

ISBN 3-88314-920-9

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

# **Forschungsbericht 161**

## **Untersuchung zur Ermittlung der Biegefestigkeit von Flachglas für bauliche Anlagen**

von Dipl.-Ing. Günter Mellmann  
Dr.-Ing. Matthias Maultzsch

Juli 1989

72 Seiten, 9 Abbildungen, 19 Tabellen

Herausgegeben von der  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45  
Telefon (030) 8104-1      Telex 183 261 bamb d  
Telefax (030) 8 112 029      Teletex 2 627-308 372=bamb

Copyright © 1989 by Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Verlag und Vertrieb:  
Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, 2850 Bremerhaven 1  
Telefon (0471) 46093-95

## Kurzfassung

Im Rahmen eines vom Institut für Bautechnik finanziell geförder-ten und von der Glasindustrie mit Versuchsmaterial unterstützten Forschungsvorhabens wurden in der Bundesanstalt für Materialfor-schung und -prüfung (BAM) Doppelring-Biegeversuche an quadrati-tischen Proben mit 30 cm Seitenlänge, Biegeversuche bei zwei-seitiger Auflagerung nach DIN 52303 Teil 1 und Doppelring-Biege-versuche nach DIN 52292 Teil 2 an 6 mm und 10 mm dickem, vorge-spanntem und nicht vorgespanntem Flachglas durchgeführt.

Für die Doppelring-Biegeversuche mit überlagertem Gasdruck an Scheibenformaten 1 m x 1 m ist eine Versuchseinrichtung entwikkelt worden. Um einen möglichst gleichmäßigen Verlauf der Ra-dialspannung innerhalb des Lastringes zu erhalten, regelt ein Mikrocomputer den Gasdruck nach einer gespeicherten Kennlinie. Nach Ermittlung der Zusammenhänge von Oberflächenverformung, Durchbiegung und Spannung an einigen Proben konnte der Span-nungszustand weiterer Proben aus der an neun Stellen kontinuier-lich während des Versuchs gemessenen Durchbiegung hergeleitet werden.

Die statistische Auswertung aller Prüfserien erfolgte nach übli-chen Verteilungsfunktionen wie Normal-, Lognormal- und Weibull-verteilung; die Ergebnisse werden diskutiert.

Am gleichen Material derselben Hersteller sind Versuche an Scheiben von 1 m x 1 m bis 2 m x 3 m bei zwei- oder vierseitiger Auflagerung unter gleichmäßig verteilter Flächenbelastung durch-geführt worden (vgl. Forschungsbericht 162 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, 1989). Die Ergebnisse beider Vorhaben sind vergleichend im BAM - Forschungsbericht 163 "Biegefestigkeit und Tragfähigkeit von Scheiben aus Flachglas für bauliche Anlagen" ausgewertet.

## Summary

Within the scope of a research project executed with financial support of the Institut für Bautechnik, the Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) carried out co-axial double-ring bending tests on square samples of 30 cm of side length, bending tests on samples supported on two sides according to DIN 52 303 part 1 as well as co-axial double-ring bending tests according to DIN 52 292 part 2. The material used was 6 mm and 10 mm thick prestressed and not prestressed flat glass. The test material was placed at BAM's disposal by the glass industry.

For the co-axial double-ring bending tests with superimposed gas pressure carried out on sheets of glass of 1 m x 1 m a special testing device was developed. In order to obtain in the interior of the ring the most uniform possible progression of the radial tension, a microcomputer was used to control the gas pressure according to a stored characteristic curve. After having determined the interrelationship of surface deformation, deflection and stress on a certain number of samples, it was possible to deduce the state of stresses of further samples from the deflection measured continuously in nine points during the test.

The statistic evaluation of the test series was carried out according to conventional distribution functions as for instance normal, log-normal and "Weibull" distribution; the results are discussed.

On sheets of glass of 1 m x 1 m up to 2 m x 3 m of the same material supplied by the same manufacturers tests were carried out with uniformly distributed surface load, the sheets being supported on two or four sides (see BAM research report No. 162). The results of both research projects are compared to another in BAM research report No. 163 "Bending strength and load capacity of sheets of flat glass used in building construction".

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	7	4.1.1	Maschinenbeschreibung	25
<b>2</b>	<b>Literatursichtung</b>	8	4.1.2	Funktionsbeschreibung	27
2.1	Frühe Arbeiten	8	4.1.3	Versuchsablauf	29
2.2	Untersuchungen einzelner Parameter	9	4.1.4	Ergebnisse	31
2.3	Prüfnormen	12	4.2	Bestimmung der Biegefestigkeit durch Prüfung bei zweiseitiger Auflagerung	32
2.4	Weitere Vorschläge für Prüfverfahren	13	4.3	Doppelring-Biegeversuch an plattenförmigen Proben mit mittleren Prüfflächen	33
2.5	Schlußfolgerung	15			
<b>3</b>	<b>Auswertung der Prüfungsergebnisse der Industrie</b>	18	<b>5</b>	<b>Statistische Auswertung der in der BAM durchgeführten Untersuchungen</b>	35
3.1	Einfluß der Scheibendicke auf die Biegefestigkeit	18	5.1	Nichtlineare Regressionsrechnung	35
3.2	Einfluß der Scheibendicke auf die Streuung der Einzelwerte	19	5.2	Weibullverteilung (gem. NMP 354)	47
3.3	Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit auf die Biegefestigkeit	19	<b>6</b>	<b>Diskussion einiger Ergebnisse</b>	51
3.4	Einfluß der Herstellungsseite auf die Biegefestigkeit	20	<b>7</b>	<b>Hinweise zur Einbeziehung der Ergebnisse bei der Sicherheitsbeurteilung von Glasbauteilen</b>	55
3.5	Einfluß der Prüfmethode auf die Biegefestigkeit	20		Literatur	57
3.6	Statistische Auswertung	20	Anhang	Einzelwerte der Biegefestigkeit, Tabelle 3 bis 6	65
3.6.1	Meßreihen mit großem Stichprobenumfang	21			
3.6.2	Meßreihen mit kleinem Stichprobenumfang	24			
<b>4</b>	<b>Untersuchungen der BAM</b>	25			
4.1	Doppelring-Biegeversuch an plattenförmigen Proben mit großen Prüfflächen	25			



## 1 Aufgabenstellung

Die zunehmende Verwendung von Glas für Fassadenbekleidungen, absturzsichernde Bauteile etc. erfordert gesicherte Kenntnisse der Werkstoffeigenschaften, insbesondere der Biegefestigkeit und der Möglichkeiten ihrer Überprüfung.

Bisher von der Industrie an Flachglas ermittelte Biegefestigkeitswerte wurden im Rahmen dieses Vorhabens ausgewertet. Darauf aufbauend und unter Berücksichtigung einer Literaturlauswertung wurden die Anwendungsmöglichkeiten und die Einflußgrößen mehrerer Prüfverfahren in eigenen Versuchsreihen an Gläsern unterschiedlicher Art und Dicke (vgl. Tabelle 1) untersucht.

Mit Hilfe aller Ergebnisse konnte die Biegefestigkeit von gekühltem (Floatglas) und thermisch vorgespanntem (ESG) Flachglas für bauliche Anlagen derart ermittelt werden, daß die notwendigen Sicherheitsanforderungen der Bauaufsicht mit hinreichender Genauigkeit festgelegt werden können.

Tabelle 1

Glasart	Nennstärke	
	6 mm	10 mm
	Maße der Proben mm	
ESG	1100 x 360 1000 x 1000	1100 x 360
FLOAT	300 x 300 1000 x 1000	300 x 300 1000 x 1000

## 2 Literatursichtung

### 2.1 Frühe Arbeiten

Die ältesten Arbeiten über die Biegefestigkeit von Glas für bauliche Anlagen sollen die von SCHWERING 1890 und von HARTIG 1892 ("Über die Biegefestigkeit des Drahtglases") sein (zit. in /1/). Erst 1925 wird das Thema von O. GRAF wieder aufgegriffen /1/. In einer systematischen Untersuchung zur Format- und Dickenabhängigkeit findet er, von der maximalen Scheibengröße 400 x 800 mm<sup>2</sup> ausgehend, mit kleiner werdenden Proben Biegefestigkeiten, die von 21 N/mm<sup>2</sup> bis nahe 50 N/mm<sup>2</sup> ansteigen. In einer späteren Arbeit weist GRAF auf große Festigkeitsunterschiede der Flachgläser verschiedener Hersteller hin /2/; die Mittelwerte, gemessen an 100 mm breiten Streifen, liegen zwischen 35 und 58 N/mm<sup>2</sup>. An großen, praxisgerechten Scheiben von 870 x 1450 mm<sup>2</sup> bzw. 870 x 2250 mm<sup>2</sup> werden jedoch nur Werte von 12,8...20,7 N/mm<sup>2</sup> gefunden. Bei allseitiger Auflage quadratischer Scheiben von 500 und 700 mm Kantenlänge und gleichmäßiger Flächenlast wird der Wert 15 N/mm<sup>2</sup> nicht unterschritten. Die Berechnungsweise der Bruchspannung ist allerdings nicht angegeben. Auch ALBRECHT prüft schon um 1930 im Hinblick auf das Bauwesen großformatige Scheiben von 1400 x 730 mm<sup>2</sup> (= 1 m<sup>2</sup>) /3/. Für die in der Fläche mit Wasserdruck belasteten Proben werden Bruchlasten von 400...500 kg angegeben, eine Umrechnung in Festigkeitswerte wird vermieden. Versuche an vorgespanntem Spiegelglas werden von L. v. REIS 1935 dargestellt /4/. Hier werden Kurzzeitfestigkeiten von 200...300 N/mm<sup>2</sup> und die Dauerstandsfestigkeit für 6 mm dicke Gläser mit ca. 160 N/mm<sup>2</sup> angegeben.

1943 berichten JEBSEN-MARWEDEL und DINGER über systematische Versuche an Tafelglasscheiben "mit Bezug auf Fragen der Normung" /5/. Die Scheiben, die allseitig mit Profilmgummi in einen Holzrahmen eingespannt sind, werden mittig mit einem gummigepolsterten Druckstempel belastet. Proben mit Seitenverhältnissen 1:1, 1:2, 1:3 und 1:4, mit Flächen von 144 cm<sup>2</sup> bis 1296 cm<sup>2</sup> (Flächenverhältnisse 1:4:9) und mit Dicken von 1...4 mm werden geprüft. Die Autoren stellen fest, daß die Bruchlast bei jeweils gleichem Seitenverhältnis weitgehend unabhängig von der Scheibengröße, die Bruchspannung mithin der Fläche umgekehrt proportional ist.



Mit der Scheibendicke steigt die Bruchlast eher linear, nicht jedoch quadratisch an. Wesentlich sind die Feststellungen zum Mittelwert der Bruchspannung: 90 % aller Scheiben einer Dicke und eines Formates erbringen Werte, die innerhalb eines Bereiches von + 55 % um den Mittelwert liegen, während der jeweilige Minimalwert um mindestens 75 % unter, der Maximalwert um mindestens 150 % über dem Mittelwert liegt. Stets werden mehr Werte unterhalb als oberhalb des Mittelwertes gefunden. Diese asymmetrische Häufigkeitsverteilung bestätigen GOERK und LEDERER 1956 in Prüfungen an 150 mm breiten Streifen, die bei einer Stützweite von 550 mm mit einer Mittelschneide belastet werden /6/. Der Gesamtmittelwert von 49 N/mm<sup>2</sup> wird von Extremwerten um 38 % unter- und 53 % überschritten, 134 Einzelwerte liegen unterhalb und nur 117 oberhalb des Mittelwertes.

## 2.2 Untersuchungen einzelner Parameter

Schon früh ist erkannt worden, daß die Versuchsbedingungen die Prüfwerte der Biegefestigkeit meist stärker beeinflussen als bspw. die Glaszusammensetzung, d.h., die materialspezifischen Werte sind nur schwer zu bestimmen /7/. Es fehlt daher nicht an Versuchen, die Bedeutung einzelner Einflußgrößen zu ermitteln. Erwähnt wurde bereits der sehr große Einfluß des Probenformates, der seit der ersten Arbeit von GRAF /1/ sich immer wieder findet /2, 5, 7 u.a./. Mit zunehmender Größe der auf Zug beanspruchten Fläche verringert sich der Wert der Bruchspannung, was allgemein auf die zunehmende Wahrscheinlichkeit des Auftretens bruchauslösender Fehlstellen im Bereich größter Zugspannungen erklärt wird. Schon SMEKAL führt 1935 die "Probleme der Zerreißfestigkeit des Glases und ihrer Gesamtstreuung" restlos auf "Probleme der inneren sowie oberflächlichen Glasfehler" zurück /8/. Zugversuche an Stäbchen ergeben nach SMEKAL /9/ bei geschliffener Oberfläche Werte um 80 N/mm<sup>2</sup>, bei feuerpolierter 100...160 N/mm<sup>2</sup> und säurepolierter Oberfläche bis zu 200 N/mm<sup>2</sup>. In Biegeversuchen an Flachgläsern finden HOLLAND und TURNER /10/ eine merkliche Reduzierung der Festigkeitswerte, wenn die Oberfläche in der Zugzone mit Diamanten oder Stahlnadeln geritzt wird und die Ritzbreite größer als 1 µm ist. Untersuchungen von SCHÖNBRUNN /11/ und STAHN /12/ an Flachgläsern mit definierten Oberflächenschädigungen zeigen die Zusammenhänge zwischen Schädigungsart und Biegefestigkeit auf. So nimmt die Festigkeit von Gläsern,

die mit Schleifpapier behandelt worden sind, mit steigender mittlerer Korngröße des Schleifmittels ab, wobei die Darstellung der Versuchsergebnisse die asymptotische Näherung an einen unteren Grenzwert vermuten lassen kann /11/. Eine negativ-lineare Abhängigkeit besteht zwischen dem Logarithmus der Biegefestigkeitswerte und dem Logarithmus der Tiefe der mit einer Diamantpyramide erzeugten Eindrücke in der Oberfläche. Vor allem aber kann die Streuung der Meßwerte mittels der definierten Oberflächenverletzung drastisch reduziert werden. So geht bei den Biegeversuchen nach der 4-Schneiden-Methode der Variationskoeffizient von 24,8...31,9 % nach dem Schleifen auf 4,2...15,0 % /11/ und bei Versuchen nach der Doppelringmethode (s.u.) an kleinen Proben auf Werte unter 4 % /12/ zurück. Auch SCHARDIN /13/ konstatiert schon in einem 1959 erschienenen Aufsatz die Halbierung des mittleren Fehlers der Einzelwerte bei der Biegeprüfung, wenn die Oberfläche in der Zugzone sandstrahlmattiert ist.

Nicht nur künstlich aufgebrachte, sondern auch produktionsbedingte Oberflächenverletzungen können eine maßgebliche Rolle spielen. An Float-Glas konnten BOGUSLAVSKII et al. /41/ eine wesentlich höhere Häufigkeit an Oberflächendefekten auf der "Badseite" als auf der "Luftseite" nachweisen, die mit geringerer Scheibendicke zunahm. Hierauf führten sie die deutlich niedrigeren Biegezugfestigkeitswerte der Proben, deren "Badseite" in der Zugzone lag, im Vergleich zu denen mit der "Luftseite" in der Zugzone zurück.

GRAF /1/ nennt bereits den bedeutenden Einfluß der Kantenbeschaffenheit auf die Ergebnisse der Biegeprüfung. Dazu legen HOLLAND und TURNER systematische Untersuchungen an Glasstreifen von 100 mm Länge und 4...16 mm Breite vor /10/. Liegt die geschnittene, d.h. kerbenreiche Kante in der Zugzone, werden nach der 3-Schneiden-Methode Biegefestigkeiten von 57...67 N/mm<sup>2</sup> gefunden; liegt die geschnittene Kante in der Druckzone, steigen die Werte auf 97...100 N/mm<sup>2</sup> an. Die geschmirgelte Kante führt zu Werten um 55 N/mm<sup>2</sup> - d.h. die Kerbwirkung ist hier größer als beim Schnitt -, während das Polieren je nach Güte Festigkeiten bis über 100 N/mm<sup>2</sup> bewirkt.

Ausführliche Erörterungen des speziellen Einflusses der thermischen Vorspannung auf die Biegefestigkeit und Oberflächenver-

letzbarkeit finden sich in den Arbeiten von BLANK /42/, DANNHEIM et al. /43/ und EXNER /44/. Letzterer weist deutlich auf die notwendige Unterscheidung der stoffeigenen "Biegespannung" und der üblicherweise gemessenen "Prüfbiegespannung" hin, die durch die beim Vorspannprozeß in der Oberflächenschicht erzeugte Druckspannung erheblich erhöht wird.

Die Zunahme der Biegebruchspannung bei steigender Belastungsgeschwindigkeit wird von BLACK 1936 beschrieben /14/, ermittelt an Glasstreifen 50 x 250 mm<sup>2</sup>. Während der größte Einzelwert bei "normaler" Belastungsgeschwindigkeit bei 110 N/mm<sup>2</sup> liegt, beträgt der kleinste bei Dauerlast gefundene ca. 20 N/mm<sup>2</sup>. SMEKAL nennt für diesen Einflußfaktor die empirisch aus seinen umfangreichen Versuchen abgeleitete Formel  $\sigma_B = A + B \log v$ , wobei  $\sigma_B$  die Bruchspannung,  $v$  die Spannungssteigerungsgeschwindigkeit und A und B Konstanten sind /15/.

Zahlreiche Arbeiten beschäftigen sich schon früh mit der Kinetik des Bruchvorgangs; hier sind vor allem die von SMEKAL /8, 9, 16/, SCHARDIN /13, 17, 18/ und in neuerer Zeit die von KERKHOF und Mitarbeitern /19, 20, 21/ zu nennen. SMEKAL betrachtet die Bruchspiegel, die bei Zugversuchen an Stäben entstehen, und leitet allgemeine Deutungen daraus ab, wie z.B. den Zusammenhang zwischen zunehmender Bruchspiegelgröße und abnehmender Festigkeit als Materialkennkurve der Gläser /8/. Da die Spiegelgröße auch mit abnehmender Belastungsgeschwindigkeit wächst, deutet er die Möglichkeit an, aus der Materialkennkurve die Dauerstandsfestigkeit zu ermitteln. SCHARDIN bestimmt in kinematographischen Untersuchungen die Bruchausbreitungsgeschwindigkeit im normalen Flachglas zu 1520 m/s, i.a. unabhängig von anderen Parametern /17/. Ferner beschreibt er die Art der Bruchausbreitung sowie Entstehung und Deutung der Wallner-Linien /18/. In Anwendung der Bruchmechanik auf Gläser stellt KERKHOF die Abhängigkeit der Bruchgeschwindigkeit vom Spannungsintensitätsfaktor sowie von der in begrenztem Bereich wirksamen Atmosphäre dar, wobei bei hohen Spannungen wiederum der schon von SCHARDIN genannte Wert um 1500 m/s gefunden wird /20/. Hier wird auch die Möglichkeit erläutert, aus dem Bruchbild, der Bruchspiegelgröße und dem Verlauf der Wallner-Linien, auf die Bruchspannung zu schließen. Weiterhin wird dargestellt, daß aus bruchmechanischen Untersuchungen und Berechnungen die wahrscheinliche Lebensdauer von Gläsern abgeleitet werden kann /21/.

Der Einfluß der Temperatur auf die gemessenen Biegefestigkeitswerte wird i.a. als untergeordnet betrachtet /7/. Lediglich die Bruchspiegelgröße könnte beeinflußt werden /9/. Betrachtet man allerdings sehr weite Temperaturbereiche, so wird festgestellt, daß bei tiefen Temperaturen die Biegefestigkeit höher ist als bei Raumtemperatur; ein Minimum wird zwischen 200 und 300 °C erreicht, darüber steigen die Werte wieder leicht an /22/.

### 2.3 Prüfnormen

Eine erste normmäßige Festlegung eines Prüfverfahrens wird 1934 veröffentlicht, allerdings im Hinblick auf die Fahrzeugverglasung /23/. Darin wird ein Mindestformat der Scheiben von 300 x 300 mm<sup>2</sup> vorgeschrieben, die Stützweite soll 100 mm kleiner als die Probenlänge, also mindestens 200 mm sein. Die Auflager und die mittig angeordnete Lastschneide sollen aus abgedrehtem Stahl mit 50 mm Ø bestehen. Ohne Festlegung von Laststeigerungsgeschwindigkeiten und Einwirkungsdauer sind die Proben so zu belasten, daß im Prüfquerschnitt eine Spannung von 1600 kp/cm<sup>2</sup> herrscht. Mit Hilfe dieser Attributsprüfung wird also praktisch eine Mindestfestigkeit von 157 N/mm<sup>2</sup> gewährleistet.

Bei Wiederaufnahme der Bearbeitung dieser Norm im Jahre 1952 herrscht Übereinstimmung, zu größeren Probenformaten und einem größeren Bereich gleichen maximalen Biegemomentes zu kommen, obwohl das bisherige Verfahren bereits von spanischen und französischen Prüfnormen übernommen worden ist. 1957 kann dann die erste Ausgabe der DIN 52303 erscheinen, in der die 4-Schneiden-Methode für Scheibenformate 1100 x 360 mm<sup>2</sup> beschrieben wird /24/. Diese ebenfalls vorzugsweise für Sicherheitsglas im Fahrzeugbau vorgesehene Norm wird später so bearbeitet, daß der Anwendungsbereich sich ausdrücklich auf Glas im Bauwesen bezieht /25/. Die erste Norm zur Prüfung von Glas für bauliche Anlagen auf Biegefestigkeit kann - für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland - also auf das Jahr 1976 datiert werden.

