

Untersuchungen zur Biegefestigkeit von Flachglas

Abschlußbericht. Anlagen Bde. 1 und 2 .

T 2157

T 2157

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG
(BAM)

Abteilung 2 - Bauwesen
Fachgruppe 2.1 - Mineralische Baustoffe

Untersuchungen
zur
Biegefestigkeit von Flachglas

Abschlußbericht zum Vorhaben
BAM Vh-Nr. 2127

Untersuchung zur Ermittlung der Biegefestigkeit
von Flachglas für bauliche Anlagen

Bearbeiter: Dipl.-Ing. G. Mellmann
Dr.-Ing. M. Maultzsch

Finanzielle Förderung:
Institut für Bautechnik, Berlin
AZ.: VII 1-5-298/81

Berlin, Juli 1989

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Aufgabenstellung	2
2	Literatursichtung	3
2.1	Frühe Arbeiten	3
2.2	Untersuchungen einzelner Parameter	4
2.3	Prüfnormen	8
2.4	Weitere Vorschläge für Prüfverfahren	9
2.5	Schlußfolgerung	11
3	Auswertung der Prüfungsergebnisse der Industrie	14
3.1	Einfluß der Scheibendicke auf die Biegefestigkeit	14
3.2	Einfluß der Scheibendicke auf die Streuung der Einzelwerte	15
3.3	Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit auf die Biegefestigkeit	16
3.4	Einfluß der Herstellungsseite auf die Biegefestigkeit	16
3.5	Einfluß der Prüfmethode auf die Biegefestigkeit	17
3.6	Statistische Auswertung	17
3.6.1	Meßreihen mit großem Stichprobenumfang	18
3.6.2	Meßreihen mit kleinem Stichprobenumfang	27

	Seite
4	Untersuchungen der BAM 28
4.1	Doppelring-Biegeversuch an plattenförmigen Proben mit großen Prüfflächen 28
4.1.1	Maschinenbeschreibung 28
4.1.2	Funktionsbeschreibung 32
4.1.3	Versuchsablauf 34
4.1.4	Ergebnisse 36
4.2	Bestimmung der Biegefestigkeit durch Prüfung bei zweiseitiger Auflagerung 38
4.3	Doppelring-Biegeversuch an plattenförmigen Proben mit mittleren Prüfflächen 40
5	Statistische Auswertung der in der BAM durchgeführten Untersuchungen 42
5.1	Nichtlineare Regressionsrechnung 42
5.2	Weibullverteilung (gem. NMP 354) 57
6	Diskussion einiger Ergebnisse 61
7	Hinweise zur Einbeziehung der Ergebnisse bei der Sicherheitsbeurteilung von Glas- bauteilen 64
	Literaturverzeichnis 66
	Anlagen Band 1 A 1 bis A 54
	Anlagen Band 2 A 55 bis A 198

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 mm² ausgehend, mit kleiner werdenden Proben Biegefestigkeiten, die von 21 N/mm² bis nahe 50 N/mm² 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/mm². An großen, praxisgerechten Scheiben von 870 x 1450 mm² bzw. 870 x 2250 mm² werden jedoch nur Werte von 12,8...20,7 N/mm² gefunden. Bei allseitiger Auflage quadratischer Scheiben von 500 und 700 mm Kantenlänge und gleichmäßiger Flächenlast wird der Wert 15 N/mm² 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 mm² (= 1 m²) /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/mm² und die Dauerstandsfestigkeit für 6 mm dicke Gläser mit ca. 160 N/mm² angegeben.

