbericht ; Okt. 2000. 2004.

ISBN 3-89288-156-1

Heft 175:

Zehfuß, J.: Bemessung von Tragsystemen mehrgeschossiger Gebäude in Stahlbauweise für realistische Brandbeanspruchung. Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004.

ISBN 3-89288-155-3

Heft 176:

Nause, P.: Berechnungsgrundlagen für das Brandverhalten von Druckgliedern aus hochfestem Beton. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004. ISBN 3-89288-157-X

Heft 177:

Budelmann ; H. ; Falkner, H. [Hrsg.]  
Bauen im Bestand : 23. März 2004.  
ISBN 3-89288-158-8

H. 178:

Praxisseminar Brandschutz bei Sonderbauten : 29. – 30.9.2004 in Braunschweig ; Kurzreferate. 2004.

ISBN 3-89288-159-6

H. 179:

Krauß, M.: Probabilistischer Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen gegen frühe Trennrisse in massigen Betonbauteilen. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004. ISBN 3-89288-160-X.

H. 180:

Weiske, R.

Durchleitung hoher Stützlasten bei Stahlbetonflachdecken. 2004.

Zugl.: Braunschweig, TU, Diss., 2004. ISBN 3-89288-161-8.

H. 181:

Falkner, H. ; Teutsch, M. [Hrsg.]

Qualität im Bauwesen : 11. und 12. Nov. ; Braunschweiger Bauseminar 2004.

ISBN 3-89288-162-6

H. 182:

Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Peter Großkurth : Struktur und Anwendung der Baustoffe. 2005.

ISBN 3-89288-163-4

H. 183:

Budelmann, H. ; Laube, M. ; Hinrichs, W. [Hrsg.]

Bauen im Bestand : 23. Februar 2005.

ISBN 3-89288-164-2

H. 184:

Hinrichs, W.

Charakterisierung einer einheitlichen  
Messmethodik und Validierung ausgewähl-  
ter Verfahren für die Bestimmung der Ma-  
schenweiten von Stahldrahtgeweben : Das  
Forschungsvorhaben wurde von der Stif-  
tung Stahlanwendungsforschung im Stifter-  
verband für die Deutsche Wissenschaft e.V.  
gefördert (Az: A 182/S24/10036/02). März  
2005.

ISBN 3-89288-166-9.



**Druck und Einband**  
**Druckerei & Buchbinderei Wolfram Schmidt**  
**38114 Braunschweig · Hamburger Str. 267**  
**Telefon: 0531/ 33 75 89 · Fax: 0531/ 34 44 49**  
**E-Mail: Schmidt.Druck.BS@t-online.de**

# FACHGEBIETE UND ABTEILUNGEN

---

## *IBMB:*



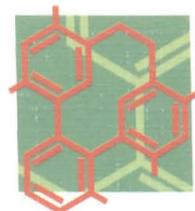
Baustoffe und  
Stahlbetonbau



Massivbau



Brandschutz und  
Grundlagen des  
Massivbaus



Struktur und  
Anwendung der  
Baustoffe

## *MPA:*



MT  
Mechanische  
Technologie



SWF  
Schall, Wärme,  
Feuchte



BS  
Brandschutz



CPU  
Chemie, Physik,  
Umwelt



BEA  
Bauwerkserhaltung  
und -abdichtung



DKD  
Kalibrierlabor



QMD  
Qualitätswesen,  
Messtechnik und  
Datenverarbeitung



ZAR  
Zertifizierung,  
Akkreditierung,  
Regelsetzung