In der DDR ist mit der TGL 14804, Ausgabe 1963, zunächst noch die Prüfmethode der DIN 52303 übernommen worden /26/. In der Neufassung von 1973 jedoch wird ein völlig anderes Verfahren eingeführt. Scheiben von 1100 x 700 mm<sup>2</sup> werden mittels Wasserdruck gleichmäßig bis zum Bruch belastet. Die nach der Norm definierte Biegefestig-

keit wird aus dem Wasserdruck  $p$  (in mm WS) und der Scheibendicke  $s$  (in cm) nach der Gleichung  $\sigma_B = 0,32 p/s^2$  (in  $kp/cm^2$ ) berechnet. Hier wird also versucht, für Gläser im Bauwerk ein der praktischen Beanspruchung näherkommendes Prüfverfahren einzusetzen. In den USA dagegen findet sich nur ein praxisferneres Normverfahren, bei dem Proben von  $250 \times 38,1 \text{ mm}^2$  mit 2 Schneiden im Abstand von 100 mm bei 200 mm Stützweite belastet werden /28/. Obwohl die Prüfung ausdrücklich auch für gekühltes Glas anzuwenden ist, fehlen präzise Vorschriften für die Kantenbearbeitung. Insgesamt kann festgestellt werden, daß die Normung der Ermittlung der Biegefestigkeit von Glas für bauliche Anlagen international erst am Anfang steht.

#### 2.4 Weitere Vorschläge für Prüfverfahren

Viele frühe Arbeiten zur Prüfung von Flachglas wenden die klassische Biegefestigkeitsprüfung an, d.h. zweiseitige Lagerung rechteckiger Scheiben und Lasteintragung über ein oder zwei Lastschneiden parallel zu den Auflagern /u.a. 1, 2, 4, 6, 10, 14/, und auch neuere Untersuchungen und Prüfnormen beinhalten diese Methode für kleine und größere Formate /u.a. 11, 25, 28/. Gegen diese Verfahren wird von Beginn an eingewandt, daß die zweiseitige Lagerung den praktischen Bedingungen im Bauwesen selten entspricht, den Einfluß der freien Kanten auf die Bruchauslösung zu stark und die Prüfstreuung damit zu groß werden läßt. Ferner werden die mangelnde Übertragbarkeit der Prüfungsergebnisse auf großformatige Scheiben und die nicht praxisgerechte Lasteintragung immer wieder genannt. So hat es nie an Vorschlägen gefehlt, die zu prüfenden Gläser bei vierseitigem oder kreisförmigem Auflager vollflächig zu belasten, wobei überwiegend große Formate eingesetzt werden. ALBRECHT berichtet bereits 1931 über Versuche an  $1 \text{ m}^2$  großen Scheiben (s.o.), die mit Wasserdruck belastet werden (die Möglichkeit, den gleichen Belastungszustand durch Unterdruck auf der Gegenseite aufzubringen, wird erwähnt) /3/. Von Interesse ist hier noch der Vorschlag, stark profilierte Gußgläser auf einer Kugelscheibe zu lagern, um Spannungsspitzen am Auflager zu vermindern. Sehr viel später erweitert EGNER diese Versuche bis auf Flächengrößen von  $12 \text{ m}^2$  /29/. Mit Hilfe von Dehnungsmessungen an der Scheibenoberfläche sowie der Entwicklung von neuen Rechenmethoden für den Bereich außerhalb der linearen Plattentheorie gelingt es dem Autor, Bruchspannungswerte anzugeben, die sich nahezu unabhängig vom

Scheibenformat - bei sehr großen Scheiben zumindest - im Bereich 25...43 N/mm<sup>2</sup> bewegen. Er schlägt daher für vierseitig gelagerte große Scheiben einen zulässigen Spannungswert von 20 N/mm<sup>2</sup> vor. Neuere Arbeiten von ALEKSANDROV et al. /30/ über die Festigkeit von bis zu 1,8 x 1,5 m<sup>2</sup> großen Glasscheiben wenden ebenfalls die vierseitige Lagerung, jedoch die Lasteintragung mit Luftdruck (über eine Gummimembran) an. Die dabei gemessenen Spannungen nehmen, in Abhängigkeit von der Flächenlast, in der Scheibenmitte etwa den gleichen Verlauf wie von EGNER beschrieben. Die Maximalspannungen dagegen treten bei steigender Last zunehmend näher dem Bereich der Scheibenecken auf und liegen in ihrer Höhe zwischen den in Scheibenmitte gemessenen und den nach der linearen Theorie berechneten Werten. Noch stärker an die Praxis angelehnt sind die Prüfungen von SPIEKERMANN /31/, der je 3 Drahtglasscheiben von (1 x 1)m<sup>2</sup> bis (0,6 x 3)m<sup>2</sup> Größe nebeneinander in Rahmen einsetzt und vollflächig belastet, um hier den in der Praxis vorhandenen Einfluß der Elastizität der Rahmenprofile sowie der Auflagerbreite mitzuerfassen.

Die entgegengesetzte Richtung, nämlich zu kleineren Scheibenformaten, schlagen SCHARDIN und KERKHOF /32/ ein, die 1955 vorschlagen, kreisförmige Scheiben von 4...32 cm Durchmesser am Rande einzuspannen und über eine Gummimembran mit Wasserdruck zu belasten. Sie berechnen die Festigkeit aus der lichtoptisch gemessenen Krümmung der Scheibe im Bruchsprung bei Eintritt des Bruches. Bei geringer Streuung der Meßwerte werden für gekühltes Glas mittlere Festigkeiten um 90 N/mm<sup>2</sup> gefunden.

Als weiteren Verfahrensvorschlag kann man die schon erwähnte Methode von JEBSEN-MARWEDEL und DINGER /5/ ansehen, bei der ebenfalls der Kanteneinfluß durch vierseitige Lagerung der rechteckigen Proben zurückgedrängt wird, die Lasteintragung jedoch durch einen mittigen Druckstempel erfolgt. Dieses Verfahren wird gelegentlich auch in der BAM für Glas-Bauelemente angewandt. Allgemein hat es sich dagegen nur in abgewandelter Form für die Attributprüfung von Sicherheitsgläsern für Schiffsfenster durchgesetzt /33/.

Eine Prüfmethode, die sowohl den Kanteneinfluß ausschließt als auch eine einfache Berechnung der Biegefestigkeit aus der Bruchlast ermöglicht, ist die Doppelringmethode, die ausführlich von

FAYET /34/ und KAO et al. /35/ sowie hinsichtlich der Normung für kleine Formate (100 x 100 mm<sup>2</sup>) von STAHN /12/ und für größere Formate anhand zahlreicher Versuche an Flachglas im Bauwesen von WOELK und ELSENHEIMER /36/ dargestellt wird. Quadratische oder runde Scheiben werden durch zwei konzentrische Ringe von unterschiedlichem Durchmesser auf Biegung beansprucht. Unter bestimmten Bedingungen, die von den Maßen der Probe und der Ringe sowie der Prüflast abhängen, kann die Fläche innerhalb des kleineren Ringes einer annähernd gleichmäßigen Zugspannungsbeanspruchung unterworfen sein. Bei größeren Formaten und größerer Durchbiegung bilden sich allerdings starke Spannungsüberhöhungen unter dem inneren Ring aus. Dieser Mangel läßt sich weitgehend beheben durch einen zusätzlichen Gasdruck, der die Spannungen im Inneren des kleineren Ringes auf die gleiche Höhe anhebt wie unter dem Ring selbst /37/. Letzteres bedeutet aber auch, daß ein erhöhter Prüfaufwand erforderlich wird. Dennoch ist es inzwischen aufgrund weiterer Versuche von BLANK et al. /37/ sowie der vorliegenden Untersuchungen zur Normungsreife geführt worden /40/.

## 2.5 Schlußfolgerung

Für die Bemessung von Glasbauteilen ist es erforderlich, die Tragfähigkeit, d.i. in erster Linie die Biegefestigkeit, des Baustoffes Glas zu kennen. Die Tragfähigkeit unter einsatzgerechten Bedingungen zu ermitteln, ist, wie in der Literatur vielfach beschrieben, annähernd möglich, indem im Bauwesen übliche Formate vollflächig durch Wasser- oder Luftdruck bzw. durch Unterdruck belastet werden. Die flächenbezogenen Bruchlasten - die für die Bemessung letztlich entscheidend sind - können eindeutig bestimmt werden /3, 31/, die Ermittlung der Biegebruchspannung birgt jedoch experimentelle und theoretische Probleme /29, 30/. Der hohe Prüfaufwand beschränkt dieses Verfahren allerdings auf Sonderprüfungen, während es für die Routineprüfung nicht angebracht erscheint.

Von den üblichen Biegeprüfungen ist die 4-Schneiden-Methode zu bevorzugen, da hierbei die Probe im Bereich zwischen den Lastschneiden relativ gleichmäßig beansprucht und damit der Prüfwert weniger von der zufälligen Lage des bruchauslösenden inneren oder äußeren Fehlers beeinflusst wird. Im Hinblick auf die im Bauwesen üblichen Scheibengrößen einerseits und auf die Handha-

bung und den Materialaufwand bei der Prüfung dürfte das in DIN 52303 /46/ festgelegte Format 1100 x 360 mm<sup>2</sup> einen sinnvollen Kompromiß darstellen. Auf den entscheidenden Einfluß der Kantenbeschaffenheit auf die Bruchauslösung ist hingewiesen worden (vgl. Abschn 2.1, 2.4); die Spannweite der Biegefestigkeitsprüfungsergebnisse in der zitierten Literatur von 20...200 N/mm<sup>2</sup> für gekühltes Glas /1, 2, 4, 6, 10, 11, 14, 25, 28/ ist weitgehend darauf zurückzuführen. Ob allerdings das Verfahren auf vorgespanntes Glas, bei dem der Kanteneinfluß zurücktritt, beschränkt werden sollte, ist fraglich, sofern nicht entsprechende Anwendungs- und Einbaubeschränkungen erlassen werden.

Als weiteres für Routineprüfungen praktikables Verfahren erweist sich die Doppelringmethode, wobei für die Prüfung von Glas im Bauwesen das von WOELK und ELSHENHEIMER /36/ verwendete Format 300 x 300 mm<sup>2</sup> oder die von BLANK /37/ sowie in der vorliegenden Arbeit untersuchten Größen bis 1000 x 1000 mm<sup>2</sup> - letztere mit überlagertem Gasdruck - entsprechend DIN 52292 T 2 /40/ zur Diskussion stehen. Zumindest dürfte das Format 100 x 100 mm<sup>2</sup> /12/ hier nur eine untergeordnete Rolle spielen. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit dürfte auch die Anwendung des Scheibenformats 300 x 300 mm<sup>2</sup> mit Vorbehalt gesehen werden. Die Doppelringmethode schließt den Kanteneinfluß der Proben weitgehend aus, ist in seiner Großformat-Variante allerdings wieder mit erheblichem Aufwand verbunden.

Prüfwerte und Prüfstreuung werden maßgeblich von Oberflächendefekten beeinflusst /41/. Eine definierte Vorschädigung der Glasoberfläche vermindert zwar - außer den absoluten Festigkeitswerten - deutlich die Prüfstreuung /11, 12/, hat jedoch wenig Bezug zur Praxis. Die Gebrauchsschädigung der Gläser im Bauwesen hat, soweit es sich nicht um schon beim Transport verursachte Kantenbeschädigungen handelt, kaum Einfluß auf die Festigkeit /30/.

Bei der statistischen Auswertung ist es sinnvoll, nicht die Gaußsche Normalverteilung zugrunde zu legen, sondern der asymmetrischen Häufigkeitsverteilung /5, 6/ durch Angabe eines Kleinstwertes Rechnung zu tragen. Dieser kann ermittelt werden durch Linearisierung der Häufigkeitssummenkurve im Wahrscheinlichkeitsnetz, wenn die Abszisse logarithmisch geteilt wird /36/ oder durch Anwendung der Weibull-Funktion /38/. Unter material-



prüftechnischen Aspekten allerdings könnte eine definierte Vorschädigung als Bestandteil eines Prüfverfahrens diskutiert werden.

Zusammenfassend kann auf Äußerungen ALBRECHTS zurückgegriffen werden, der 1935 vor der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft sagte, daß die Auswahl des Prüfverfahrens von der Praxis auszugehen habe /39/. Ferner müsse die Versuchsanordnung einfach sein, die Versuchsbedingungen genau festgelegt werden, Materialaufwand und Kosten der Prüfung in vernünftigen Grenzen bleiben. Diese Grundsätze der Materialprüfung lassen sich nach ALBRECHT erfüllen durch grundlegende Untersuchungen zur Dauerbiegebeanspruchung großer, allseitig aufliegender Scheiben unter gleichmäßig verteilter Last sowie durch die Korrelation mit den Ergebnissen der routinemäßigen Biegefestigkeitsprüfung an kleineren Proben. Für die Biegefestigkeit, ermittelt in einfachem Verfahren an nicht zu großen Proben, sollte ein Mindestwert gewährleistet werden können. Neuere Arbeiten /30, 36/ zeigen, daß diese Zielsetzung vom Prinzip her nach wie vor aktuell ist.

### 3 Auswertung der Prüfungsergebnisse der Industrie

Im Oktober 1981 trat die BAM an die Glasindustrie und die dafür infrage kommenden amtlichen Prüfstellen mit der Bitte um Überlassung aller für dieses Forschungsvorhaben interessanten Prüfungsergebnisse heran. Zwei Firmen sahen sich in der Lage, Unterlagen zusammenzustellen und uns die gewünschten Angaben zur Auswertung zu übergeben.

Das Datenmaterial war nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfaßt. Die Ergebnisse waren i.W. an Floatglas und ESG mit Nenn-dicken von 2 mm bis 10 mm bei Anwendung der Prüfverfahren 'Zwei-seitige Auflagerung' (DIN 52303) bzw. 'Doppelring mit rel. kleinen Prüfflächen ohne Gasdruck' ermittelt.

Es konnten mehrere Einflußparameter mit ihren Auswirkungen auf die Ergebnisse der Biegeprüfung untersucht und bewertet werden.

#### 3.1 Einfluß der Scheibendicke auf die Biegefestigkeit

Beim Biegeversuch nach DIN 52303 an Floatglas ist eine Abhängigkeit der Biegefestigkeit von der Scheibendicke nicht zu erkennen.

Die Doppelringprüfung an Floatglas läßt schon eher eine Beziehung zwischen beiden Kenngrößen finden. Sowohl bei Lage der Bad- wie auch der Luftseite in der Zugzone ist bis zur Nenndicke 6 mm herab auch eine Abnahme der Biegefestigkeit erkennbar; mit weiter abnehmender Dicke steigt jedoch die Biegefestigkeit auf Werte an, die weit über denen von 10 mm dicken Gläsern liegen. Versucht man den Zusammenhang von Dicke und Biegefestigkeit mit Hilfe mathematisch statistischer Methoden zu beschreiben, so kann dies durch eine Regressionsanalyse mit Berechnung der Koeffizienten einer Potenzfunktion nach der Methode der kleinsten Abstandsquadrate erfolgen. Für die vorhandenen Wertepaare ließen sich Bestimmtheitsmaße von  $B = 0,58$  und  $B = 0,54$  für Bad und Luftseite ermitteln; ein möglicher kausaler Zusammenhang von Dicke und Biegefestigkeit konnte somit nicht nachgewiesen werden.

Für ESG konnte wegen des geringen Umfanges des Datenmaterials ein Einfluß der Glasdicke auf die Biegefestigkeit nicht bestimmt werden.

### 3.2 Einfluß der Scheibendicke auf die Streuung der Einzelwerte

Bei der Betrachtung der Ergebnisse einzelner, auf Biegung nach DIN 52303 geprüfter Serien aus Floatglas fallen unterschiedlich starke Streuungen der Einzelwerte auf, die vermutlich auf den Einfluß des Zustandes der Kante zurückzuführen sind. Die als Standardabweichungen berechneten Streuungen bewegen sich zwischen 2,4 und 22,7 N/mm<sup>2</sup>, der Variationskoeffizient liegt zwischen 6 und 29 %. Eine Abhängigkeit der Größe der Streuung von der Glasdicke konnte bei dieser Prüfmethode nicht festgestellt werden.

Deutlich hingegen trat bei der Doppelringprüfung von Floatglas ein Zusammenhang zwischen der Scheibendicke und der Streuung der Einzelwerte in Erscheinung. Unabhängig von der Lage der Bad- oder Luftseite war mit zunehmender Glasdicke eine Abnahme der Standardabweichung zu verzeichnen. Eine Regressionsanalyse zeigte mit den Bestimmtheitsmaßen  $B = 0,78$  bzw.  $B = 0,81$  für Bad- bzw. Luftseite, daß sich die Abnahme der Streuung recht gut aus der Zunahme der Scheibendicke und den damit verbundenen Parametern erklären läßt.

### 3.3 Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit auf die Biegefestigkeit

Der Vergleich von jeweils zwei gleich großen Serien der Glasdicken 6 mm und 8 mm zeigte bei beiden Versuchsmethoden (Balken bzw. Doppelring) im Mittel etwa gleiche bis höhere Biegefestigkeiten bei der größeren Belastungsgeschwindigkeit. Der übliche Nachweis, daß diese Unterschiede der mittleren Biegefestigkeiten auch als statistisch gesichert bezeichnet werden können, gelang nur für den Vergleich der Mittelwerte der 6 mm dicken Gläser, deren Luftseite in der Zugzone lag. Die übrigen Unterschiede mußten als "zufällig" oder "vermutlich nicht mehr zufällig" eingestuft werden. Daß der hier sichtbare Trend zu größeren Festigkeiten bei höherer Belastungsgeschwindigkeit nicht auch statistisch nachweisbar war, mag auf die große Streuung der Einzelwer-

te und die damit verbundene Überschneidung beider Streubereiche sowie auf den rel. geringen Stichprobenumfang zurückzuführen sein.

### 3.4 Einfluß der Herstellungsseite auf die Biegefestigkeit

Die Ergebnisse der Doppelringprüfung zeigten, daß die Proben, deren Luftseite die Zugzone bildete, ausnahmslos und bis zu 37 % größere Werte erbrachten als die, deren Badseite in der Zugzone lag. Dennoch waren diese Unterschiede nach statistischen Gesichtspunkten allein in dreiviertel der Fälle nur als "zufällig" einzustufen. Bei nur einer Glasdicke konnte ein von der Herstellungsseite abhängiger Unterschied der mittleren Biegefestigkeiten als statistisch gesichert angesehen werden.

Bei der Prüfung von Floatglas nach der Balkenmethode ließen die Festigkeitswerte keine Abhängigkeit von der Herstellungsseite (Bad/Luft) und ihrer Lage bezüglich der Zugzone erkennen.

### 3.5 Einfluß der Prüfmethode auf die Biegefestigkeit

Beim Vergleich von Prüfungsergebnissen einander zugeordneter Floatglasserien gleicher Dicke konnte festgestellt werden, daß die nach der Balkenmethode geprüften Proben geringere Festigkeiten aufwiesen als die nach dem Doppelring-Verfahren; der Unterschied der Mittelwerte konnte in den meisten Fällen als statistisch gesichert, d.h. als nicht mehr zufällig angesehen werden.

Einschränkend muß dazu jedoch erwähnt werden, daß mögliche Einflußgrößen wie Belastungsgeschwindigkeit oder Kantenbearbeitung bei den miteinander verglichenen Serien nicht immer übereinstimmten; somit können die vorhandenen Unterschiede der Mittelwerte nicht unbedingt nur dem Einfluß der Prüfmethode zugerechnet werden.

### 3.6 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse von Biegeprüfungen an Flachglas können mit Hilfe statistischer Verfahren beurteilt werden, wenn eine Anzahl

gleichartiger Proben (Stichprobe) aus der gleichen Grundgesamtheit nach einem einheitlichen Verfahren geprüft wurde. Die Auswertung erfolgt durch Annahme einer statistischen Verteilungsfunktion, die die Verteilung der Meßwerte möglichst gut darstellen soll.

Eine Beschreibung der verschiedenen Verteilungsfunktionen, deren Vor- und Nachteile sowie mögliche Anwendungskriterien werden in Abschnitt 5 aufgezeigt.

### 3.6.1 Meßreihen mit großem Stichprobenumfang

Eine Meßreihe mit mehr als vierhundert Einzelwerten der Doppelringprüfung 300/250/100 wurde ausgewertet, indem vereinfachend aus angegebenen Bruchlasten die Biegefestigkeiten nach der linearen Biegetheorie, also ohne Berücksichtigung der ohnehin nicht angegebenen Durchbiegung, berechnet wurden.

Die Darstellung der Meßreihe zeigte im Häufigkeitsdiagramm eine Tendenz zur schiefen, linkssteilen Verteilung mit rechtsseitigem, flacheren Auslauf. Wenn ein Merkmal, beispielsweise die Biegefestigkeit von Glas, einen bestimmten Schrankenwert nicht unterschreiten kann und somit nach dieser Seite hin in seiner Variationsmöglichkeit gehemmt ist, liegt häufig eine nicht symmetrische Normalverteilung der Einzelwerte vor. Besonders dann, wenn die Verteilung links durch den Wert Null begrenzt ist, kommt man durch Logarithmieren wieder zu annähernd normalverteilten Werten. Zur Prüfung, ob ein Merkmal einer logarithmischen Normalverteilung (Lognormalverteilung) folgt, wird das logarithmische Wahrscheinlichkeitsnetz angewandt, das eine logarithmisch geteilte Abszissenachse aufweist. Die Werte der in Klassen zusammengefaßten Biegefestigkeiten der o.a. Meßreihe zeigten im log. Wahrscheinlichkeitsnetz einen annähernd gradlinigen Verlauf, so daß eine lineare Extrapolation in den Bereich kleiner Summenhäufigkeiten (0,1 % bis 1 %) möglich wäre.