1943 berichten JEBSEN-MARWEDEL und DINGER über systematische Versuche an Tafelglasscheiben "mit Bezug auf Fragen der Normung" /5/. Die Scheiben, die allseitig mit Profilgummi in einen Holzrahmen eingespannt sind, werden mittig mit einem gummigepolster-

ten Druckstempel belastet. Proben mit Seitenverhältnissen 1:1, 1:2, 1:3 und 1:4, mit Flächen von 144 cm² bis 1296 cm² (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/mm² 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^2 , bei feuerpolierter $100 \dots 160 \text{ N/mm}^2$ und surepolierter Oberfläche bis zu 200 N/mm^2 . In Biegeversuchen an Flachglsern 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 $1 \mu\text{m}$ ist. Untersuchungen von SCHÖNBRUNN /11/ und STAHN /12/ an Flachglsern 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 Oberflchenverletzung drastisch reduziert werden. So geht bei den Biegeversuchen nach der 4-Schneiden-Methode der Variationskoeffizient von $24,8 \dots 31,9 \%$ nach dem Schleifen auf $4,2 \dots 15,0 \%$ /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 aufgebraachte, sondern auch produktionsbedingte Oberflchenverletzungen 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/mm² gefunden; liegt die geschnittene Kante in der Druckzone, steigen die Werte auf 97...100 N/mm² an. Die geschmirgelte Kante führt zu Werten um 55 N/mm² - d.h. die Kerbwirkung ist hier größer als beim Schnitt -, während das Polieren je nach Güte Festigkeiten bis über 100 N/mm² bewirkt.

Ausführliche Erörterungen des speziellen Einflusses der thermischen Vorspannung auf die Biegefestigkeit und Oberflächenverletzbarkeit 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 mm². Während der größte Einzelwert bei "normaler" Belastungsgeschwindigkeit bei 110 N/mm² liegt, beträgt der kleinste bei Dauerlast gefundene ca. 20 N/mm². SMEKAL nennt für diesen Einflußfaktor die empirisch aus seinen umfangreichen Versuchen abgeleitete Formel $\sigma_B = A + B \log v$, wobei σ_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 mm² 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 \emptyset bestehen. Ohne Festlegung von Laststeigerungsgeschwindigkeiten und Einwirkungsdauer sind die Proben so zu belasten, daß im Prüfquerschnitt eine Spannung von 1600 kp/cm² herrscht. Mit Hilfe dieser Attributsprüfung wird also praktisch eine Mindestfestigkeit von 157 N/mm² 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 mm² 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 mm² werden mittels Wasserdruck gleichmäßig bis zum Bruch belastet. Die nach der Norm definierte Biegefestigkeit 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/cm²) 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 x 38,1 mm² 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 m² 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 Kugelkette zu lagern, um Spannungsspitzen am Auflager zu vermindern. Sehr viel später erweitert EGNER diese Versuche bis auf Flächengrößen von 12 m² /29/. Mit Hilfe von Dehnungsmessungen an der Scheibenober-

fläche 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/mm² bewegen. Er schlägt daher für vierseitig gelagerte große Scheiben einen zulässigen Spannungswert von 20 N/mm² vor. Neuere Arbeiten von ALEKSANDROV et al. /30/ über die Festigkeit von bis zu 1,8 x 1,5 m² 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)m² bis (0,6 x 3)m² 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 Bruchursprung bei Eintritt des Bruches. Bei geringer Streuung der Meßwerte werden für gekühltes Glas mittlere Festigkeiten um 90 N/mm² 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 mm²) 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 Handhabung und den Materialaufwand bei der Prüfung dürfte das in DIN 52303 /46/ festgelegte Format 1100 x 360 mm² 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/mm² 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 ELSSENHEIMER /36/ verwendete Format 300 x 300 mm² oder die von BLANK /37/ sowie in der vorliegenden Arbeit untersuchten Größen bis 1000 x 1000 mm² - letztere mit überlagertem Gasdruck - entsprechend DIN 52292 T 2 /40/ zur

Diskussion stehen. Zumindest dürfte das Format $100 \times 100 \text{ mm}^2$ /12/ hier nur eine untergeordnete Rolle spielen. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit dürfte auch die Anwendung des Scheibenformats $300 \times 300 \text{ mm}^2$ 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 materialprüftechnischen 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 gleich-

mäßig 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 'Zweiseitige 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 wei-

ter 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/mm², 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 Einzelwerte 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 Festigkeitwerte 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

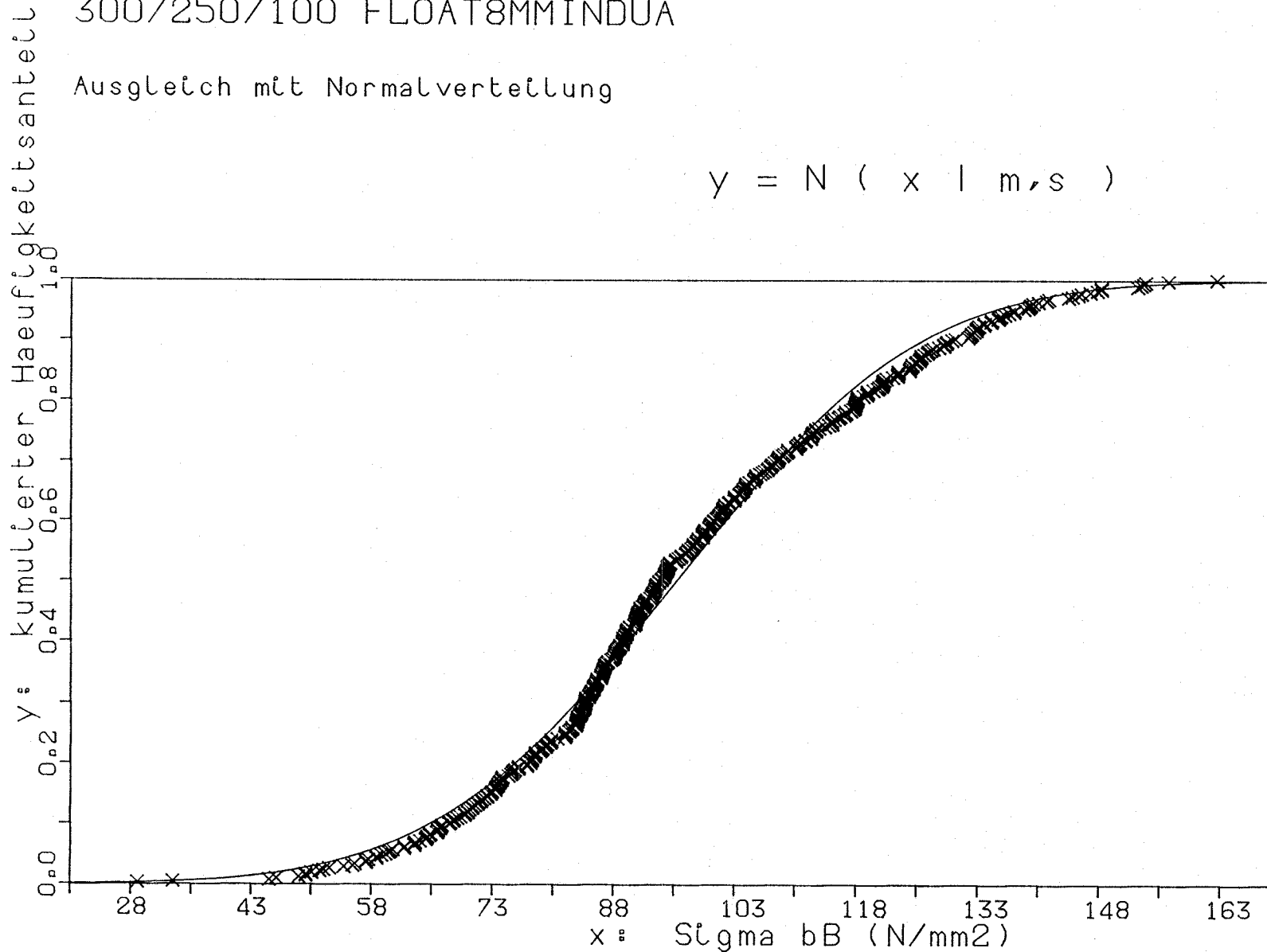
Die Ergebnisse der Ausgleichsrechnung der Serie mit rd. 420 Einzelwerten sind in den folgenden fünf Diagrammen dargestellt. Erläuterungen zu den in den Diagrammen gemachten Angaben sind in Abschnitt 5.1 enthalten.