Neben der graphischen Auswertung im Häufigkeitsdiagramm (die nicht Bestandteil dieses Berichtes ist) wurden die Werte der Meßreihen im Rechenzentrum der BAM einer nichtlinearen Regressionsrechnung unterzogen. Es konnten funktionale Beziehungen in

Form der Normalverteilung, Lognormal-, Weibull-, mod. Weibull und vierparametrischen Verteilung nach der Methode der kleinsten Abstandsquadrate aufgestellt und jeweils den Punktwolken der Wertepaare angepaßt werden.

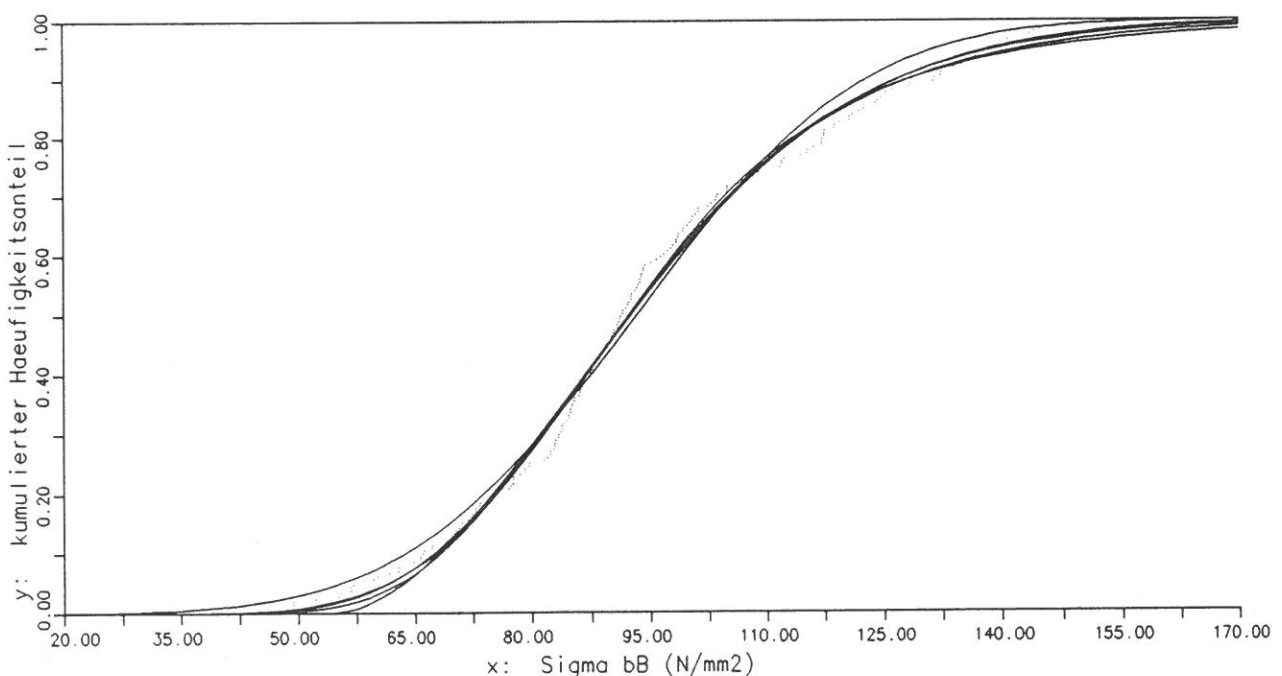
Im einzelnen standen für die Auswertung zur Verfügung:

- 1 Serie mit rd. 420 Einzelwerten  
Glasart Float  
Nennstärke 8 mm  
Prüfung im Doppelring- Biegeversuch (300/250/100)
  
- 2 Serien mit je rd. 190 Einzelwerten  
Glasart ESG  
Nennstärke 10 mm  
Prüfung nach DIN 52303 T1

Die Ergebnisse der Ausgleichsrechnung der Serie mit rd. 420 Einzelwerten sind in dem folgenden Diagramm dargestellt. Erläuterungen zu den im Diagramm gemachten Angaben sind in Abschnitt 5.1 enthalten.

Biegefestigkeit von Flachglas

FLOAT8MMINDUA



Die Verteilung der Einzelwerte des im Doppelringverfahren (300/250/100) geprüften Floatglases kann mit allen gewählten Verteilungsfunktionen etwa gleich gut beschrieben werden; dies wird auch an den Bestimmtheitsmaßen ( $B = 0,994 \dots 0,998$ ) erkennbar. Wenn eindeutige Kriterien für die Auswahl einer dieser Verteilungsfunktionen fehlen, könnte beispielsweise die besonders gute Annäherung der Kurve in bestimmten Abschnitten ausschlaggebend für deren Auswahl werden. Für den Bereich geringer Biegefestigkeiten verläuft hier die Linie der Normalverteilung und die der mod. Weibullverteilung nahe an den gemessenen Werten. Die jeweilige Lage oberhalb bzw. unterhalb der Meßwerte kommt bei den unteren Fraktilwerten entsprechend zur Geltung.

Die Fraktilwerte der Verteilungen zeigt Tabelle 2.

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse der Serien mit rd. 190 Einzelwerten zeigt ebenfalls Tabelle 2.

Tabelle 2 : Biegefestigkeit - Industrieergebnisse  
Fraktilwerte

Prüfverfahren Glasart Nennstärke Hersteller Anzahl	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm <sup>2</sup>				
		Verteilungsfunktion				
		Normal	Lognormal	Weibull	mod. Weibull	mit vier Parametern
DIN 52303 ESG (Glasseite) 10 mm A n = 192	Bestimmtheitsmaß	1 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>
	Mittelwert	170,7				
	50	171,2	171,0	171,4	171,4	171,4
	5	148,2	149,6	147,3	147,6	146,2
	1	138,7	141,5	138,2	138,0	134,2
	0,1	128,0	133,0	130,0	127,6	121,8
DIN 52303 ESG (Emailseite) 10 mm A n = 191	Bestimmtheitsmaß	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99
	Mittelwert	115,0				
	50	113,5	113,3	112,4	112,4	112,3
	5	93,6	95,1	100,9	98,3	100,0
	1	85,4	88,5	99,7	94,1	97,7
	0,1	76,2	81,6	99,3	90,1	96,3
Doppelring 300/250/100 Float 8 mm A n = 423	Bestimmtheitsmaß	0,99	1 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>
	Mittelwert	96,4				
	50	95,2	94,3	94,5	94,3	94,6
	5	56,0	62,5	62,8	61,9	61,9
	1	39,8	52,7	55,7	51,4	54,5
	0,1	21,6	43,6	51,6	41,1	50,7

1) gerundet

### 3.6.2 Meßreihen mit kleinem Stichprobenumfang

Aus insgesamt 70 Prüfserien mit jeweils 5 bis 20 Einzelwerten und den Unterscheidungsmerkmalen Glasart, Glasdicke, Prüfmart, Belastungsgeschwindigkeit, Kantenbearbeitung und Seite der Zugspannung entstanden 33 Serien mit größerer Probenzahl, indem solche mit den auf das Prüfergebnis vernachlässigbaren Einflüssen zusammengefaßt wurden. Diese Serien wurden im Rechenzentrum der BAM mit Hilfe einer Regressionsanalyse ausgewertet.

Im einzelnen standen zur Verfügung:

- ESG  
Glasdicken 6 mm und 8 mm  
Prüfung nach DIN 52303 und mit dem  
Doppelringverfahren (385/350/70)
  
- Floatglas  
Glasdicken 3 mm bis 10 mm  
Prüfung nach DIN 52303 und mit dem  
Doppelringverfahren (385/350/70)

Die Verteilung der Einzelwerte der geprüften Floatglasserien konnte häufig mit der Weibull-, der mod. Weibull- oder der vierparametrischen Verteilung gut beschrieben werden, während beim ESG alle Verteilungsfunktionen etwa gleich gut anwendbar waren. Die errechneten Bestimmtheitsmaße unterschritten in keinem Fall den Wert  $B = 0,914$ , sollten jedoch nicht allein maßgebend für die Auswahl einer Verteilung sein.

Die Diagramme mit den Verteilungsfunktionen und deren Kennwerten wurden dem Bericht nicht beigelegt. Die Auswirkungen einiger Einflußparameter dieser Serien auf die Ergebnisse der Biegeprüfung wurden in den Abschnitten 3.1 bis 3.5 mitgeteilt.



## 4 Untersuchungen der BAM

### 4.1 Doppelring-Biegeversuch an plattenförmigen Proben mit großen Prüfflächen

Mit der in der Norm DIN 52292 Teil 2 /40/ geforderten Prüfeinrichtung soll die Mindestbiegefestigkeit von Glas- und Glaskeramikplatten ermittelt werden. Da der Schädigungsgrad der Oberfläche den Festigkeitswert des Glases wesentlich beeinflusst, wird eine möglichst große gleichmäßig beanspruchte Fläche benötigt, um die für die Praxis wichtige Mindestfestigkeit bei ausreichend geringer Streuung zu ermitteln.

#### 4.1.1 Maschinenbeschreibung

Mit einem Teil der im Forschungsvorhaben zur Verfügung stehenden Mittel wurde in der BAM eine Prüfeinrichtung unter Einbeziehung vorhandener Geräte und Maschinen konzipiert und fertiggestellt.

Die Elemente der gesamten Prüfeinrichtung sind im einzelnen:

Prüfvorrichtung bestehend aus:

Stützring von 800 mm Durchmesser, mit Profilmummiauflage und Zentriereinrichtung

Lastring von 600 mm Durchmesser, mit Profilmummiauflage, Druckanschluß und Gasdruckaufnehmer

Belastungseinrichtung mit Hydraulikzylinder, Kraftmeßzelle und Kugelkalotte

Meßeinrichtung für 10 induktive Wegaufnehmer

10 MN Baustoffprüfpresse als Rahmen zur Aufnahme der Prüfvorrichtung

Mikrocomputer Kontron PSI 80 D

Vielstellenmeßanlage HBM

Pneumatische Druckregleinheit

Schrittmotorsteuerung für Druckregleinheit

x-y-Schreiber HP

je ein Schnittstellentester für Parallelschnittstellen und Analog/Digitalwandler

Hydraulikaggregat  
 Hydraulikservoventil EMG/AEG  
 Elektronische Regeleinheit MFL  
 2 Stck Trägerfrequenzmeßverstärker HBM  
 Funktionsgenerator PROGRATRON

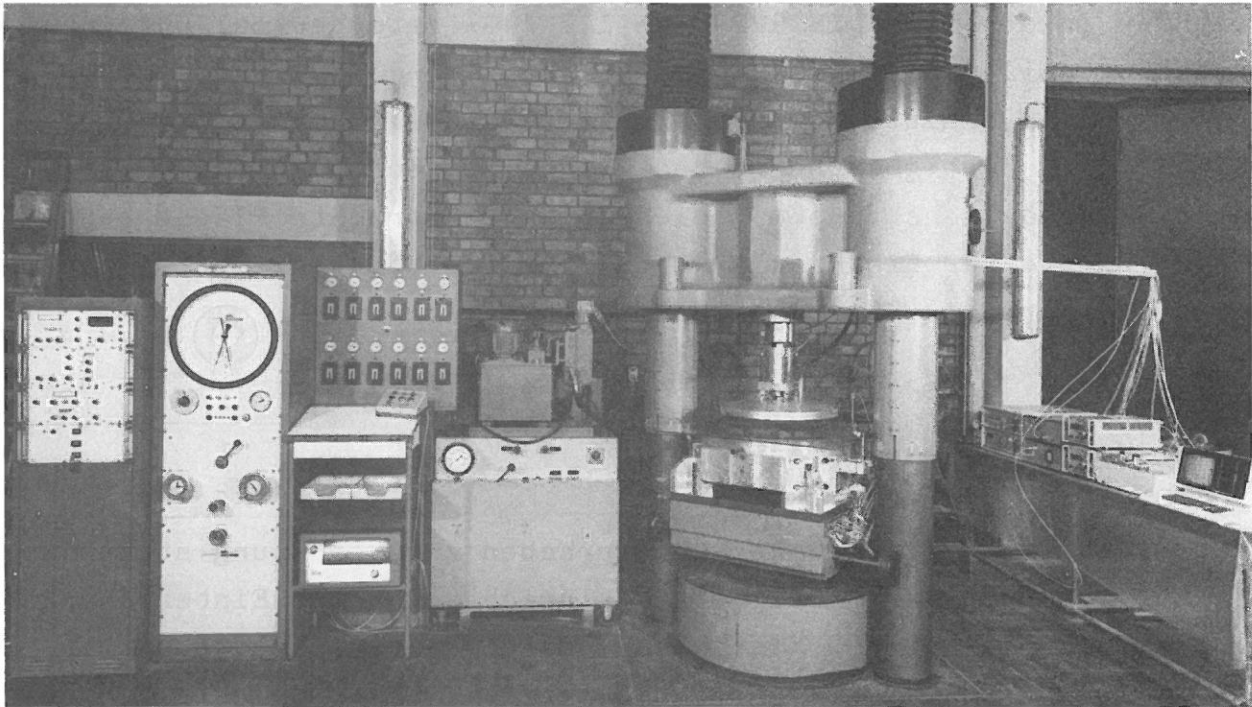
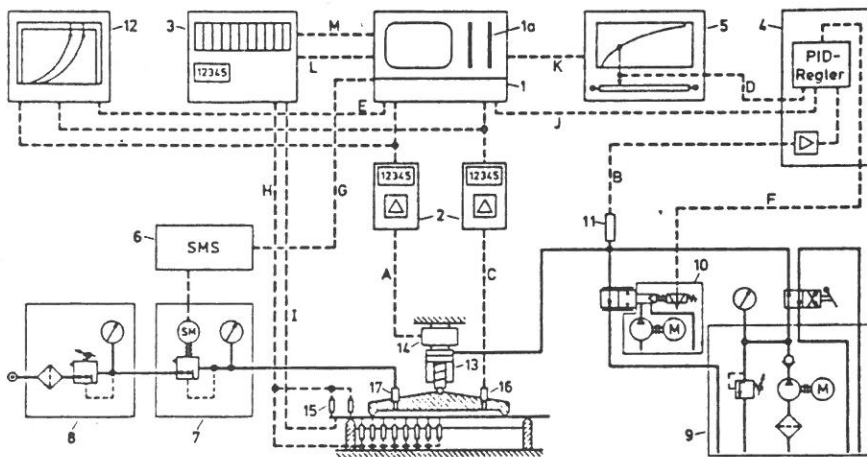


Bild 1  
 Ansicht der Prüfeinrichtung



- |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Mikrocomputer                      | 9 Hydraulikaggregat                  |
| 1a Disketten für Meßwerte            | 10 Servoventil                       |
| 2 Meßverstärker                      | 11 Öldruckaufnehmer                  |
| 3 Vielstellenmeßanlage               | 12 X-Y Schreiber                     |
| 4 Regeleinheit für Hydraulik         | 13 Hydraulikzylinder                 |
| 5 Funktionsgenerator                 | 14 Kraftmeßzelle                     |
| 6 Schrittmotorsteuerung              | 15 induktive Wegaufnehmer            |
| 7 Regeleinheit für Druckluft         | 16 Gasdruckaufnehmer                 |
| 8 Wartungseinheit für Druckluft      | 17 Druckluftanschluß                 |
| A Istwert Kraft                      | I Meßwert DMS Meßstelle 10-53        |
| B Istwert Kraft (Öldruck)            | J Signal bei Brucherkennung          |
| C Istwert Luftdruck                  | K Startsignal für Funktionsgenerator |
| D Sollwert Kraft                     | L Datenbus für Meßwerte              |
| E Sollwert Luftdruck                 | M Steuerbus                          |
| F Regelgröße Kraft                   |                                      |
| G Regelgröße Luftdruck               |                                      |
| H Meßwert induktive Wegaufnehmer 0-9 |                                      |

Bild 2  
 Schema der  
 Prüfeinrichtung

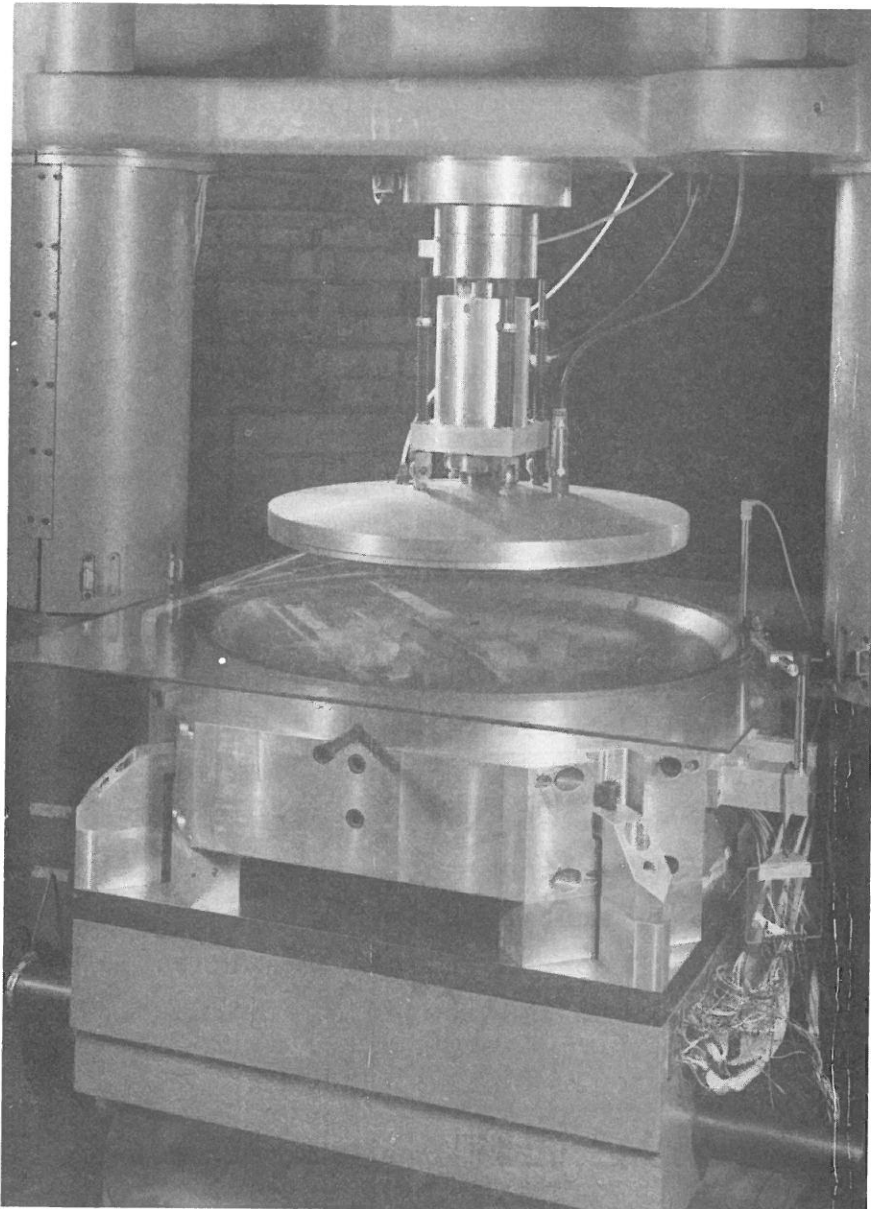


Bild 3  
Ansicht der  
Belastungseinrichtung

#### 4.1.2 Funktionsbeschreibung

Die Krafteinleitung erfolgt über einen Lastring von 600 mm Durchmesser mit einer 3 mm dicken Profilgummiauflage der Härte 40 IRHD. Das zu prüfende Material von 1000 mm x 1000 mm liegt dabei auf einem Stützring von 800 mm Durchmesser, der ebenfalls mit einer Profilgummiauflage versehen ist. Für die Erzeugung der erforderlichen Prüfkraft bis zu 200 kN wird ein einseitig beaufschlagter Hydraulikzylinder verwendet, der von einem Hydraulikaggregat über ein Bypass Regelventil versorgt wird.

Um die in dem Normentwurf geforderte lineare Spannungszunahme von  $2 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{s}$  bis zum Bruch der Probe zu erzielen, wird der Zuwachs der Prüfkraft mit einer elektronischen PI-Regereinheit

geregelt. Da die Zunahme der Spannung derjenigen der Kraft nicht proportional verläuft, wird der für die Regeleinheit benötigte Sollwert nach einer aufgezeichneten Funktion extern in einem Funktionsgenerator (Progratron) erzeugt. Der für die Regelung benötigte Istwert der Prüfkraft wird indirekt aus einem Öldruckaufnehmer gewonnen. Zur direkten Messung der Prüfkraft ist weiterhin eine Kraftmeßzelle zwischen Hydraulikzylinder und Maschinenrahmen vorhanden.

Ein gleichmäßiger radialer und tangentialer Spannungsverlauf innerhalb des Lastring wird durch zusätzliches Aufbringen eines Gasdrucks erreicht.

Der Zusammenhang von Stempelkraft  $F$  und Gasdruck  $p(F)$  entsprach bei der Versuchsdurchführung im wesentlichen der dimensionslosen Darstellung der Tabelle 3 in DIN 52292 T 2. Um die Lage des Bruchausganges jedoch möglichst sicher innerhalb des vom Lastring begrenzten Bereiches zu erhalten, wurde der radiale Spannungsverlauf geringfügig verändert, indem der Gasdruck um etwa 5 % gegenüber den in der Norm genannten Werten erhöht wurde. Typische Beispiele für den Verlauf von radialer bzw. tangentialer Spannung sowie der Durchbiegung von ESG zeigen die Anlagen 39 und 40.

Die Regelung des Gasdrucks erfolgt durch einen Mikrocomputer, eine Schrittmotorsteuerung und ein durch einen Schrittmotor getriebenes pneumatisches Regelventil. Nach dem aus der Kraftmeßzelle gewonnenen Istwert der Prüfkraft ermittelt der Mikrocomputer in einer gespeicherten Kennlinie den Sollwert für den Gasdruck, vergleicht diesen mit dem Istwert eines in den Lastring eingebauten Druckaufnehmers und gibt die erforderlichen Steuerbefehle an die Schrittmotorsteuerung. Als Regelcharakteristik wurde eine Zweipunktregelung gewählt, da sich der Istwert durch die Kompressibilität des Gases bedingt verzögert, dem vorgegebenen Sollwert angleicht und eine kontinuierliche PI-Regelung bei ausreichend geringer Regelabweichung instabil wird.

Die Meßwerterfassung erfolgt für die Durchbiegung des Probematerials mit 10 induktiven Wegaufnehmern und einer Vielstellenmeßanlage. Der Mikrocomputer steuert dabei die Meßstellenwahl der Vielstellenmeßanlage, übernimmt die Meßwerte und speichert

sie im Arbeitsspeicher. Die Meßwerte für Prüfkraft und Gasdruck werden nach Verstärkung und Analog/Digitalwandlung abgefragt und ebenfalls im Arbeitsspeicher abgelegt.

Um bei jeder Prüfkraft gleichmäßig radiale und tangentielle Spannungen innerhalb des Lastrings zu erzielen, muß der Gasdruck als Funktion der Prüfkraft optimiert werden. In Vorversuchen mit Glasplatten, die in radialer und tangentialer Richtung mit 44 Dehnungsmeßstreifen versehen sind (vgl. /45/), wird der jeweils optimale Gasdruck für einen gleichmäßigen Spannungsverlauf ermittelt und in einer Kennlinie festgelegt. Zusätzlich werden die dazugehörigen Durchbiegungen gemessen und abgespeichert, so daß bei Prüfungen von Werkstoffen gleichen Elastizitätsmoduls eine annähernde Kontrolle des Spannungsverlaufs mit den Werten der Durchbiegung möglich ist.

Zur Brucherkenung vergleicht der Mikrocomputer eine vorgegebene Prüfkraftänderung pro Zeiteinheit mit den jeweiligen Istwerten und bewirkt bei schnellem Lastabfall durch ein Signal an die Regeleinheit, daß das Bypass Ventil voll geöffnet wird und die Prüfkraft auf den Wert Null zurückgeht.

#### 4.1.3 Versuchsablauf

Nach Einlegen des Probematerials und Drücken der Starttaste, steuert der Mikrocomputer folgenden Programmablauf:

- 1) Zuerst werden die Schnittstellen initialisiert, die Speicher gelöscht, die Brucherkenung aktiviert und das pneumatische Regelventil in die Nullstellung gebracht. Dann erfolgt bei unbelastetem Probematerial eine Nullmessung der induktiven Wegaufnehmer durch die Vielstellenmeßanlage (bei Vorversuchen zusätzlich an Dehnungsmeßstreifen). Weiterhin werden die Werte der Kraftmeßzelle und des pneumatischen Druckaufnehmers abgefragt um die Temperaturdrift der Meßverstärker und der Analog/Digitalwandler rechnerisch eliminieren zu können. Durch ein Signal an die elektronisch-hydraulische Regeleinheit wird danach auf die Probe eine Vorlast aufgebracht und die pneumatische Regeleinheit gestartet, um einen der Vorlast entsprechenden Anfangsdruck aufzubringen. Ist dieser er-

reicht, startet der Mikrocomputer den Funktionsgenerator und die Prüfkraft wird in der Form erhöht, daß die Spannungszunahme in der Probe  $2 \text{ N/mm}^2 \cdot s$  beträgt.

- 2) Während der Belastungsphase läuft im Mikrocomputer ein sich in ca. 0,5 ms ständig wiederholender Zyklus ab:
  - a) Das Unterprogramm REGBRU wird aufgerufen, um den Istwert des Gasdrucks mit der Sollwertkennlinie zu vergleichen und die erforderlichen Signale zur Regelung an die Schrittmotorsteuerung zu geben. Weiterhin wird der Istwert der Prüfkraft für die Brucherkenkung abgefragt und gespeichert.
  - b) Mit dem Unterprogramm NEUMST wird der Vielstellenmeßanlage die aktuelle Meßstellenummer zugewiesen und der Meßvorgang gestartet. Ist der Meßvorgang beendet, sendet die Vielstellenmeßanlage einen Interruptimpuls an den Mikrocomputer und ein Interruptflag wird gesetzt. Nach dem Start des Meßvorganges wird in einer Schleife abwechselnd mit dem Unterprogramm REGBRU geregelt und das Interruptflag abgefragt.
  - c) Bei gesetztem Interruptflag wird das Unterprogramm AUFMW aufgerufen, welches den jeweiligen Meßwert und den aktuellen Prüfkraftwert aufbereitet und abspeichert.
  - d) In einer weiteren Schleife wird wieder abwechselnd mit REGBRU geregelt und ein zweites Interruptflag abgefragt. Dieses Flag wird von der Vielstellenmeßanlage gesetzt, wenn die Bereitschaft für die nächste Messung gegeben ist. Der Mikrocomputer löscht bei gesetztem Flag die beiden Interruptflags und beginnt einen neuen Zyklus mit der nächsten aktuellen Meßstellenummer. Zur Kontrolle werden während des Prüfkraftanstieges der Istwert und der Sollwert des Gasdrucks als Funktion der Prüfkraft auf einem x-y-Schreiber aufgezeichnet.
- 3) Wird in dem Unterprogramm REGBRU Probenbruch erkannt, so wird durch ein Signal an die elektro-hydraulische Regeleinheit die Prüfkraft auf Null zurückgesetzt. Weitere Signale setzen das pneumatische Regelventil und den Funktionsgenerator in die Ausgangsstellung. Danach wird eine Datei eröffnet, die im Arbeitsspeicher vorhandenen Meßwerte werden vom Binär-Code

nach BCD und von BCD nach ASCII gewandelt und auf einer Diskette zur weiteren Bearbeitung gespeichert. Eine Verzweigung erlaubt dann die Rückkehr zum Programmanfang für weitere Prüfungen, bzw. Beendigung des Programms.

#### 4.1.4 Ergebnisse

Für die Auswertung der Versuchsergebnisse wurden unabhängig von der Lage des Bruchausganges alle Proben herangezogen. Aus der Bruchkraft  $F_{\max}$  und dem gleichzeitig gemessenen Gasdruck  $p_{\max}$  wird mit der Probendicke  $s$  die Biegefestigkeit  $\sigma_{bB}$  ermittelt. Zuvor müssen die Meßgrößen  $F_{\max}$  und  $p_{\max}$  mit Hilfe der Gleichungen (3) und (4) der Norm DIN 52292 T 2 in die entsprechenden dimensionslosen Größen  $F_{\max}^*$  und  $p_{\max}^*$  umgerechnet werden.

$$F_{\max}^* = F_{\max} \frac{r_{3m}^2 (1-\mu^2)}{E \cdot s^4}$$

$$p_{\max}^* = p_{\max} \frac{r_{3m}^4 (1-\mu^2)}{E \cdot s^4}$$

Mit diesen Werten und Tabelle 3 der o.a. Norm ist über die dimensionslose Biegebruchspannung  $\sigma_{bB}^*$  die gesuchte Biegefestigkeit  $\sigma_{bB}$  nach der Gleichung

$$\sigma_{bB} = \sigma_{bB}^* \frac{E \cdot s^2}{r_{3m}^2 (1-\mu^2)}$$

zu berechnen.

Hierin bedeuten:

E Elastizitätsmodul in  $N/mm^2$

Floatglas:  $E = 74.000 N/mm^2$

ESG:  $E = 70.000 N/mm^2$

beide ermittelt aus der Durchbiegung im Versuch nach DIN 52303

$\mu$  Poisson-Zahl

es wurde  $\mu = 0,22$  eingesetzt

s Dicke der Probe

$r_{3m}$  mittlerer Probenradius für quadratische Proben

Die Einzelwerte der Biegefestigkeit zeigen die Tabellen 3 und 4 im Anhang. Mittelwert, Standardabweichung und Probenanzahl der Prüfserien sind getrennt nach den Unterscheidungsmerkmalen Hersteller, Glasart, Nenndicke und Seite der Zugspannung in der folgenden Tabelle 15 aufgetragen.

Tabelle 15: Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2  
Mittelwert, Standardabweichung, Anzahl der Proben

Hersteller	Glasart	Nenn- dicke	Zugspannung an der	Biegefestigkeit Mittelwert	Standard- abweichung	Anzahl der Proben
		mm		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
A	ESG	6	Luftseite (L)	160,9	14,20	33
			Badseite (B)	151,3	13,14	31
	Float	6	L	87,4	18,59	29
			B	66,8	13,84	29
	Float	10	L	106,2	27,55	29
			B	56,4	7,90	30
B	ESG	6	L	150,9	11,12	30
			B	137,5	9,90	29
	Float	6	L	74,7	20,60	28
			B	70,8	12,25	28
	Float	10	L	94,2	26,02	28
			B	56,2	11,85	26

#### 4.2 Bestimmung der Biegefestigkeit durch Prüfung bei zweiseitiger Auflagerung

Zur Bestimmung der Bruchspannung von ESG wurden rechteckige Proben mit den Abmessungen 1100 mm x 360 mm auf zwei Auflagerrollen im Abstand von 1000 mm geprüft; die Belastung erfolgte durch zwei Einzelkräfte, die jeweils im Abstand von 400 mm von den Auflagern ebenfalls über Rollen eingeleitet wurden. Proben, Prüfmaschine und Durchführung der Prüfung entsprachen im wesentlichen den in DIN 52303 Teil 1 /46/ gemachten Angaben. Lediglich Auflager- und Biegerollen waren nicht abrollend ausgebildet, sondern zentrisch gelagert, um Stützweite und Abstand der Kraftangriffslinien beizubehalten.

Die Biegefestigkeit wurde nach Gleichung (1) der o.a. Norm berechnet; dabei wurde der Einfluß der Eigenlast der Biegerollen vernachlässigt, da eine Berücksichtigung derselben nur eine Änderung der zweiten Dezimale bewirkt und somit sich nicht bei einer auf 1 N/mm zu rundenden Biegefestigkeit ausgewirkt hätte.

Die Einzelwerte der Biegefestigkeit zeigt die Tabelle 5 im Anhang. Mittelwert, Standardabweichung und Probenanzahl der Prüfserien sind getrennt nach den Unter-



scheidungsmerkmalen Hersteller, Glasart, Nenndicke und Seite der Zugspannung in der folgenden Tabelle 24 angegeben.

Tabelle 24: Biegefestigkeit nach DIN 52303 T 2  
Mittelwert, Standardabweichung, Anzahl der Proben

Hersteller	Glasart	Nenn- dicke	Zugspannung an der	Biegefestigkeit Mittelwert	Standard- abweichung	Anzahl der Proben
		mm		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
A	ESG	6	Luftseite (L)	175,0	10,95	40
			Badseite (B)	171,8	12,90	41
		10	L	176,3	10,18	40
			B	174,2	14,76	39
B		6	L	174,8	9,41	41
			B	164,9	9,25	41
		10	L	162,6	9,59	38
			B	158,8	11,86	41

#### 4.3 Doppelring-Biegeversuch an plattenförmigen Proben mit mittleren Prüfflächen

Die Doppelringmethode ist ein Prüfverfahren, das sowohl den Kanteneinfluß ausschließt als auch unter bestimmten Bedingungen eine einfache Berechnung der Biegespannung ermöglicht. Es hat für kleinere Proben (100/90/18 bzw. 66/60/12) inzwischen Eingang in die Normung (DIN 52292 Teil 1 /47/) gefunden, während für mittlere Proben auf zahlreichen Versuchen basierende Erfahrungen vorliegen /36/. Auf der Suche nach einem einfachen Prüfverfahren, das bei leichter Beschaffbarkeit handlicher Proben hinreichend brauchbare Aussagen für die Biegefestigkeit liefert, wurden im Rahmen dieses Vorhabens parallel zu den anderen Untersuchungen Doppelring-Biegeversuche an Proben des Formates 300 mm x 300 mm bei einem Lastringdurchmesser von 100 mm und einem Stützringdurchmesser von 250 mm durchgeführt. Prüfmaschine und Durchführung der Prüfungen entsprachen im wesentlichen den in DIN 52292 Teil 1 gemachten Angaben.

Die Einzelwerte der Biegefestigkeit zeigt die Tabelle 6 im Anhang. Mittelwert, Standardabweichung und Probenanzahl der Prüfserien sind getrennt nach den Unter-

scheidungsmerkmalen Hersteller, Nenndicke und Seite der Zugspannung in der folgenden Tabelle 33 angegeben.

Tabelle 33: Biegefestigkeit Doppelring 300/250/100  
Mittelwert, Standardabweichung, Anzahl der Proben

Hersteller	Glasart	Nenn- dicke	Zugspannung an der	Biegefestigkeit Mittelwert	Standard- abweichung	Anzahl der Proben
		mm		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
A	Float	6	Luftseite (L)	133,6	47,55	31
			Badseite (B)	79,5	15,22	30
		10	L	114,9	34,72	31
			B	89,9	27,81	30
B		6	L	174,9	56,64	31
			B	116,6	28,13	31
		10	L	152,8	43,67	35
			B	105,1	25,50	35

## 5 Statistische Auswertung der in der BAM durchgeführten Untersuchungen

Die statistische Auswertung streuender Versuchsergebnisse soll möglichst umfassende Informationen über die Meßwerte einer Stichprobe liefern und Wahrscheinlichkeitsaussagen zur Grundgesamtheit ermöglichen. Als Stichprobe wird hier eine Prüfserie mit einer Anzahl gleichartiger Proben bezeichnet; untereinander werden die Prüfserien nach dem Hersteller, der Glasart, der Glasdicke, dem Prüfverfahren und der Seite der Zugspannung unterschieden. Den vorhandenen Meßwerten einer Serie sollen Verteilungsfunktionen so eingerechnet werden, daß sie der Verteilung der Einzelwerte der Biegefestigkeit möglichst gut entsprechen. Eine Aussage über die Güte der berechneten Funktion kann durch den Korrelationskoeffizienten  $r$ , das Bestimmtheitsmaß  $B$  ( $B = r^2$ ) oder auch durch eine besonders gute Annäherung der Linie an die Werte in bestimmten Abschnitten getroffen werden.

### 5.1 Verteilungsfunktionen

Allen Prüfserien wurden im Rechenzentrum der BAM durch nichtlineare Regressionsrechnungen funktionale Beziehungen in Form der

Normalverteilung,  
Lognormalverteilung,  
Weibullverteilung,  
modifizierte Weibullverteilung und  
vierparametrischen Verteilung

nach der Methode der kleinsten Abstandsquadrate eingerechnet und jeweils den Punktwolken der Wertepaare angepaßt.

Normalverteilung, Lognormalverteilung und Weibullverteilung, deren Anwendungsbereich und Zweck sowie Begriffe und Beispiele werden im Diskussionspapier Nr. 8-88 des NMP 354 zur DIN 52292 T 3: Statistische Auswertung von Biegefestigkeitsmessungen /48/ sowie in der Literatur /49, 50, 51/ erläutert. Abweichend vom Diskussionspapier wurde für die Auswertung hier zunächst die Weibull-Verteilung in der dreiparametrischen Form gem. /50,51/ gewählt.

Neben diesen drei für die Auswertung von Ergebnissen der Festigkeitsprüfung von Flachglas üblichen Verteilungsfunktionen kamen zwei weitere Funktionen zur Anwendung.

Zum einen ist die modifizierte Weibullverteilung zu nennen, die sich von der Weibullverteilung lediglich darin unterscheidet, daß sie mit dem Wert  $x = a$  endet und dabei den Häufigkeitsanteil von  $y = 1,0$  erreicht, während sie mit kleiner werdenden Werten von  $x$  sich asymptotisch der Abszisse nähert.

Als weitere Möglichkeit zur Beschreibung empirischer Verteilungen wird in /52/ ein mathematisches Modell für Häufigkeitsverteilungen mit vier Parametern vorgestellt. Aus diesem Modell, das ursprünglich in der BAM zur Berechnung der Häufigkeit von Reaktionen zündbarer Stoffe durch äußere Einwirkungen formuliert wurde, ist ein Verfahren entwickelt worden, das besonders dafür geeignet ist, aus dem Bereich der ermittelten Meßwerte in die Ausläufer der Verteilung zu extrapolieren.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung sind in Form von Diagrammen mit dem Häufigkeitsanteil auf der Ordinate und der Biegefestigkeit auf der Abszisse darstellbar.

Am Beispiel von fünf nachfolgenden Diagrammen einer Prüfsérie sollen die dort gemachten Angaben erklärt werden.

Neben der Prüffart

z. B. DIN 52292 T 2

werden die Kennwerte Glasart, Nenndicke, Seite der Zugspannung und Hersteller

z.B. FLOAT 10 MM BAD A

sowie die gewählte Verteilungsfunktion

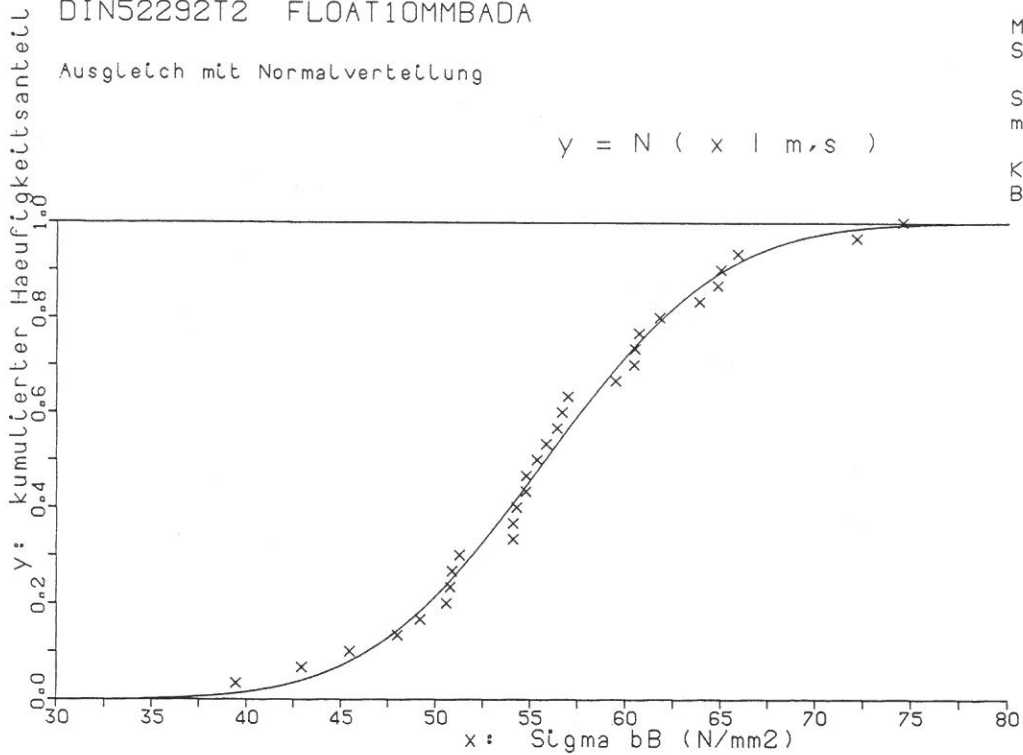
z.B. Ausgleich mit Normalverteilung

genannt.