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT8MMINDUA

Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$



Mittelwert (m) 95.221
Standardabw. (s) 23.835

Summe Abst. quad. 0.197
mittlerer Fehler 0.022

Korrelationskoeff. 0.997
Bestimmtheitsmass 0.994

Mittelwert 96.40
50%-Wert 95.22
5%-Wert 56.01
1%-Wert 39.76
0,1%-Wert 21.56

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT8MMINDUA

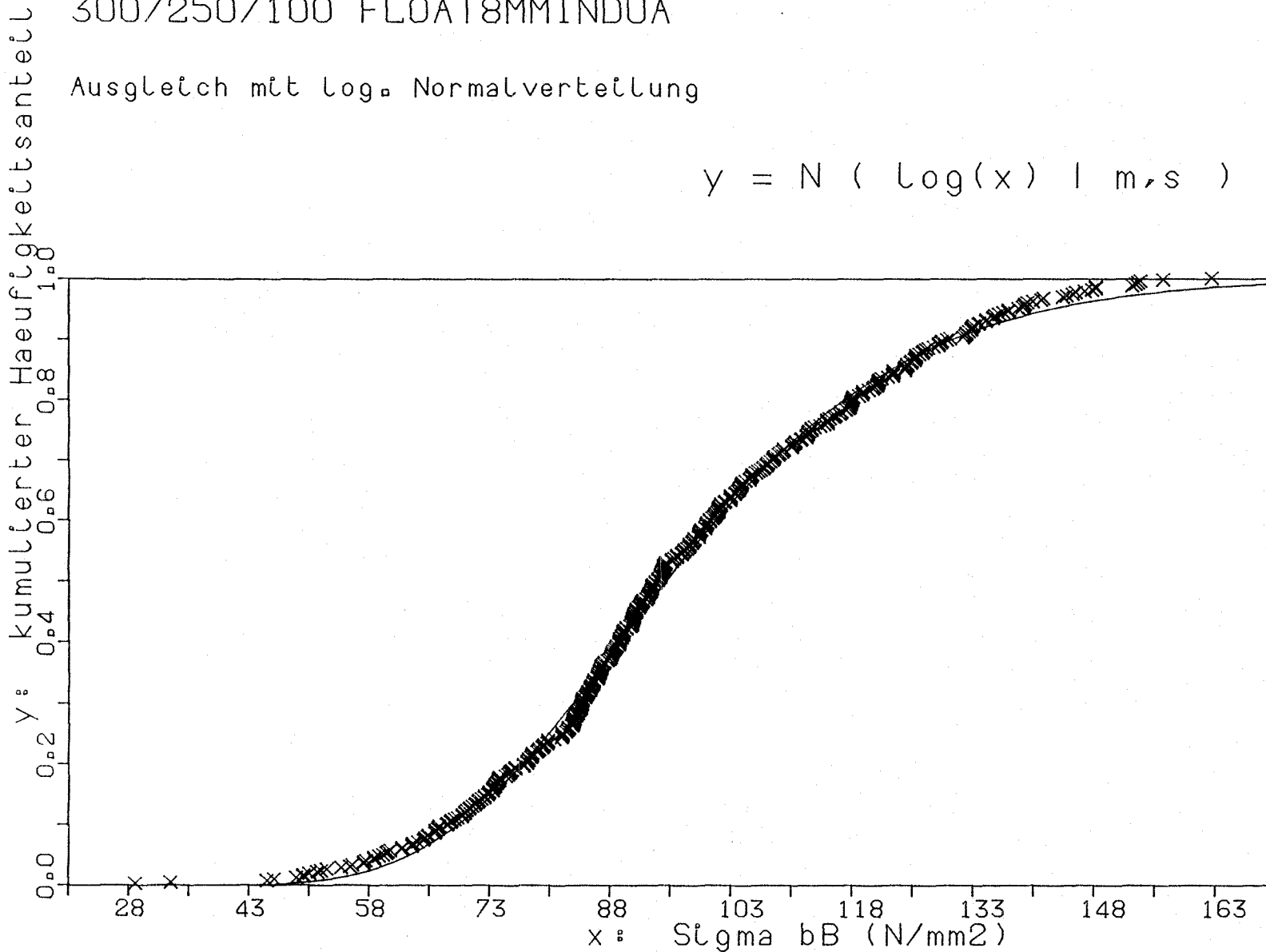
Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 1.974
Standardabw. (s) 0.108