Biegefestigkeit von Flachglas,

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

Ausgleich mit Normalverteilung



Mittelwert (m) 55.761  
Standardabw.(s) 7.317

Summe Abst. quad. 0.028  
mittlerer Fehler 0.031

Korrelationskoeff. 0.994  
Bestimmtheitsmass 0.989

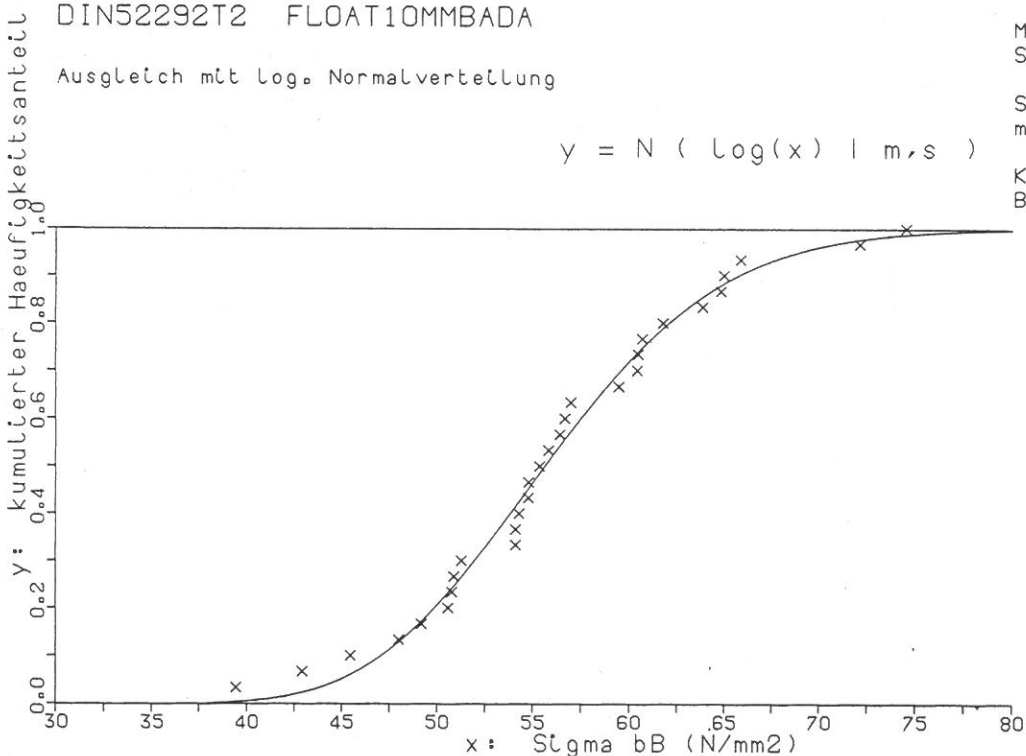
Mittelwert 56.36  
50%-Wert 55.76  
5%-Wert 43.72  
1%-Wert 38.74  
0,1%-Wert 33.15

1-Rechenzentrum 11-MAY-87

Biegefestigkeit von Flachglas,

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

Ausgleich mit log. Normalverteilung



Mittelwert (m) 1.745  
Standardabw.(s) 0.057

Summe Abst. quad. 0.029  
mittlerer Fehler 0.032

Korrelationskoeff. 0.994  
Bestimmtheitsmass 0.988

Mittelwert 56.36  
50%-Wert 55.62  
5%-Wert 44.90  
1%-Wert 41.09  
0,1%-Wert 37.20

BAM-Rechenzentrum 11-MAY-87

Biegefestigkeit von Flachglas,

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

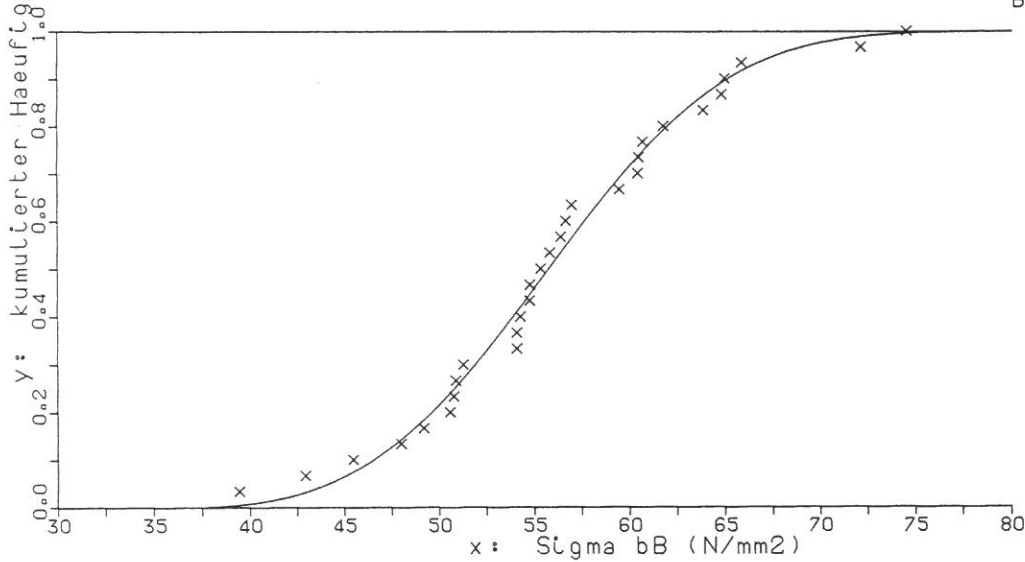
Ausgleich mit Weibullverteilung

$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 34.703  
 Verzerrung (b) 58.259  
 Exponent (c) 3.266

Summe Abst. quad. 0.030  
 mittlerer Fehler 0.032

Korrelationskoeff. 0.994  
 Bestimmtheitsmass 0.988



Mittelwert 56.36  
 50%-Wert 55.76  
 5%-Wert 44.19  
 1%-Wert 40.46  
 0,1%-Wert 37.55

BAM-Rechenzentrum 11-MAY-87

Biegefestigkeit von Flachglas,

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

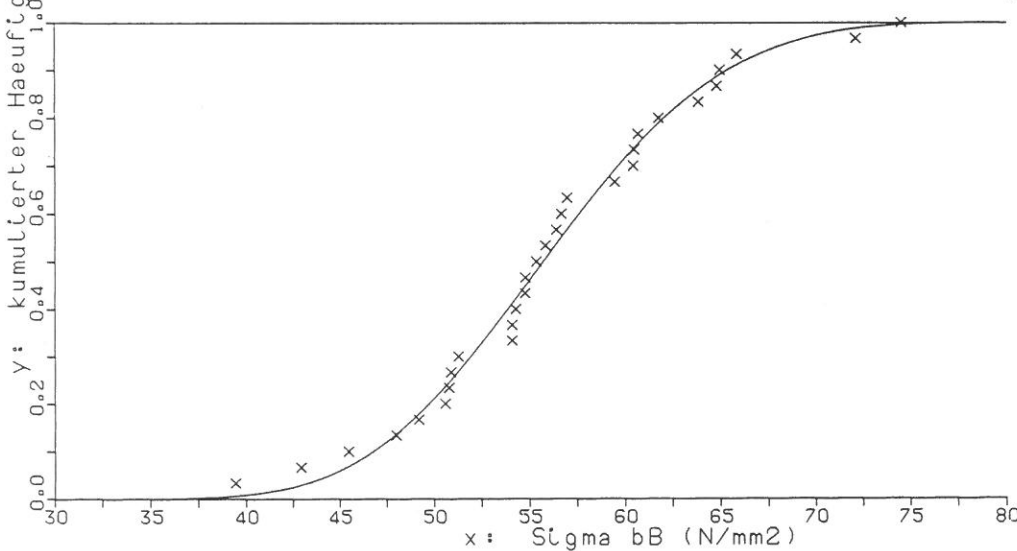
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 81.667  
 Verzerrung (b) 28.422  
 Exponent (c) 4.062

Summe Abst. quad. 0.029  
 mittlerer Fehler 0.031

Korrelationskoeff. 0.994  
 Bestimmtheitsmass 0.989



Mittelwert 56.36  
 50%-Wert 55.70  
 5%-Wert 44.43  
 1%-Wert 40.27  
 0,1%-Wert 35.93

BAM-Rechenzentrum 11-MAY-87

Biegefestigkeit von Flachglas,

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

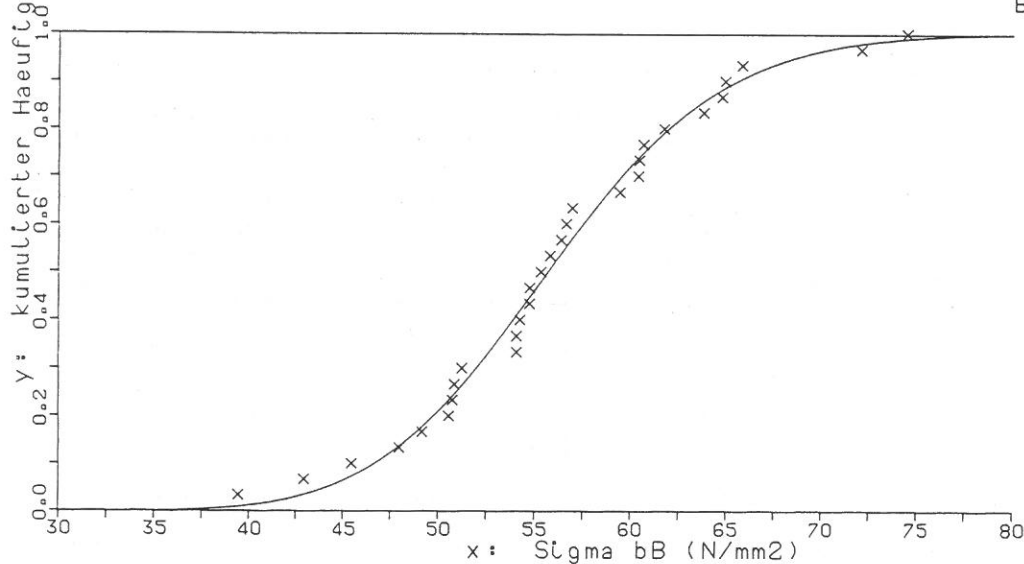
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(x <sub>u</sub> )	32.011
X mittel	(x <sub>m</sub> )	55.677
X oben	(x <sub>o</sub> )	85.316
Exponent	(a)	2.931

Summe Abst. quad.	0.027
mittlerer Fehler	0.031

Korrelationskoeff.	0.99
Bestimmtheitsmass	0.98

$$y = (X \text{ hoch } a) \text{Theo } (x)$$



9AM-Rechenzentrum 13-MAY-87

Im weiteren werden die charakteristischen Kenngrößen der ermittelten Verteilungsfunktionen wie

- Mittelwerte und Standardabweichung für Normal- und Lognormalverteilung
- Verschiebung, Verzerrung und Exponent für Weibull- und modifizierte Weibullverteilung
- Lageparameter x unten, x mittel, x oben und Exponent für die vierparametrische Verteilung (x hoch a Theorem) angegeben.

Als Maßzahl für die Bewertung der jeweils ermittelten Verteilungsfunktionen sind die Summe der Abstandsquadrate, der mittlere Fehler, der Korrelationskoeffizient und das Bestimmtheitsmaß anzusehen.

Das arithmetische Mittel (Mittelwert) und einzelne ausgewählte Häufigkeitsanteile (50 %-Wert, 5 %-Wert, 1 %-Wert und 0,1 %-Wert) der berechneten Verteilungsfunktion sollen zur Findung eines unteren Grenzwertes der Biegefestigkeit von Flachglas beitragen.

Eine Zusammenfassung der mit verschiedenen Prüfverfahren gewonnenen, aus den Verteilungsfunktionen berechneten Fraktilwerte gleichartiger Glasproben unterschiedlicher Hersteller beinhalten die folgenden Tabellen 34 bis 40.

Tabelle 34 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2  
Fraktilwerte

Glasart Nennstärke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm <sup>2</sup>				
		Verteilungsfunktion				
		Normal	Lognormal	Weibull	mod. Weibull	mit vier Parametern
Float 6 mm Bad A	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,97	0,99	0,99	0,98
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	66,8/13,84/39,0/29				
	50	66,4	65,9	66,8	67,4	66,5
	5	43,2	46,2	42,1	37,0	43,0
	1	33,6	39,9	31,5	21,0	31,9
	0,1	22,9	33,9	20,9	1,1	20,1
Float 6 mm Luft A	Bestimmtheitsmaß	0,93	0,91	0,94	0,99	0,95
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	87,4/18,59/48,1/29				
	50	88,7	87,8	89,3	92,8	90,4
	5	55,4	59,9	54,5	25,5	52,9
	1	41,6	51,1	40,0	-	34,5
	0,1	26,1	42,8	25,8	-	17,1
Float 6 mm Bad B	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,99	1	1	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	70,8/12,25/51,4/28				
	50	69,3	68,8	68,6	68,8	68,8
	5	47,4	50,2	52,0	50,5	52,3
	1	38,3	44,0	48,8	44,5	50,4
	0,1	28,1	38,0	47,2	38,6	49,9
Float 6 mm Luft B	Bestimmtheitsmaß	0,97	0,95	0,97	0,98	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	74,7/20,60/30,6/28				
	50	75,0	73,8	75,6	76,8	76,6
	5	38,2	45,0	39,5	27,1	33,2
	1	22,9	36,7	26,4	-	23,0
	0,1	5,8	29,2	14,8	-	19,2

- 1) MW  $\hat{=}$  Mittelwert  
s  $\hat{=}$  Standardabweichung  
kE  $\hat{=}$  kleinster Einzelwert  
n  $\hat{=}$  Anzahl der Einzelwerte



Tabelle 35 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2  
Fraktilwerte

Glasart Nenndicke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm <sup>2</sup>				
		Verteilungsfunktion				
		Normal	Lognormal	Weibull	mod. Weibull	mit vier Parametern
Float 10 mm Bad A	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	56,4/7,90/39,4/30				
	50	55,8	55,6	55,8	55,7	55,7
	5	43,7	44,9	44,2	44,4	44,1
	1	38,7	41,1	40,5	40,3	39,6
	0,1	33,2	37,2	37,6	35,9	35,8
Float 10 mm Luft A	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,97	0,98	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	106,2/27,55/47,8/29				
	50	108,1	107,6	108,6	109,8	109,9
	5	66,2	74,8	63,8	47,5	47,6
	1	48,8	64,4	45,8	13,4	23,2
	0,1	29,3	54,4	28,6	-	9,3
Float 10 mm Bad B	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	56,2/11,85/30,8/26				
	50	55,8	55,6	56,0	56,1	55,8
	5	39,0	41,5	36,9	36,1	37,9
	1	32,0	36,8	28,4	26,8	29,0
	0,1	24,2	32,1	19,6	15,9	19,0
Float 10 mm Luft B	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,96	0,98	0,99	0,98
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	94,2/26,02/37,9/28				
	50	93,8	92,5	94,8	96,4	94,2
	5	51,5	58,7	54,2	34,7	49,2
	1	34,0	48,6	38,8	-	30,4
	0,1	14,4	39,3	24,8	-	14,0

- 1) MW  $\hat{=}$  Mittelwert  
s  $\hat{=}$  Standardabweichung  
kE  $\hat{=}$  kleinster Einzelwert  
n  $\hat{=}$  Anzahl der Einzelwerte

Tabelle 36 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2

Fraktilwerte

Glasart Nennstärke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm <sup>2</sup>				
		Verteilungsfunktion				
		Normal	Lognormal	Weibull	mod. Weibull	mit vier Parametern
ESG 6 mm Bad A	Bestimmtheitsmaß	0,97	0,97	0,97	0,96	0,98
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	151,3/13,14/114,2/31				
	50	150,6	150,6	150,7	150,9	150,6
	5	132,7	133,5	132,5	130,1	132,3
	1	125,3	127,1	125,8	118,9	122,6
	0,1	117,0	120,2	120,0	104,8	109,7
ESG 6 mm Luft A	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	160,9/14,20/118,3/33				
	50	161,2	161,0	161,4	161,3	161,3
	5	139,8	141,2	137,8	138,6	136,8
	1	130,9	133,7	128,2	129,2	122,5
	0,1	121,0	125,7	118,8	118,8	103,0
ESG 6 mm Bad B	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	137,5/9,90/114,1/29				
	50	136,9	136,8	137,0	136,9	136,9
	5	120,2	121,1	120,7	120,5	120,6
	1	113,2	115,1	115,4	114,1	115,6
	0,1	105,4	108,7	111,2	107,3	112,2
ESG 6 mm Luft B	Bestimmtheitsmaß	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	150,9/11,12/120,1/30				
	50	151,4	151,3	151,7	151,6	151,7
	5	136,2	137,0	131,8	133,4	130,8
	1	130,0	131,5	120,7	125,0	115,6
	0,1	122,9	125,6	106,6	115,3	91,4

- 1) MW  $\hat{=}$  Mittelwert
- s  $\hat{=}$  Standardabweichung
- kE  $\hat{=}$  kleinster Einzelwert
- n  $\hat{=}$  Anzahl der Einzelwerte

Tabelle 37: Biegefestigkeit nach DIN 52303 T 1

## Fraktilwerte

Glasart Nennstärke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm <sup>2</sup>				
		Verteilungsfunktion				
		Normal	Lognormal	Weibull	mod. Weibull	mit vier Parametern
ESG 6 mm Bad A	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	171,8/12,90/136,2/41				
	50	172,2	172,1	171,7	172,2	172,4
	5	154,8	155,8	162,5	154,8	148,9
	1	147,7	149,5	161,4	148,0	132,3
	0,1	139,6	142,8	161,0	140,6	106,3
ESG 6 mm Luft A	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	175,0/10,95/150,4/40				
	50	174,0	174,0	173,9	173,9	174,0
	5	157,6	158,2	158,8	158,6	156,8
	1	150,8	152,1	154,3	153,1	147,4
	0,1	143,2	145,5	151,2	147,4	134,8
ESG 6 mm Bad B	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	164,9/9,25/143,0/41				
	50	165,3	165,2	165,6	165,5	165,6
	5	151,8	152,4	147,7	149,4	146,8
	1	146,2	147,4	137,5	141,9	133,0
	0,1	139,9	141,9	124,3	133,2	110,1
ESG 6 mm Luft B	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	174,8/9,41/146,2/41				
	50	175,7	175,6	176,0	175,9	176,0
	5	163,0	163,4	158,1	160,8	158,3
	1	157,7	158,6	147,8	154,0	145,4
	0,1	151,8	153,4	134,5	146,2	124,3

- 1) MW  $\hat{=}$  Mittelwert  
s  $\hat{=}$  Standardabweichung  
kE  $\hat{=}$  kleinster Einzelwert  
n  $\hat{=}$  Anzahl der Einzelwerte

Tabelle 38 : Biegefestigkeit nach DIN 52303 T 1

Fraktilwerte

Glasart Nennstärke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm <sup>2</sup>				
		Verteilungsfunktion				
		Normal	Lognormal	Weibull	mod. Weibull	mit vier Parametern
ESG 10 mm Bad A	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	174,2/14,76/148,7/39				
	50	173,0	172,8	172,9	172,9	173,0
	5	147,1	148,6	148,8	147,9	147,6
	1	136,4	139,6	141,5	138,5	138,8
	0,1	124,3	130,1	136,1	128,5	132,1
ESG 10 mm Luft A	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,99	1	1	1
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	176,3/10,18/140,5/40				
	50	176,4	176,3	176,5	176,5	176,5
	5	161,1	161,7	160,6	160,8	160,4
	1	154,8	156,0	154,5	154,4	154,4
	0,1	147,7	149,8	149,0	147,4	149,8
ESG 10 mm Bad B	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	158,8/11,86/136,2/41				
	50	158,7	158,6	159,2	159,2	159,2
	5	137,8	138,9	134,5	135,3	134,0
	1	129,1	131,6	122,4	124,6	122,2
	0,1	119,4	123,7	108,8	112,3	111,8
ESG 10 mm Luft B	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	162,6/9,59/139,8/38				
	50	162,3	162,2	162,2	162,2	162,2
	5	149,0	149,6	150,4	150,6	148,6
	1	143,5	144,6	147,1	146,6	141,4
	0,1	137,3	139,2	144,8	142,6	132,1

1) MW  $\hat{=}$  Mittelwert  
s  $\hat{=}$  Standardabweichung  
kE  $\hat{=}$  kleinster Einzelwert  
n  $\hat{=}$  Anzahl der Einzelwerte

Tabelle 39 : Biegefestigkeit, Doppelring 300/250/100

Fraktilwerte

Glasart Nenndicke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm <sup>2</sup>				
		Verteilungsfunktion				
		Normal	Lognormal	Weibull	mod. Weibull	mit vier Parametern
Float 6 mm Bad A	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,96	0,98	0,98	0,98
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	79,5/15,22/54,5/30				
	50	77,2	78,3	75,4	76,2	75,2
	5	52,4	55,7	62,0	57,9	61,9
	1	42,1	48,3	60,8	52,5	60,3
	0,1	30,6	41,3	60,4	47,4	59,7
Float 6 mm Luft A	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	133,6/47,55/47,8/31				
	50	129,2	126,1	128,8	129,3	127,9
	5	50,7	67,5	54,9	51,2	58,2
	1	18,1	52,1	32,2	20,6	34,9
	0,1	-	39,0	15,1	-	16,3
Float 6 mm Bad B	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	116,6/28,13/56,2/31				
	50	115,5	114,9	115,4	115,1	115,1
	5	74,3	81,3	77,7	79,3	76,5
	1	57,2	70,5	66,6	66,9	59,4
	0,1	38,1	60,1	58,5	54,2	40,8
Float 6 mm Luft B	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,97	0,98	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	174,9/56,64/69,7/31				
	50	174,2	171,2	174,3	177,5	175,7
	5	75,1	98,4	79,7	54,8	68,0
	1	34,0	78,3	48,8	-	32,5
	0,1	-	60,6	24,4	-	10,3

- 1) MW  $\hat{=}$  Mittelwert  
s  $\hat{=}$  Standardabweichung  
kE  $\hat{=}$  kleinster Einzelwert  
n  $\hat{=}$  Anzahl der Einzelwerte

Tabelle 40 : Biegefestigkeit, Doppelring 300/250/100  
Fraktilwerte

Glasart Nenndicke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm <sup>2</sup>				
		Verteilungsfunktion				
		Normal	Lognormal	Weibull	mod. Weibull	mit vier Parametern
Float 10 mm Bad A	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	89,9/27,81/44,4/30				
	50	87,7	85,9	87,4	87,4	87,4
	5	38,2	48,9	42,0	40,5	43,8
	1	17,7	38,7	28,6	23,0	34,8
	0,1	-	29,8	18,9	4,5	30,8
Float 10 mm Luft A	Bestimmtheitsmaß	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	114,9/34,72/57,1/31				
	50	112,0	108,8	111,0	111,7	110,4
	5	46,8	60,0	54,4	49,5	55,2
	1	19,8	46,9	39,5	26,1	39,8
	0,1	-	35,6	29,7	1,4	29,6
Float 10 mm Bad B	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	105,1/25,50/49,2/35				
	50	104,4	102,9	104,8	105,3	103,9
	5	58,6	66,2	57,3	54,2	60,0
	1	39,6	55,1	39,2	31,8	41,9
	0,1	18,4	44,9	23,0	6,3	24,3
Float 10 mm Luft B	Bestimmtheitsmaß	0,99	0,97	0,99	0,99	0,99
	MW/s/kE/n <sup>1)</sup>	152,8/43,67/49,1/35				
	50	154,2	152,5	154,6	156,4	156,3
	5	82,3	97,5	81,6	66,0	81,4
	1	52,6	81,1	55,1	22,8	68,2
	0,1	19,2	65,9	32,0	-	63,8

- 1) MW  $\hat{=}$  Mittelwert  
s  $\hat{=}$  Standardabweichung  
kE  $\hat{=}$  kleinster Einzelwert  
n  $\hat{=}$  Anzahl der Einzelwerte

## 5.2 Weibullverteilung (gem. NMP 354)

Die Ergebnisse der Doppelringprüfung mit überlagertem Gasdruck wurden ergänzend zu den Ausgleichsrechnungen des BAM-Rechenzentrums noch gemäß Diskussionspapier Nr. 8-88 des NMP 354 ausgewertet. In diesem Papier wird ausgeführt, daß die Weibullverteilung prinzipiell am besten geeignet sei, um die Verteilung einer Grundgesamtheit bei sprödbrechenden Werkstoffen wie Glas und Glaskeramik wiederzugeben; aus diesem Grunde wurde die weitere Auswertung auf diese Verteilungsfunktion beschränkt. Sie unterscheidet sich von der in Abschnitt 5.1 gewählten Weibullverteilung in der Zahl der Parameter: während dort die Ausgleichsrechnung mit einem dreiparametrischen Gleichungsansatz durchgeführt wurde, ist im NMP-Papier ein Verfahren zur Berechnung einer zweiparametrischen Verteilung aufgezeigt. Letztere hat den Vorteil daß aus einer Stichprobe ermittelte Werte für die Parameter 'Verzerrung' und 'Exponent' durch Angabe eines Vertrauensbereiches Schätzwerte für die entsprechenden Parameter der Grundgesamtheit dienen können. Der Schluß von einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit ist dann mit einer zu wählenden Aussagesicherheit möglich. Die Grenzen der Vertrauensbereiche der Parameter der Grundgesamtheit lassen sich mit Hilfe tabellarisch erfaßter Konfidenzfaktoren in Abhängigkeit von Stichprobenumfang und Vertrauensniveau berechnen.