Summe Abst. quad. 0.081
mittlerer Fehler 0.014

Korrelationskoeff. 0.999
Bestimmtheitsmass 0.998

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$



Mittelwert 96.40
50%-Wert 94.26
5%-Wert 62.50
1%-Wert 52.71
0,1%-Wert 43.56

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT8MMINDUA

Ausgleich mit Weibullverteilung

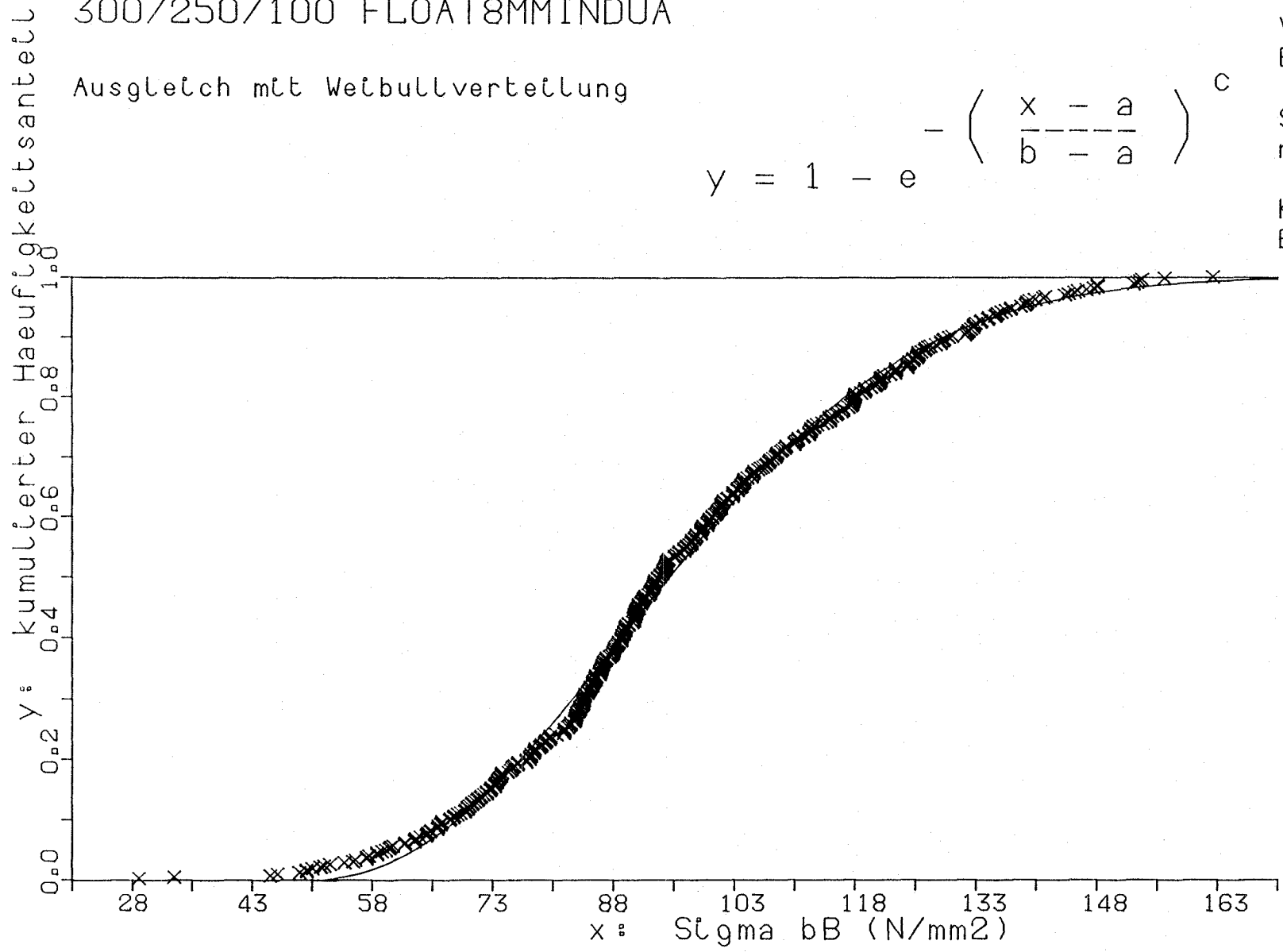
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x - a}{b - a}\right)^c}$$