Die Ergebnisse der Auswertung nach dem NMP-Diskussionspapier sind in den folgenden Tabellen 41 bis 43 dargestellt. Getrennt nach den Kennwerten Glasart, Nenndicke, Seite der Zugspannung und Hersteller werden die aus der Stichprobe berechneten Parameter der Weibullverteilung  $\hat{b}$  und  $\hat{k}$ , deren obere und untere Grenzen des Vertrauensbereiches sowie die unteren Grenzwerte für einzelne ausgewählte Häufigkeitsanteile mit einer üblichen Aussagesicherheit von 95 % angegeben. Zum Vergleich wurden die Kennwerte der dreiparametrischen Weibullverteilung aus der nicht-linearen Regressionsrechnung der BAM jeweils vorangestellt.

Tabelle 41 : Weibullverteilung; Auswertung.

## Prüfung nach DIN 52292 T 2

FLOAT 6 mm BAD A kl. Einzelwert: 39,00 N/mm <sup>2</sup>		Weibullverteilung		Fraktilwert der Biegefestigkeit an der unteren   oberen Grenze des Vertrauensbereiches (S=0,95)	
		BAM	NMP 354		
Para- meter	Verschiebung a	0,000	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	71,319	72,450	67,185	78,036
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	5,628	5,620	3,958	7,180
Bestimmtheitsmaß	B	0,989	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	66,82	67,88	61,25	-
	5 %	42,07	42,71	31,72	-
	1 %	31,50	31,96	21,02	-
	0,1 %	20,90	21,20	11,73	-
<b>FLOAT 6 mm LUFT A</b> kl. Einzelwert: 48,06 N/mm <sup>2</sup>					
Para- meter	Verschiebung a	0,000	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	95,774	93,164	87,200	99,320
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	5,274	6,522	4,593	8,333
Bestimmtheitsmaß	B	0,944	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	89,34	88,07	80,61	-
	5 %	54,53	59,08	45,73	-
	1 %	40,04	46,02	32,07	-
	0,1 %	25,85	32,31	19,41	-
<b>FLOAT 6 mm BAD B</b> kl. Einzelwert: 51,42 N/mm <sup>2</sup>					
Para- meter	Verschiebung a	46,497	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	73,405	77,084	71,608	82,869
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	1,88	5,871	4,106	7,533
Bestimmtheitsmaß	B	0,992	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	68,64	72,42	65,50	-
	5 %	52,04	46,48	34,74	-
	1 %	48,82	35,21	23,36	-
	0,1 %	47,18	23,77	13,32	-
<b>FLOAT 6 mm LUFT B</b> kl. Einzelwert: 30,58 N/mm <sup>2</sup>					
Para- meter	Verschiebung a	0,000	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	82,763	81,769	73,936	90,270
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	4,021	4,296	3,005	5,512
Bestimmtheitsmaß	B	0,974	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	75,55	75,08	65,45	-
	5 %	39,54	40,96	27,51	-
	1 %	26,36	28,02	15,99	-
	0,1 %	14,85	16,38	7,42	-



Tabelle 42 : Weibullverteilung; Auswertung.

Prüfung nach DIN 52292 T 2

FLOAT 10 mm BAD A kl. Einzelwert: 39,45 N/mm <sup>2</sup>		Weibullverteilung		Fraktilwert der Biegefestigkeit an der unteren   oberen Grenze des Vertrauensbereiches (S=0,95)	
		BAM	NMP 354		
Para- meter	Verschiebung a	34,703	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	58,259	60,355	57,082	63,766
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	3,266	7,454	5,288	9,487
Bestimmtheitsmaß	B	0,988	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	55,76	57,46	53,26	-
	5 %	44,19	40,52	32,55	-
	1 %	40,46	32,56	23,92	-
	0,1 %	37,55	23,89	15,46	-
<b>FLOAT 10 mm LUFT A</b> kl. Einzelwert: 47,81 N/mm <sup>2</sup>					
Para- meter	Verschiebung a	0,000	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	117,060	115,136	105,418	125,576
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	4,897	4,809	3,386	6,144
Bestimmtheitsmaß	B	0,984	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	108,62	106,69	94,61	-
	5 %	63,83	62,08	43,85	-
	1 %	45,75	44,23	27,10	-
	0,1 %	28,56	27,38	13,71	-
<b>FLOAT 10 mm BAD B</b> kl. Einzelwert: 30,82 N/mm <sup>2</sup>					
Para- meter	Verschiebung a	0,000	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	59,433	61,317	56,254	66,760
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	6,238	5,232	3,600	6,760
Bestimmtheitsmaß	B	0,988	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	56,04	57,17	50,81	-
	5 %	36,92	34,76	24,65	-
	1 %	28,43	25,45	15,67	-
	0,1 %	19,64	16,38	8,26	-
<b>FLOAT 10 mm LUFT B</b> kl. Einzelwert: 37,92 N/mm <sup>2</sup>					
Para- meter	Verschiebung a	4,850	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	102,660	103,213	93,432	113,816
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	4,344	4,345	3,039	5,575
Bestimmtheitsmaß	B	0,978	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	94,75	94,86	82,82	-
	5 %	54,22	52,10	35,16	-
	1 %	38,77	35,81	20,56	-
	0,1 %	24,80	21,05	9,63	-

Tabelle 43 : Weibullverteilung; Auswertung.

Prüfung nach DIN 52292 T 2

ESG 6 mm BAD A kl. Einzelwert: 114,2 N/mm <sup>2</sup>		Weibullverteilung		Fraktilwert der Biegefestigkeit an der unteren   oberen Grenze des Vertrauensbereiches (S=0,95)	
		BAM	NMP 354		
Parameter	Verschiebung a	112,527	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	154,331	158,512	153,032	164,090
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	4,012	11,612	8,292	14,736
Bestimmtheitsmaß	B	0,971	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	150,68	153,59	146,42	-
	5 %	132,47	122,74	106,96	-
	1 %	125,81	106,66	-	-
	0,1 %	120,00	87,44	-	-
<b>ESG 6 mm LUFT A</b> kl. Einzelwert: 118,26 N/mm <sup>2</sup>					
Parameter	Verschiebung a	102,531	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	165,784	167,600	162,624	172,634
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	5,097	13,087	9,468	16,501
Bestimmtheitsmaß	B	0,981	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	161,39	162,97	156,45	-
	5 %	137,85	133,57	118,84	-
	1 %	128,18	117,93	-	-
	0,1 %	118,84	98,87	-	-
<b>ESG 6 mm BAD B</b> kl. Einzelwert: 114,11 N/mm <sup>2</sup>					
Parameter	Verschiebung a	106,916	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	140,425	142,817	138,718	146,970
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	3,345	14,562	10,255	18,605
Bestimmtheitsmaß	B	0,991	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	136,95	139,27	133,85	-
	5 %	120,70	116,47	103,84	-
	1 %	115,39	104,13	-	-
	0,1 %	111,16	88,87	-	-
<b>ESG 6mm LUFT B</b> kl. Einzelwert: 120,07 N/mm <sup>2</sup>					
Parameter	Verschiebung a	0,014	-	-	-
	Verzerrung b bzw. $\hat{b}$	154,710	156,296	152,195	160,449
	Exponent c bzw. $\hat{k}$	18,538	15,627	11,087	19,890
Bestimmtheitsmaß	B	0,971	-	-	-
Häufigkeits- anteil	50 %	151,68	152,67	147,25	-
	5 %	131,81	129,24	116,43	-
	1 %	120,71	116,44	-	-
	0,1 %	106,59	100,46	-	-

## 6 Diskussion einiger Ergebnisse

Einige Untersuchungsergebnisse dieses Vorhabens sollen im Hinblick auf die Kenntnisse aus Literatursichtung (vgl. Abschn. 2) und Auswertung der Industrieergebnisse (vgl. Abschn. 3) nachfolgend erläutert werden:

Der Einfluß der Scheibendicke auf die Biegefestigkeit ließ bei der Prüfung von zwei Nenndicken nur die Tendenz zu geringerer Festigkeit bei größerer Glasdicke erkennen.

Bei den Doppelring-Biegeversuchen (DIN 52292 T 2) an Floatglas und ESG zeigten die Proben, deren Badseite die Zugzone bildete, signifikant geringere Biegefestigkeiten als die, deren Luftseite in der Zugzone lag; in nur einem Fall war dieser Unterschied der Mittelwerte als 'zufällig' einzustufen.

Obwohl die Ergebnisse der Prüfung von ESG nach DIN 52303 T 1 für die Luftseite in der Zugzone ausnahmslos höhere Biegefestigkeiten als für die Badseite zeigten, konnten die Unterschiede jedoch überwiegend nur als 'zufällig' im statistischen Sinne eingestuft werden.

Zum Einfluß der Prüfmethode auf die Biegefestigkeit mußte beim Vergleich der an 6 mm ESG erzielten Ergebnisse festgestellt werden, daß die nach der Balkenmethode (DIN 52303 T 1) geprüften Proben signifikant höhere Festigkeiten aufwiesen als die nach dem Doppelringverfahren (DIN 52292 T 2) geprüften.

Keiner der gewählten Ausgleichsfunktionen zur Beschreibung der Verteilung der Einzelwerte der Prüfergebnisse konnte der Vorrang gegeben werden. Das Bestimmtheitsmaß als eine übliche Maßzahl für die Bewertung der Verteilungsfunktion unterschritt in keinem Fall den Wert  $B = 0,91$ .

Folgt man dem Diskussionspapier des NMP 354, so scheint die Weibull-Verteilung für die Auswertung am besten geeignet zu sein. Mit Hilfe einer zweiparametrischen Form kann zu niedrigen Werten der Bruchwahrscheinlichkeit der Verteilung der Grundgesamtheit extrapoliert werden (vgl. Abschn. 5.2).

Bei der Bestimmung der Biegefestigkeit von ESG durch Prüfung mit zweiseitiger Auflagerung nach DIN 52303 T 1 fiel auf, daß der Bruchausgang häufig im Bereich der Längskanten der Proben zu finden war (vgl. Anlage 51, Bild 7 und Anlage 52, Bild 9). Die Auszählung von zwei Prüfserien ergab, daß bei mehr als zwei Dritteln der Proben der Bruch der Scheibe im Bereich eines etwa 2 cm schmalen Streifens entlang der Längskante begann. Mögliche Ursachen hierfür können in einer herstellungsbedingten Ungleichmäßigkeit der Vorspannung, der Plattenwirkung der Probe und dem bei großer Durchbiegung induzierten mehraxialen Spannungszustand oder im Kantenschliff vermutet werden.

Die vereinfachend errechneten Ergebnisse der Doppelring-Biegeversuche an Proben mit mittleren Prüfflächen (300 mm x 300 mm) zeigen auffällig größere Streuungen der Einzelwerte als die nach DIN 52292 T 2 geprüften Serien. Der Versuch, eine funktionale Beziehung zwischen den Ergebnissen beider Prüfarten mit Hilfe der Regressionsanalyse zu finden schlug fehl, da mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = 0$  eine stochastische Unabhängigkeit der Kenngrößen zu erwarten ist. Somit ist ein allgemeingültiger Schluß von den Ergebnissen kleiner Proben auf die Festigkeit größerer Formate hier nicht möglich.

Einschränkend zu dem o.a. Vergleich der Versuchsergebnisse sei noch darauf hingewiesen, daß beim mittleren Doppelringverfahren (300/250/100) mit geringer werdender Glasdicke der Bereich der linearen Plattenbiegung sehr rasch verlassen wird und Membranspannungen wirksam werden, die sich in einem Absinken des gesamten Spannungsniveaus (verglichen mit der linearen Berechnung der Bruchspannungen) und in Spannungsüberhöhungen unter der Schneide des Lastrings bemerkbar machen.

Auch wenn die Mittelwerte der Biegefestigkeit der Proben, deren Badseite die Zugzone bildete, stets die geringeren waren, kann bei der Extrapolation zu kleineren Bruchwahrscheinlichkeiten der Fall auftreten, daß für die Badseite größere Fraktilwerte berechnet werden als für die Luftseite (vgl. Tabellen 34 bis 40, S. 40-46). Eine Erklärung ist durch die Betrachtung von Lage und Form der jeweils zusammengehörenden Darstellungen (Kurven) der Ausgleichsfunktionen zu finden:

Liegen beide Kurven etwa im gleichen Festigkeitsbereich und ist

die Kurvenform der Luftseite flacher als die der Badseite, dann können die Fraktilwerte der Luftseite geringer als die der Badseite sein.

Liegt die Kurve der Luftseite mit ihrem Mittelwert erheblich über dem der Badseite, werden die Fraktilwerte hierdurch stärker beeinflußt als durch die Form der Kurve; die Fraktilwerte der Luftseite sind dann - wie schon die Mittelwerte - größer.

Folgt man den Ausführungen des NMP-Diskussionspapiers, daß bei vorgespanntem Glas die sog. Prüffestigkeit sich aus einem Sockelbetrag (eingeprägte Oberflächendruckfestigkeit) von nur geringer Schwankungsbreite und der statistisch streuenden Eigenfestigkeit des Glases additiv zusammensetzt, so bedeutet dies bei der Darstellung in Form einer Weibullverteilung lediglich eine Verschiebung der Kurve um eben diesen Sockelbetrag hin zu höheren Festigkeiten.

An den Ergebnissen der nicht linearen Regressionsanalyse fiel auf, daß bei freier Parameterwahl die Verschiebung  $a$  bei ESG meist zu  $a = 100$ , bei Floatglas meist zu  $a = 0$  berechnet wurde. Wich der Parameter von dem erwarteten Wert ab, so ergab eine erneute Ausgleichsrechnung bei Vorgabe der Verschiebung entsprechend der Glasart meist ähnliche, nur geringfügig schlechtere Verteilungsfunktionen.

Statistische Auswerteverfahren sollen gem. NMP-Diskussionspapier "es ermöglichen, aus Meßwerten der Biegefestigkeit von Gläsern - bezeichnet als Prüffestigkeiten - statistisch gesicherte Aussagen über die anzunehmende Grundgesamtheit zu gewinnen, sowie reproduzierbare Beurteilungskriterien zu erhalten. Es ist sehr häufig erforderlich, den mit Hilfe von Stichproben erfaßten Bereich einer Verteilungsfunktion zu extrapolieren, in der Regel zu niedrigen Werten hin, was im Fall von Stichproben aus Prüffestigkeiten niedrigen Werten der Bruchwahrscheinlichkeit entspricht. Da in den meisten Fällen die Bruchwahrscheinlichkeit der Grundgesamtheit interessiert, sind die Grenzen der statistischen Vertrauensbereiche für die Grundgesamtheit zur Extrapolation zu benützen. Jede Extrapolation setzt aber voraus, daß die angenommene Verteilungsfunktion für sinnvoll gehalten wird".

Betrachtet man ohne Unterscheidung von Glasdicke, Luft- oder Badseite und Hersteller die im Doppelringverfahren erhaltenen Prüfungsergebnisse und deren statistische Auswertung mit Hilfe

der Weibullverteilungen (vgl. Tabellen 41...43, Abschn. 5.2), so ergeben sich aufgrund des kleinsten berechneten Wertes sog. Bruchwahrscheinlichkeiten im Sinne des NMP-Papiers als (im Bauwesen übliche) 5 %-Fraktilwerte bei einer Aussagewahrscheinlichkeit von 95 % für Floatglas zu rd. 25 N/mm<sup>2</sup> und für ESG zu rd. 100 N/mm<sup>2</sup>. Weitere Fraktilwerte sind in den o.a. Tabellen 41..43 angegeben.

## 7 Hinweise zur Einbeziehung der Ergebnisse bei der Sicherheitsbeurteilung von Glasbauteilen

Sicherheitsbeurteilungen verlangen, daß auf der Widerstandsseite die Fraktilen mit geringer Unterschreitungswahrscheinlichkeit möglichst wirklichkeitsnah erfaßt werden. In der Regel liegen diese Bemessungswerte unterhalb des von den Versuchsergebnissen erfaßten Bereichs. Bei der Anpassung von mathematischen Verteilungsfunktionen an die Summenhäufigkeitslinien der Versuchsergebnisse, um die Bemessungswerte durch Extrapolation zu bestimmen, erweist sich das Bestimmtheitsmaß hier als ungeeignete Grundlage für die Entscheidung, welche mathematische Verteilungsfunktion zur Extrapolation angewendet werden soll, da es nicht genügend differenziert und nur eine "beste" Anpassung über den gesamten Bereich ermöglicht. Außerdem sind die hier betrachteten "Standard"-Verteilungsfunktionen (selbst die vierparametrischen) für eine optimale Anpassung im Bereich kleiner Unterschreitungswahrscheinlichkeiten zu starr. Die Unterschiede zwischen Luft- und Badseite sind einerseits augenscheinlich, andererseits ist eine getrennte Sicherheitsbetrachtung nicht vertretbar, da man davon ausgehen muß, daß Luft- und Badseite zufällig mit gleichen Anteilen zur zugbeanspruchten Seite hin eingebaut werden.

Auch die Differenzierung nach Glasdicken ist fraglich. Die Großzahlinformation aus den Industrieuntersuchungen zeigt nämlich, daß die an Proben aus einer Glasdicke gewonnenen Ergebnisse bei genügend großem Informationsumfang den gesamten Bereich der Prüffestigkeit der entsprechenden Glassorte abdecken.

Zu den Unterschieden, die sich bei Informationen kleineren Umfanges ergeben, kann angenommen werden, daß die entsprechenden Stichproben verschiedenen Produktionslosen mit zumindest unterschiedlichen Losmittelwerten entstammen. Entsprechendes gilt auch für die Unterscheidung nach Herstellern. Da bei der planenden Sicherheitsbeurteilung einer Bauteilart in der Regel nicht vorausgesagt werden kann, von welchem Hersteller das einzubauende Glas stammen wird, ist hierbei auch eine Differenzierung nach Herstellern nicht vertretbar.

Bei der Tragfähigkeitsbeurteilung großer Glasscheiben ist zusätzlich die Tatsache zu beachten, daß die Versagensstelle häufig nicht am Ort der höchsten Beanspruchung innerhalb der Scheibe liegt. Damit ist eine direkte Einführung der in den Normversuchen ermittelten Prüffestigkeitswerte in die Modellvorstellungen der statischen Berechnungen nicht sinnvoll. Mit den Ergebnissen der Untersuchungen zur Tragfähigkeit großer Glasscheiben /53/ werden diese Gesichtspunkte in einer zusammenfassenden Auswertung in /54/ berücksichtigt.



## Literatur

- /1/ GRAF, O.: Versuche über die Elastizität und Festigkeit von Glas als Baustoff. Glastechn. Ber. 3 (1925) 153-194.
- /2/ GRAF, O.: Über die Festigkeit von Glas für das Bauwesen. Glastechn. Ber. 13 (1935) 232-236.
- /3/ ALBRECHT, E.: Festigkeitsversuche mit Spiegel- und Maschinenglas. Glastechn. Ber. 11 (1933) 58-63.
- /4/ REIS, L.v.: Festigkeit des vorgespannten Flachglases. Glastechn. Ber. 21 (1943) 185-198.
- /5/ JEBSEN-MARWEDEL, H.; DINGER, K.: Prüfung der Bruchgefahr von Tafelglasscheiben mit Bezug auf Fragen der Normung. Glastechn. Ber. 21 (1943) 185-198.
- /6/ GOERK, H.; LEDERER, J.: Beitrag zur Temperaturwechselbeständigkeit des Flachglases. Silikattechn. 7 (1956) 182-187.
- /7/ ALBRECHT, E.: Über einige Faktoren, welche die Ergebnisse der Prüfung von Glas auf mechanischem Wege beeinflussen. Glastechn. Ber. 15 (1937) 285-287.
- /8/ SMEKAL, A.: Festigkeitsmindernde Struktureigenschaften der Gläser. Glastechn. Ber. 13 (1935) 222-232.
- /9/ SMEKAL, A.: Über den Zerreivorgang der Gläser. Glastechn. Ber. 13 (1935) 141-151.
- /10/ HOLLAND, A.J.; TURNER, W.E.S.: Die Bruchfestigkeit des Glases und ihre Beeinflussung durch Ritze und Fehlstellen. Glastechn. Ber. 15 (1937) 270-282.
- /11/ SCHÖNBRUNN, G.: Einfluß der Oberflächenschädigung auf das Festigkeitsverhalten von Glas. Glastechn. Ber. 49 (1976) 103-113.