Verschlebung (a) 49.514
 Verzerrung (b) 102.946
 Exponent (c) 2.131

Summe Abst. quad. 0.102
 mittlerer Fehler 0.016

Korrelationskoeff. 0.999
 Bestimmtheitsmass 0.997

Mittelwert 96.40
 50%-Wert 94.50
 5%-Wert 62.77
 1%-Wert 55.69
 0,1%-Wert 51.60



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT8MMINDUA

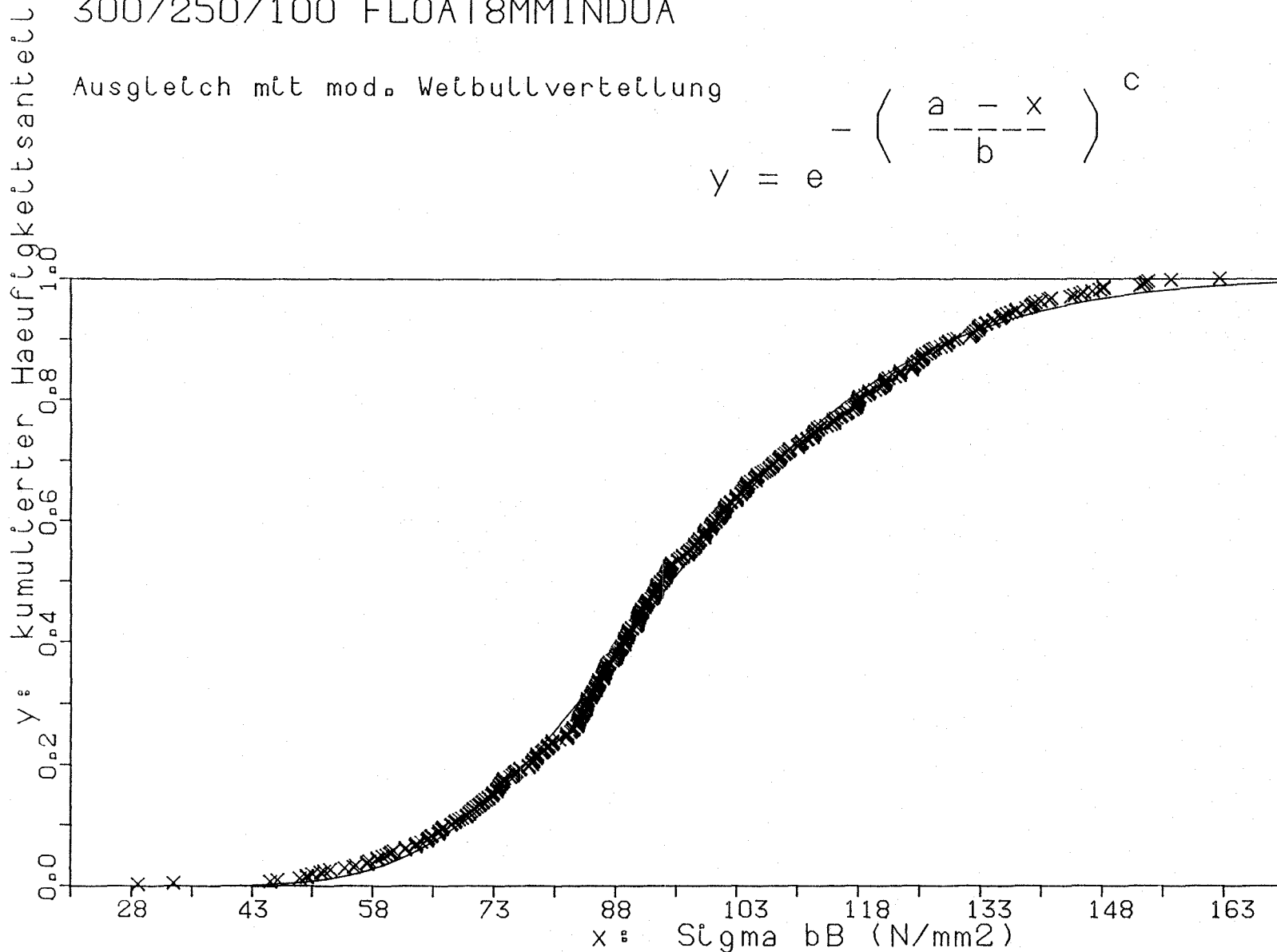
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 292.228
 Verzerrung (b) 205.546
 Exponent (c) 9.652