- /12/ STAHN, D.: Zur Erfassung der technischen Festigkeit von Glas. Glastechn. Ber. 51 (1978) 226-234.
- /13/ SCHARDIN, H.: Festigkeit und Bruchvorgang beim Biegeversuch. Glastechn. Ber. 32 k (1959) III-7 - III-13.
- /14/ BLACK, L.V.: Effect of the rate of loading on the breaking strength of glass. Bull.Amer.Ceram.Soc. 15 (1936) 274-275.
- /15/ SMEKAL, A.: Über die Natur des Einflusses der Probenbreite auf die Biegezugfestigkeit von Flachglas. Glastechn. Ber. 15 (1937) 282-285.
- /16/ SMEKAL, A.: Über die Natur der mechanischen Festigkeitseigenschaften der Gläser. Glastechn. Ber. 15 (1937) 259-270.
- /17/ SCHARDIN, H.; STRUTH, W.: Hochfrequenzkinematographische Untersuchungen der Bruchvorgänge im Glas. Glastechn. Ber. 16 (1938) 219-227.
- /18/ SCHARDIN, H.: Ergebnisse der kinematographischen Untersuchung des Glasbruchvorgangs. Glastechn. Ber. 23 (1950) 1-10, 69-79, 325-336.
- /19/ KERKHOF, F.: Bruchvorgänge in Gläsern. Frankfurt (Main): Verl. d. Dt. Glastechn. Ges. 1970.
- /20/ KERKHOF, F.: Bruchmechanische Analyse von Schadensfällen an Gläsern. Glastechn. Berl. 48 (1975) 112-124.
- /21/ KERKHOF, F.; RICHTER, H.; STAHN, D.: Festigkeit von Glas. Zur Abhängigkeit von Belastungsdauer und -verlauf. Glastechn. Ber. 54 (1981) 265-277.
- /22/ SCHÖNBORN, H.: Der Einfluß der Versuchsbedingungen auf die Bestimmung der mechanischen Festigkeit des Glases. Silikatechn. 4 (1953) 531-535.
- /23/ DIN Entwurf DVM 2303 Einschicht-Sicherheitsglas für Fahrzeuge (Prüfverfahren). Ausg. November 1934.

- /24/ DIN 52303 Prüfung von Glas; Biegeversuch. Ausg. Nov. 1957.
- /25/ DIN 52303 Prüfung von Glas; Biegeversuch. Ausg. Nov. 1976.
- /26/ TGL 14804 Prüfung von Glas; Biegeversuch an Sicherheitsglas. Ausg. April 1963.
- /27/ TGL 14804 Prüfung von Glas; Bestimmung der Biegefestigkeit von Sicherheitsglas. Ausg. Mai 1973.
- /28/ ASTM C 158-80 Standard methods of flexure testing of glass (determination of modulus of rupture). 1980.
- /29/ EGNER, K.: Ermittlung der zulässigen Biegebeanspruchung großer Glasscheiben bei gleichmäßig verteilter Flächenbelastung. Ber. aus der Bauforschung Nr. 73. Berlin 1973.
- /30/ ALEKSANDROV, Y.P.; SHEKHTER, F.L.; ABRAMYAN, E. A.; PEROVA, A.A.: Method of determining the ultimate strength of large glass sheets. Glass and Ceram. 36 (1979) 553-556.
- /31/ SPIEKERMANN, H.: Verhalten von eingeglasten Drahtglasscheiben unter gleichmäßig verteilter Last. Glastechn. Ber. 28 (1955) 198-200.
- /32/ SCHARDIN, H.; KERKHOF, F.: Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Biegefestigkeit von Tafelglas. Glastechn. Ber. 28 (1955) 124-131.
- /33/ DIN ISO 614 Schiffbau; Scheiben aus Einscheiben-Sicherheitsglas für runde und rechteckige Schiffsfenster; Stempeldruckversuch zur zerstörungsfreien Prüfung der Festigkeit. Ausg. Febr. 1978.
- /34/ FAYET, A.: Determination de la resistance mecanique de plaques circulaires de verre mince a l'aide d'un test de flexion par anneaux concentriques. Verres Refract. 26 (1972) Nr. 2, 35-44.
- /35/ KAO, R.; PERRONE, N.; CAPPS, W.: Large-deflection solution of the coaxial-ring-circular-glass-plate flexure problem. J. Amer. Ceram. Soc. 54 (1971) 566-571.

- /36/ WOELK, H.; ELSENHEIMER, K.: Biegebruchspannung von Floatglas und thermisch vorgespanntem Floatglas. Glastechn. Ber. 52 (1979) 14-24.
- /37/ BLANK, K.; SCHMITT, R.W.; TROEDER, Chr.: Ein modifiziertes Doppelringverfahren zur Bestimmung der Biegezugfestigkeit grossformatiger Glasplatten. Vortrag XIII. Internationaler Glaskongress, 1983. Glastechn. Ber. 56 K (1983) Bd. 1, S. 414-419.
- /38/ FURMANN, V.G.; TROSHIN, V.F.: Some rules for the distribution of the strength of constructional glass. Strength Mater. 7 (1975) 160-163.
- /39/ ALBRECHT, E.: Festigkeitsprüfung von Flachglas. Glastechn. Ber. 13 (1935) 237-239.
- /40/ DIN 52292 Teil 2 Prüfung von Glas und Glaskeramik; Bestimmung der Biegefestigkeit; Doppelring-Biegeversuch an plattenförmigen Proben mit großen Prüfflächen. Aug. Sept. 1986.
- /41/ BOGUSLAVSKII, A.; BUTAEV, A.M.; ROMAKIN, A.N.; OSTROLUTSKAYA, N.V.: Defectiveness and strength of float glass. Glass and Ceramics 40 (1983) 78-82.
- /42/ BLANK, K.: Thermisch vorgespanntes Glas. Glastechn. Ber. 52 (1979) 1-13, 51-54.
- /43/ DANNHEIM, H.; OEL, H.J.; PRECHTL, W.: Einfluß der Vorspannung auf die Oberflächendefektentstehung bei thermisch vorgespannten Flachgläsern. Glastechn. Ber. 54 (1981) 312-318.
- /44/ EXNER, G.: Abschätzung der erlaubten Biegespannung in vorgespannten Glasbauteilen. Teil I. Analyse des Festigkeitsbegriffes bei vorgespannten Scheiben und meßtechnische Realisierung. Glastechn. Ber. 59 (1986) 259-271.
- /45/ SCHMITT, R.W.: Die Doppelringmethode mit überlagertem Gasdruck als Prüfverfahren zur Bestimmung der Bruchspannungen von großformatigen ebenen Glasplatten kleiner Dicke. Diplomarbeit am Institut für Maschinenelemente und Maschinengestaltung RWTH Aachen, 1982

- /46/ DIN 52303 Teil 1 Prüfverfahren für Flachglas im Bauwesen  
Bestimmung der Biegefestigkeit  
Prüfung bei zweiseitiger Auflagerung  
Ausgabe August 1984
- /47/ DIN 52292 Teil 1 Prüfung von Glas und Glaskeramik  
Bestimmung der Biegefestigkeit  
Doppelring-Biegeversuch an plattenförmigen Proben mit kleinen Prüfflächen  
Ausgabe April 1984
- /48/ BLANK, K.; SCHMITT, R.W.: Diskussionspapier DIN 52292 Teil 3:  
Statistische Auswertung von Biegefestigkeitsmessungen  
NMP 354 Nr. 8-88  
Stand Mai 1988
- /49/ SACHS, L.: Angewandte Statistik.  
Springer Verlag Berlin/Heidelberg New York
- /50/ TITTES, E.: Über die Auswertung von Versuchsergebnissen mit Hilfe der Weibull-Verteilung. Bosch Techn. Berichte 4  
(1973) 146-158
- /51/ STROGIES, W.: Zur Anwendung mathematischer Methoden in der Materialprüfung. Wissenschaftliche Berichte aus der Arbeit der BAM, 1973, 559-562
- /52/ SCHMIDT, J.: Ein mathematisches Modell für Häufigkeitsverteilungen mit vier Parametern. Material und Technik 1986 No 3, 136-144
- /53/ BRÜNNER, W.: Untersuchungen zur Tragfähigkeit großer Glasscheiben. Abschlußbericht zum BAM-Vorhaben Nr. 2216. Forschungsbericht 162 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, 1989
- /54/ BRÜNNER, W.; MELLMANN G.; STRUCK, W.: Biegefestigkeit und Tragfähigkeit von Scheiben aus Flachglas für bauliche Anlagen. Zusammenfassende Auswertung zu den BAM-Vorhaben Nr. 2127 und 2216. Forschungsbericht 163 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, 1989



Tabelle 3: Biegefestigkeit; Prüfung nach DIN 52292 T 2

## Einzelwerte

1	FLOAT							
2	6 mm				10 mm			
3	Luft		Bad		Luft		Bad	
4	A	B	A	B	A	B	A	B
	48.06	30.58	39.00	51.42	47.81	37.92	39.45	30.82
	54.97	37.14	46.46	54.22	52.35	48.97	42.94	35.90
	55.93	42.67	47.00	56.13	54.17	58.74	45.48	36.00
	58.53	46.28	47.90	58.11	63.18	63.24	48.00	45.04
	60.61	52.91	49.44	58.34	73.20	65.81	49.19	45.14
	66.80	58.50	53.75	58.70	87.84	74.54	50.58	49.66
	74.78	58.58	54.88	59.22	88.94	75.34	50.78	50.68
	75.72	60.72	55.62	60.59	95.46	75.84	50.88	51.46
	76.33	62.90	61.50	61.60	95.56	80.61	51.27	52.36
	76.65	63.72	61.76	62.65	100.23	83.42	54.09	53.54
	82.47	69.55	63.01	64.40	102.04	89.12	54.09	54.23
	89.57	71.64	63.65	66.12	102.20	92.04	54.28	55.08
	92.10	73.99	64.54	69.02	107.33	92.24	54.76	55.27
	94.38	79.67	66.12	69.59	107.35	93.35	54.77	56.42
	94.60	81.71	67.29	70.24	109.26	100.03	55.35	56.80
	95.39	84.04	70.03	71.00	111.43	101.73	55.83	57.75
	96.28	85.99	71.90	72.72	113.06	104.94	56.40	60.08
	96.86	86.04	72.05	73.05	114.87	108.47	56.66	61.46
	99.02	86.78	73.05	75.94	121.21	108.87	56.97	62.26
	99.58	86.91	74.16	76.99	124.14	110.01	59.46	63.80
	101.43	88.18	74.46	78.52	124.58	110.84	60.42	63.97
	101.49	88.50	76.01	81.20	126.86	111.06	60.47	64.84
	103.28	89.71	76.51	83.82	128.92	111.22	60.69	67.60
	103.78	96.84	78.51	84.69	131.25	114.71	61.76	76.09
	104.18	98.30	78.88	88.97	131.48	116.25	63.84	76.43
	105.15	100.55	79.40	91.47	134.18	120.74	64.80	77.84
	105.31	104.18	82.43	91.70	137.87	129.74	64.96	
	109.57	104.35	86.96	92.49	141.88	157.70	65.85	
	111.68		100.14		151.47		72.12	
							74.53	

Zeile 1: Glasart  
 Zeile 2: Nenndicke  
 Zeile 3: Seite der Zugspannung  
 Zeile 4: Hersteller

Tabelle 4: Biegefestigkeit; Prüfung nach DIN 52292 T 2

Einzelwerte

1	ESG			
2	6 mm			
3	Luft		Bad	
4	A	B	A	B
	118.26	120.07	114.20	114.11
	134.44	130.52	132.46	124.06
	141.62	131.26	135.64	126.56
	145.32	140.42	136.83	126.61
	145.99	141.19	138.82	126.93
	146.81	142.27	139.67	127.25
	151.60	142.27	141.05	127.84
	151.65	144.92	142.36	130.19
	152.55	149.58	148.08	131.59
	156.60	149.78	148.13	133.28
	157.25	150.40	148.44	134.77
	159.49	150.57	148.90	135.65
	159.82	150.84	149.20	136.38
	159.96	151.58	150.71	136.57
	160.39	151.64	151.11	137.06
	161.37	151.66	151.25	137.12
	161.54	152.08	151.39	139.22
	161.58	152.48	151.91	139.64
	161.68	152.58	152.51	140.10
	162.12	152.99	152.86	141.86
	162.60	155.95	154.00	143.24
	166.89	157.20	154.84	144.62
	167.64	158.47	155.43	145.37
	168.98	158.59	158.13	147.38
	169.27	158.95	158.23	147.88
	173.02	161.98	163.66	151.31
	173.67	162.99	167.65	153.06
	176.95	163.74	167.69	153.18
	177.39	167.71	171.45	154.47
	178.05	172.50	173.76	
	179.02		178.61	
	181.71			
	183.34			

Zeile 1: Glasart  
 Zeile 2: Nenndicke  
 Zeile 3: Seite der Zugspannung  
 Zeile 4: Hersteller



Tabelle 5: Biegefestigkeit; Prüfung nach DIN 52303 T 1

Einzelwerte

1	ESG							
2	6 mm				10 mm			
3	Luft		Bad		Luft		Bad	
4	A	B	A	B	A	B	A	B
150.44	146.19	136.22	142.98	140.46	139.84	148.72	136.15	
160.42	153.31	141.94	145.47	160.71	141.57	151.96	138.57	
161.27	155.49	150.44	145.47	164.89	145.73	152.36	138.75	
161.38	157.47	152.51	150.93	164.98	149.81	154.90	139.68	
162.03	165.03	154.74	151.05	165.29	153.31	157.62	140.51	
163.88	166.65	159.63	152.60	166.53	155.82	158.44	145.22	
164.80	167.84	160.25	157.47	167.06	156.28	159.19	146.78	
165.00	168.14	165.47	158.49	167.46	156.78	159.43	146.94	
165.13	168.32	165.96	159.52	167.50	157.00	160.19	148.17	
165.92	169.68	166.44	160.34	170.35	157.13	161.39	148.77	
167.33	170.15	166.79	160.40	171.09	157.23	161.57	149.75	
168.10	172.32	168.27	160.79	171.32	157.91	161.97	149.91	
169.89	173.11	168.91	161.20	173.08	159.28	165.43	151.70	
171.33	173.44	168.95	161.53	173.25	160.08	166.53	152.84	
172.39	173.80	169.10	163.16	173.50	160.64	167.08	156.62	
172.48	173.87	169.54	163.22	173.91	161.22	169.16	156.98	
173.35	173.88	169.83	164.11	174.70	161.67	170.33	157.42	
173.40	175.46	170.02	164.57	174.71	161.86	173.10	157.66	
174.47	175.70	170.36	164.83	175.92	161.99	173.51	158.00	
174.80	175.84	170.40	165.10	176.14	162.14	175.42	159.75	
175.20	176.09	170.85	165.80	178.18	162.29	175.62	159.97	
175.52	176.19	170.94	165.98	178.42	163.36	176.44	160.12	
176.13	177.05	172.73	166.18	178.55	164.29	177.16	160.63	
176.30	177.24	173.40	166.32	178.74	164.73	178.19	161.47	
176.79	177.71	176.10	167.04	179.45	165.07	178.91	161.72	
176.89	177.72	176.21	168.72	179.88	165.32	180.08	162.99	
176.96	178.19	176.27	169.39	179.90	166.16	180.09	163.88	
177.03	178.90	177.00	169.72	181.13	167.05	181.18	164.84	
178.00	179.46	177.35	169.82	182.19	168.10	183.30	165.87	
179.64	179.52	178.89	170.44	182.51	170.13	185.46	166.83	
180.06	180.79	179.98	171.05	182.98	171.17	185.58	167.05	
182.14	181.68	180.08	171.59	184.42	171.80	186.16	168.48	
186.36	183.06	181.07	171.64	184.92	172.03	186.70	169.64	
186.60	184.36	181.50	171.73	185.02	172.17	188.44	169.87	
187.28	184.77	182.06	172.53	186.01	173.38	196.34	171.02	
188.98	185.08	186.27	173.17	189.58	178.68	199.50	172.46	
189.01	185.41	187.58	176.43	189.62	180.17	200.51	175.12	
191.33	185.46	188.50	176.99	191.80	184.75	200.56	175.21	
201.32	186.09	189.45	179.27	191.95		203.94	175.69	
202.40	187.36	194.89	181.04	194.29			177.63	
	187.71	199.06	181.21				181.76	

Zeile 1: Glasart  
 Zeile 2: Nenndicke  
 Zeile 3: Seite der Zugspannung  
 Zeile 4: Hersteller

Tabelle 6: Biegefestigkeit; Prüfung mit Doppelring 300/250/100

Einzelwerte

1	FLOAT							
2	6 mm				10 mm			
3	Luft		Bad		Luft		Bad	
4	A	B	A	B	A	B	A	B
	47.85	69.74	54.50	56.25	57.11	49.10	44.43	49.22
	68.06	76.34	61.96	62.19	70.96	55.39	46.29	67.47
	73.10	77.10	64.44	66.59	73.19	80.29	46.67	68.09
	74.40	87.97	64.62	86.50	74.63	93.67	57.85	68.21
	81.30	111.98	65.81	93.40	76.67	94.57	58.15	74.06
	82.74	112.33	67.63	94.47	77.93	106.86	59.53	75.20
	84.69	133.69	68.40	95.85	77.94	126.59	64.87	77.92
	101.63	137.56	68.56	100.59	79.37	126.90	68.36	85.89
	106.96	142.29	69.10	106.72	80.79	128.87	75.40	86.95
	113.48	142.64	69.51	107.07	90.89	131.54	78.12	87.20
	113.69	159.47	69.62	107.25	93.70	134.31	78.56	90.68
	114.18	160.87	69.97	107.77	94.13	136.05	81.44	91.02
	116.62	163.18	70.81	113.03	103.54	138.59	82.62	94.57
	116.88	166.48	71.39	114.08	104.82	139.61	84.23	95.22
	118.71	169.45	76.22	114.54	108.70	146.47	84.26	96.08
	131.86	175.71	76.84	114.96	118.19	146.59	86.29	103.69
	140.74	179.09	78.25	116.53	119.09	150.56	90.05	106.01
	142.03	179.97	81.97	118.28	123.08	152.75	90.28	107.73
	144.67	194.86	82.61	118.64	123.84	159.83	99.06	109.66
	150.70	209.76	84.42	121.79	124.26	163.55	101.28	110.83
	152.10	210.28	86.10	124.77	132.23	167.61	107.89	111.78
	153.69	211.51	86.16	126.21	136.37	169.72	110.18	112.15
	162.62	216.59	91.65	130.01	137.06	173.89	111.81	113.76
	162.94	221.77	92.88	137.39	146.56	174.86	114.22	123.11
	168.14	232.01	93.65	137.91	155.34	184.91	118.15	123.66
	170.21	232.36	94.10	145.80	155.97	191.05	121.57	123.66
	183.58	232.54	96.84	149.78	157.12	191.51	122.47	124.98
	185.65	237.73	100.28	152.11	157.15	191.69	128.81	127.34
	201.48	241.29	103.04	157.19	158.13	197.55	137.89	131.22
	234.55	244.98	124.84	162.62	166.00	200.84	146.23	133.19
	243.50	290.13		174.89	187.75	204.39		133.45
						204.52		134.81
						207.01		140.04
						210.24		143.90
						215.22		155.16

Zeile 1: Glasart  
 Zeile 2: Nenndicke  
 Zeile 3: Seite der Zugspannung  
 Zeile 4: Hersteller





## Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

Nr. 1/September 1968

**Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)**  
Rechenstandsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Nr. 2/Juli 1970 (vergriffen)

**Zum Problem des Feuchtigkeitschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern**  
von Dr.-Ing. Götz Andraea

Nr. 3/September 1970 (vergriffen)

**Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungsseilen als Beispiel für Verbundbauteile**  
von Dr.-Ing. Josef Ziebs

Nr. 4/Dezember 1970 (vergriffen)

**Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren**  
von Dr. rer. nat. Arno Burmester

Nr. 5/März 1971

**Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken**  
von Dr. rer. nat. Norbert Steiner

Nr. 6/April 1971

**Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen**  
von Prof. Dr.-Ing. Paul Schneider

Nr. 7/Juli 1971

**Chromatographie und chemische Konstitution — Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie**  
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Petrowitz

Nr. 8/November 1971

**Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Helmut Veith

Nr. 9/November 1971

**Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen**  
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller

Nr. 10/Januar 1972

**Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode**  
von Dr.-Ing. Dietmar Aurich und Prof. Dr. phil. Erich Martin

Nr. 11/Februar 1972

**Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden**  
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Krause

Nr. 12/Mai 1972

**Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren**  
von Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. Hubert Feuerberg

Nr. 13/Juni 1972

**Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und  $2 \cdot 10^{-7}$  Torr**  
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig (Berichter), Prof. Dr.-Ing. Kurt Kirschke, Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig und Dipl.-Phys. Harald Tischer

Nr. 14/Juli 1972

**Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz**  
von Eberhard Fischer

Nr. 15/August 1972

**Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse**  
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Heinz Pohl

Nr. 16/August 1972

**Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer**  
von Dr.-Ing. Erwin Knublauch

Nr. 17/August 1972

**Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen**  
von Dr.-Ing. Peter Reimers

Nr. 18/Januar 1973

**Das Spröbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**  
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 19/Januar 1973

**Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen**  
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. K. Kaffanke und Dr.-Ing. H. Czichos

Nr. 20/April 1973

**Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden**  
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 21/Juli 1973

**Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung**  
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. D. Klaffke und Dr.-Ing. W. Maennig

Nr. 22/Juli 1973

**Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen**  
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi und Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 23/November 1973

**Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen**  
von Prof. Dr. rer. nat. habil. Walter Ruske

Nr. 24/November 1973

**Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung**  
von Dipl.-Ing. J. Stanke, Ing. grad. E. Klement und Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 25/Dezember 1973

**Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen**  
von Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 26/August 1974

**Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen —**  
von Dipl.-Ing. P. Jost, Dr.-Ing. P. Reimers und Dr.-Ing. P. Weise