Summe Abst. quad. 0.078
 mittlerer Fehler 0.014

Korrelationskoeff. 0.999
 Bestimmtheitsmass 0.998



Mittelwert 96.40
 50%-Wert 94.34
 5%-Wert 61.94
 1%-Wert 51.45
 0.1%-Wert 41.12

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT8MMINDUA

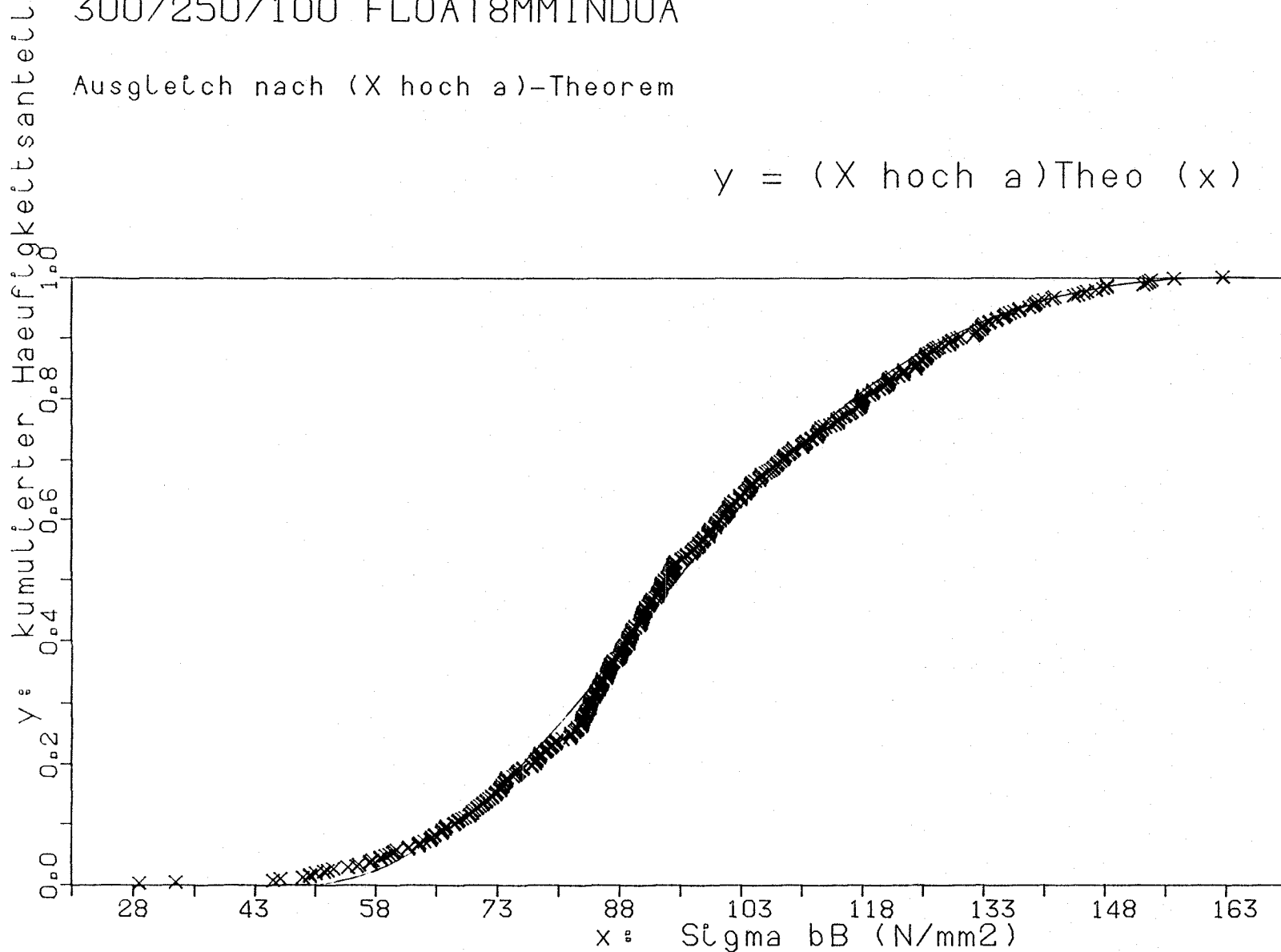
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(x _u)	49.181
X mittel	(x _m)	94.593
X oben	(x _o)	160.968
Exponent	(a)	1.757