Nr. 27/August 1974

**Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall**  
von Dr.-Ing. Hermann Wüstenberg

Nr. 28/August 1974

**Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern**  
von Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 29/August 1974

**Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall**  
von Prof. Dr.-Ing. P. Schneider

Nr. 30/September 1974 (vergriffen)

**The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology**  
von Dr. Horst Czichos und Dr. Geert Salomon

Nr. 31/August 1975

**Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann

Nr. 32/September 1975

**Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen**  
von Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Bernhard Böttcher

Nr. 33/November 1975

**Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens**  
von Dipl.-Ing. Armin Wagner, Dipl.-Phys. Gerhard Kieper und Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 34/Januar 1976 (vergriffen)

**Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoffen**  
von Dipl.-Forsting. Dr. rer. sylv. Hans-Joachim Deppe

Nr. 35/Januar 1976

**Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper — Vorschlag für ein Prüfverfahren —**  
von Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 36/Januar 1976 (vergriffen)

**Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles**  
von Dipl.-Ing. Jürgen Hundt

Nr. 37/Februar 1976

**Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen — Vorschlag für ein Prüfverfahren —**  
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 38/Juni 1976

**Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionisiertem Stahl 42 CrMo 4**  
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 39/Juni 1976

**Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newtonschem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung**  
von Prof. Dr.-Ing. K. Kirschke und Dipl.-Phys. G. Kempf

Nr. 40/Juni 1976

**Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren**  
von Dr. rer. nat. H. Hantsche

Nr. 41/Okttober 1976

**Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten**  
von Dr. rer. nat. Bernhard Böttcher

Nr. 42/Okttober 1976

**Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft**  
von Dr.-Ing. Siegmund Dietlen

Nr. 43/Okttober 1976

**Das Spröbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**  
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 44/November 1976

**Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“**  
von Dipl.-Ing. W. Matthees

Nr. 45/Dezember 1976

**Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten**  
von Dr.-Ing. W. Paatsch

Nr. 46/Mai 1977 (vergriffen)

**Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung**  
**Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses**  
von Dipl.-Ing. Gerald Schickert und Dipl.-Ing. Helmut Winkler

Nr. 47/Juni 1977

**Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen**  
von Dr.-Ing. Arno Plank

Nr. 48/Okttober 1977

**Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn**  
von Dr.-Ing. U. Holzjöhner

Nr. 49/Dezember 1977

**Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung**  
von Dr.-Ing. Günther Wittig

Nr. 50/Juni 1978 (vergriffen)

**Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern**  
von Prof. Dipl.-Phys. Norbert Czaika, Dipl.-Phys. Norbert Mayer, Dipl.-Ing. Claus Amberg, Dipl.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Götz Andraea und Dipl.-Ing. Winfried Markowski

Nr. 51/Juni 1978

**Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen**  
von Dr. rer. nat. J. Sickfeld

Nr. 52/August 1978

**Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörpergleitreibung**  
von Dr.-Ing. Aleksandar Tomov

Nr. 53/Okttober 1978

**Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge**  
von Rolf Günter Rohrmann und Reinald Rudolphi

- Nr. 54/Okttober 1978  
**Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Harro Sander
- Nr. 55/November 1978  
**Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke
- Nr. 56/Januar 1979  
**Stabilität von Sandwichbauteilen**  
von Dipl.-Ing. W. Brünner und Prof. Dr.-Ing. C. Langlie
- Nr. 57/März 1979  
**Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung**  
**Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing**  
von Dipl.-Ing. Meinhard Stadthaus
- Nr. 58/März 1979  
**Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau**  
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 59/Juli 1979  
**Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl**  
von Dr.-Ing. Günther Plauk
- Nr. 60/August 1979  
**Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken**  
von Dr.-Ing. H. Spreckelmeyer, Dr.-Ing. R. Helms und Dr.-Ing. J. Ziebs
- Nr. 61/Dezember 1979  
**Beschreibung von Problemen der höheren Farbmetrik mit Hilfe des Gegenfarbensystems**  
von Dr. Klaus Richter
- Nr. 62/Dezember 1979  
**Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle**  
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerisch und Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Günther Becker
- Nr. 63/Dezember 1979  
**Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase**  
von Dipl.-Ing. E. Behrend und Dipl.-Ing. J. Ludwig
- Nr. 64/Februar 1980  
**Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung**  
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 65/Februar 1980  
**Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte**  
von Dr.-Ing. Peter Schmidt, Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms, Dr.-Ing. Helmut Veith und Dr.-Ing. Josef Ziebs
- Nr. 66/Mai 1980  
**Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung**  
von Dr. rer. nat. Martin Hattwig
- Nr. 67/Mai 1980  
**Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees
- Nr. 68/Mai 1980  
**Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik.**  
**Entwicklung eines vollzentrischen Präzisions-Goniometers**  
von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn
- Nr. 69/Juni 1980  
**Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitsbehältern (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise**  
von Dr.-Ing. Frank Buchhardt und Dipl.-Ing. Peter Brandl
- Nr. 70/August 1980 (vergriffen)  
**Schwellenwerte beim Betondruckversuch**  
von Dr.-Ing. Gerald Schickert
- Nr. 71/August 1980  
**Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees und Dipl.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 72/September 1980  
**Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen**  
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 73/November 1980  
**Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen**  
von Dipl.-Ing. Peter Wegener
- Nr. 74/November 1980  
**ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz**  
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dipl.-Inform. Renate Müller
- Nr. 75/November 1980  
**Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen**  
von Dir. u. Prof. Dr. Hans-Jürgen Heinrich
- Nr. 76/November 1980  
**Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop**  
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig
- Nr. 77/April 1981  
**Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen**  
von Dipl.-Ing. Michael Gierloff und Dr.-Ing. Matthias Maultzsch
- Nr. 78/September 1981  
**Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwelensystems mit dem Untergrund**  
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 79/Dezember 1981  
**Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kaltbrüchigkeit höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch**  
von Dr.-Ing. Volker Neumann
- Nr. 80/Dezember 1981  
**Ursachen des Einsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten**  
von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch
- Nr. 81/Dezember 1981  
**Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik**  
von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt
- Nr. 82/April 1982  
**Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches**  
**Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test**  
von Rolf Helms, Hans-Joachim Kühn und Siegmund Ledworuski
- Nr. 83/Juli 1982  
**Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen**  
**— Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen —**  
von Prof. Dr.-Ing. Horst Czichos und Dr.-Ing. Paul Feinle
- Nr. 84/Juli 1982  
**Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)**  
von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/Okttober 1982  
**Technische Materialforschung und -prüfung**  
**— Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ —**  
**Materials Research and Testing**  
**— Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme „Basic Technological Research“ —**  
von Prof. Dr. Horst Czichos
- Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/November 1982  
**Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügekennmerkmale**  
von Dr.-Ing. Konrad Niesel und Dr. rer. nat. Peter Schimmelwitz
- Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/Dezember 1982  
**Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren**  
von Dr.-Ing. Bernd Isecke und Dr.-Ing. Wolfgang Stichel
- Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/Februar 1983  
**Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall**  
von Dr.-Ing. Anton Erhard
- Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/April 1983  
**Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid**  
von Dr. rer. nat. Dietrich Conrad und Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/April 1983  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/April 1983  
**Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz**  
von Dr.-Ing. Michael Weber
- Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/August 1983  
**Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden**  
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/August 1983  
**Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen**  
von Dr. rer. nat. Peter Studt
- Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/August 1983  
**Untersuchungen der Stoßschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen**  
von Dr.-Ing. Xian-Quan Dong
- Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/August 1983  
**Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten**  
von Dr.-Ing. Manfred Rösner
- Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/Oktober 1983  
**Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken**  
von Dr.-Ing. Heinz Eifler
- Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/November 1983  
**Typische Bruchflächenausbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung**  
von Dipl.-Ing. Gerhard Fuhrmann und Prof. Dr. rer. nat. Wolfram Schwarz
- Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/Dezember 1983  
**Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschinenwaren**  
**— Stretch- und Erholungsvermögen —**  
von Dr. rer. nat. Edmund Schnabel
- Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/Dezember 1983  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/Januar 1984  
**Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand**  
von Günter Klamrowski und Paul Neustupny
- Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/Februar 1984  
**Röntgen- und Gammastrahlen Computer-Tomographie**  
von Dr.-Ing. Peter Reimers, Dr. rer. nat. Jürgen Goebels, Dr.-Ing. Heinrich Heidt, Dr.-Ing. Hans-Peter Weise und Dipl.-Phys. Kay Wilding
- Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/März 1984  
**Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens zur Druckspannungsmessung in Beton**  
von Dr.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/März 1984  
**Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien**  
von Dr.-Ing. Dierk Schnitger
- Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/April 1984  
**Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen**  
von Dr.-Ing. Michael Gierloff
- Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/Juni 1984  
**Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen**  
von Dr.-Ing. Bernd Schulz-Forberg
- Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/Oktober 1984  
**Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last**  
von Dr.-Ing. Jan Lehnert

- Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/Oktober 1984  
**Korrosion von Stahlradiatoren**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel und Jörg Ehreke
- Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/Oktober 1984  
**Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen — Ergebnisse von Modellrechnungen**  
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/Februar 1985  
**Zur Wirkung der Schrupfbehinderung auf den Schweißspannungszustand und das Spröbruchverhalten von unterpulverschweißten Blechen aus St E 460 N**  
von Dr.-Ing. Mohamed Omar
- Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/Februar 1985  
**Wasserstoff als Energieträger**  
von Dr. Hermann Walde (Mitglied des Kuratoriums der BAM i. R.) und Dr. Bernhard Kropp
- Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/Februar 1985  
**Über den Einfluß der Initiierung auf die detonative Umsetzung von Andex-Sprengstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte**  
von Dr.-Ing. Kurt Ziegler
- Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/Juli 1985  
**Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Lützw
- Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/Juli 1985  
**Untersuchungen zum Frequenzinfluß auf die Schwingungskorrosion von Offshore-Konstruktionen**  
von Rolf Helms, Horst Henke, Gerhard Oelrich (BAM, Berlin) und Tetsuya Saito (NIRIM, Japan)
- Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/Juli 1985  
**Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktorkomponenten mittels Röntgen- und Gammastrahlen**  
von Dipl.-Ing. Peter Rose, Dipl.-Ing. Peter Raabe, Dipl.-Ing. Werner Däum und Andreas Szameit
- Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/Juli 1985  
**Farbempfindungsmerkmal Elementaruntun und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld**  
von Privatdozent Dr. Klaus Richter
- Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/Oktober 1985  
**Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik**  
von Dr. rer. nat. Franz-Josef Kasper, Dipl.-Inform. Renate Müller, Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Armin Wagner
- Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/Oktober 1985  
**Materials Technologies and Techno-Economic Development**  
**A study for the German Foundation for International Development (Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)**  
by Prof. Dr. H. Czichos in cooperation with Dr. G. Sievers, Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Bonn
- Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/Oktober 1985  
**Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung**  
**Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen**  
von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Dipl.-Ing. Hilmar Andre, Dr. rer. nat. Eduard Blossfeld, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Ing. grad. Matthias-Michael Zindler
- Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/November 1985  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
**Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I**  
von Dipl.-Ing. Jürgen Herter, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Ernst Limberger
- Nr. 120/ISBN 3-88314-514-9/April 1986  
**Zerstörungsfreie Korngrößenbestimmung an austenitischen Feinblechen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung**  
von Dr.-Ing. Andreas Hecht
- Nr. 121/ISBN 3-88 314-530-0/Juni 1986  
**Versagenskriterien von Stahlgleitpaarungen unter Mischreibungsbedingungen: Einflüsse von Stahlzusammensetzung und Wärmebehandlung**  
von Dr.-Ing. Paul Feinle und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 122/ISBN 3-88 314-521-1/Juli 1986  
**Entsorgung kerntechnischer Anlagen**  
von J. Mischke  
Sonderkolloquium der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) am 10. 12. 1985 mit Beiträgen von B. Schulz-Forberg, K. E. Wieser und B. Droste
- Nr. 123/ISBN 3-88 314-531-9/Juli 1986  
**Physikalisch-chemische Analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgase**  
von Dr. rer. nat. Delfel Rennoch
- Nr. 124/ISBN 3-88 314-538-6/Juli 1986  
**Zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens in der zerstörungsfreien Materialprüfung**  
von Dr.-Ing. Hans-Martin Thomas
- Nr. 125/ISBN 3-88 314-540-8/Juli 1986 (vergriffen)  
**Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssiggas-Lagertanks**  
von Dr.-Ing. Bernhard Droste und Dipl.-Ing. Ulrich Probst
- Nr. 126/ISBN 3-88 314-547-5/August 1986  
**Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmhallen**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel
- Nr. 127/ISBN 3-88 314-564-5/November 1986 (vergriffen)  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
**Versuche an Stahlbetonbalken, Teil I**  
**Tests on Reinforced Concrete Beams, Part I**  
von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner
- Nr. 128/ISBN 3-88 314-568-8/November 1986 (vergriffen)  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
**Versuche an Stahlbetonbalken, Teil II**  
**Tests on Reinforced Concrete Beams, Part II**  
von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner
- Nr. 129/ISBN 3-88 314-569-6/November 1986 (vergriffen)  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members under Impact Load**  
**Zugversuche an Betonstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit**  
**Reinforcing Steel Tension Tests with high strain rates**  
von / by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner
- Nr. 130/ISBN 3-88 314-570-X/November 1986  
**Einfache Abschätzung der Durchbiegung und der Energieaufnahme von Trägern aus duktilem Material bei Belastung durch eine Einzelkraft**  
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 131/ISBN 3-88 314-585-8/November 1986  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load**  
**Versuche an Stahlbetonplatten, Teil II**  
**Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part II**  
von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 132/ISBN 3-88 314-595-5/Januar 1987  
**Ermittlung der Ursachen von Schäden an bituminösen Dachabdichtungen unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Beanspruchungen**  
von Dipl.-Ing. Christian Herold und Dipl.-Ing. Frank-Ulrich Vogdt
- Nr. 133/ISBN 3-88 314-609-9/Januar 1987 (vergriffen)  
**Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe**  
von Dipl.-Ing. Mathias Woydt und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 134/ISBN 3-88 314-615-3/Februar 1987  
**Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen**  
von Dr. Götz Andreae und Gottfried Niessen
- Nr. 135/ISBN 3-88 314-618-8/Februar 1987  
**Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen**  
von Dipl.-Ing. Jörg Ludwig, Dipl.-Ing. Wolf-Dietrich Mischke und Dipl.-Ing. Armin Ulrich
- Nr. 136/ISBN 3-88314-636-6/April 1987  
**Untersuchung zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzbau**  
von Prof. Dr. rer. silv. Hans-Joachim Deppe und Klaus Schmidt
- Nr. 137/ISBN 3-88314-637-4/Mai 1987  
**Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Komponentensicherheit**  
Projektleiter: Dr. Dietmar Aurich
- Nr. 138/ISBN 3-88314-635-8/Mai 1987  
**Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben.**  
von Dipl.-Geol. Michael Dogunke und Dr.-Ing. Frank Buchhardt
- Nr. 139/ISBN 3-88314-658-7/Juni 1987  
**Numerische Untersuchung zum Verhalten des Hochtemperaturwerkstoffes Nimonic PE 16 unter monotoner und zyklischer Belastung bei Verwendung verschiedener plastischer und viskoplastischer Materialmodelle.**  
von Dipl.-Ing. Jürgen Olschewski und Sven-Peter Scholz
- Nr. 140/ISBN 3-88314-643-9/Juni 1987  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
von / by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 141/ISBN 3-88314-694-3/Oktober 1987  
**Zum Einfluß des Sicherheits- und Auslegungserdbebens auf die Bemessung von Kernkraftwerken**  
von Dr.-Ing. Frank Buchhardt, Dr.-Ing. Wolfgang Matthes, Dr.-Ing. Götz Magiera und Dr.-Ing. Friedrich Mathiak
- Nr. 142/ISBN 3-88314-695-1/Oktober 1987  
**Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrdzahlen binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen**  
von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Ing. Günter Krüger, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Dr. rer. nat. Sigrid von Zahn-Ullmann
- Nr. 143/ISBN 3-88314-701-X/November 1987  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
**Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen bei Stoßbelastung**  
**Experimental and numerical Investigations concerning Load Bearing Behaviour of Reinforced Concrete Members under Impact Load**  
von/by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 144/ISBN 3-88314-702-8/November 1987  
**Nichtlineare dynamische Berechnungen zum Penetrationsverhalten des AVR-Reaktorgebäudes**  
von Dr.-Ing. Frank Buchhardt, Dr.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Wolfgang Matthes, Dr.-Ing. Michael Weber, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
Dr.-Ing. Jürgen Altes, Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA)
- Nr. 145/ISBN 3-88314-711-7/November 1987  
**Untersuchung selbstähnlicher Systeme zur Bestimmung von Materialeigenschaften von Reibungsböden**  
von Dr.-Ing. Ulrich Holzlöhner
- Nr. 146/ISBN 3-88314-714-1/November 1987  
**Untersuchungen zur Wirksamkeit von Wasserberieselungseinrichtungen als Brandschutzmaßnahme für Flüssiggas-Lagertanks**  
von Dipl.-Ing. Wolfgang Schön und Dipl.-Ing. Michael Mallon
- Nr. 147/ISBN 3-88314-720-6/Dezember 1987  
**Lösung dynamischer Biege- und Torsionsprobleme von Stabsystemen aus dünnwandigen elastischen Stäben mit offenem Querschnitt mittels frequenzabhängiger Ansatzfunktionen**  
von Dipl.-Ing. Hans-Dieter Kleinschrodt
- Nr. 148/ISBN 3-88314-774-5/Mai 1988  
**Theoretische Untersuchung von Variationsprinzipien für elastoplastisches Materialverhalten sowie Entwicklung und numerische Erprobung von Finite-Element-Verfahren für den ebenen Spannungszustand**  
von Dipl.-Ing. Wilfried Müller
- Nr. 149/ISBN 3-88314-775-3/Mai 1988  
**Bestimmung baugrunderdynamischer Kenngrößen aus der Untersuchung von Bodenproben**  
von Dr.-Ing. Ulrich Holzlöhner

- Nr. 150/ISBN 3-88314-776-1/Mai 1988  
**VG3D Zeichenprogramm für die Vektorgraphische Darstellung dreidimensionaler Strukturen**  
 von Dr.-Ing. Michael Weber
- Nr. 151/ISBN 3-88314-785-0/Juni 1988  
**Wechselwirkung starrer und flexibler Strukturen mit dem Baugrund insbesondere bei Anregung durch Bodenerschütterungen**  
 von Dipl.-Ing. Lutz Auersch-Saworski
- Nr. 152/ISBN 3-88314-796-6/Juli 1988  
**Untersuchung des baulichen Zustandes und der Tragfähigkeit vorgespannter Riegel von Verkehrszeichenbrücken der Berliner Stadtautobahn**  
 von Dr.-Ing. Günther Plauk, Dipl.-Ing. Günter Kretschmann, Dipl.-Ing. Rolf-G. Rohrmann
- Nr. 153/ISBN 3-88314-797-4/Juli 1988  
**Magnetisches Verhalten von Eisenproben bei mechanischer Wechselbeanspruchung**  
 von Dr.-Ing. Harro Sander, Professor Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig
- Nr. 154/ISBN 3-88314-822-9/Oktober 1988  
**Druckgesinterte Stähle als zertifiziertes Referenzmaterial für die Spektrometrie**  
 von Dr. rer. nat. Konrad Breitzkreutz, Dr. rer. nat. Rüdiger Uttech, Dr.-Ing. Kurt Haedecke
- Nr. 155/ISBN 3-88314-825-3/Oktober 1988  
**Zur Entstehung und Ausbreitung von Schienenverkehrserschütterungen: Theoretische Untersuchungen und Messungen am Hochgeschwindigkeitszug Intercity Experimental**  
 von Dr.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 156/ISBN 3-88314-887-3/April 1989  
**Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von Faserzementen**  
 von Dr.-Ing. Günter Klamrowski, Dipl.-Ing. Paul Neustupny, Prof. Dr. habil. Hans-Joachim Deppe, Ing. Klaus Schmidt und Dr.-Ing. Jürgen Hundt
- Nr. 157/ISBN 3-88314-888-1/April 1989  
**Versuche zum Verhalten von Stahlbetonbalken mit Übergreifungsstößen der Zugbewehrung unter stoßartiger Belastung**  
 von Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dr.-Ing. Klaus Brandes
- Nr. 158/ISBN 3-88314-889-X/April 1989  
**Physikalisch-chemische Grundlagen der Feststoffschmierung — Literaturübersicht —**  
 von Dr.-Ing. Rolf Wäsche und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 159/ISBN 3-88314-890-3/Mai 1989  
**Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Temperaturverteilung im Querschnitt von Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6**  
 von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 160/ISBN 3-88314-917-9/Juli 1989  
**Entwicklung eines Makroelementes durch Kondensation am Beispiel der Lastfälle Flugzeugabsturz und Erdbeben bei Boden-Bauwerk-Wechselwirkung mit biegeweichen Fundamenten**  
 von Dr.-Ing. Wolfgang Mathees
- Nr. 161/ISBN 3-88314-920-9/Juli 1989  
**Untersuchung zur Ermittlung der Biegefestigkeit von Flachglas für bauliche Anlagen**  
 von Dipl.-Ing. Günter Mellmann, Dr.-Ing. Matthias Maultzsch
- Nr. 162/ISBN 3-88314-921-7/Juli 1989  
**Untersuchungen zur Tragfähigkeit großer Glasscheiben**  
 von Dipl.-Ing. Wolfgang Brünner
- Nr. 163/ISBN 3-88314-922-5/Juli 1989  
**Biegefestigkeit und Tragfähigkeit von Scheiben aus Flachglas für bauliche Anlagen**  
 von Dipl.-Ing. Wolfgang Brünner, Dipl.-Ing. Günter Mellmann, Dr.-Ing. Werner Struck