Summe Abst. quad. 0.107
mittlerer Fehler 0.016

Korrelationskoeff. 0.998
Bestimmtheitsmass 0.997

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



Mittelwert	96.40
50%-Wert	94.59
5%-Wert	61.87
1%-Wert	54.51
0,1%-Wert	50.66

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 (Blatt 26).

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse der Serien mit rd. 190 Einzelwerten zeigen die Diagramme in den Anlagen 29 bis 38 und Tabelle 2 (Blatt 26).

Tabelle 2 : Biegefestigkeit - Industrieergebnisse
Fraktilwerte

Prüfverfahren Glasart Nennstärke Hersteller Anzahl	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm ²				
		Verteilungsfunktion				
		Normal	Lognormal	Weibull	mod. Weibull	mit vier Parametern
DIN 52303 ESG (Glasseite) 10 mm A n = 192	Bestimmtheitsmaß	1 ¹⁾	1 ¹⁾	1 ¹⁾	1 ¹⁾	1 ¹⁾
	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
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
Doppelring 300/250/100 Float 8 mm A n = 423	Bestimmtheitsmaß	0,99	1 ¹⁾	1 ¹⁾	1 ¹⁾	1 ¹⁾
	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, Prüffart, 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 Profilgummiauflage und Zentriereinrichtung

Lastring von 600 mm Durchmesser, mit Profilgummiauflage, 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 Druckregeleinheit

Schrittmotorsteuerung für Druckregeleinheit

x-y-Schreiber HP

je ein Schnittstellentester für Parallelschnittstellen und Analog/Digitalwandler

Hydraulikaggregat

Hydraulikservoventil EMG/AEG

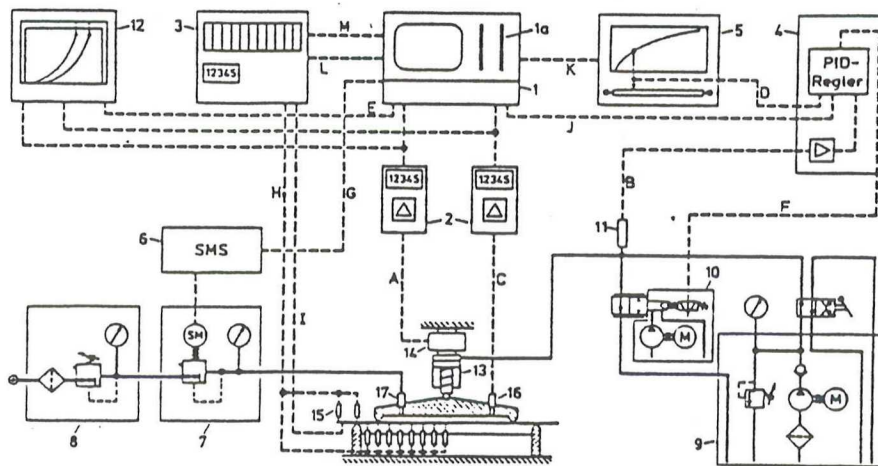
Elektronische Regeleinheit MFL

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 Brucherkenung |
| 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

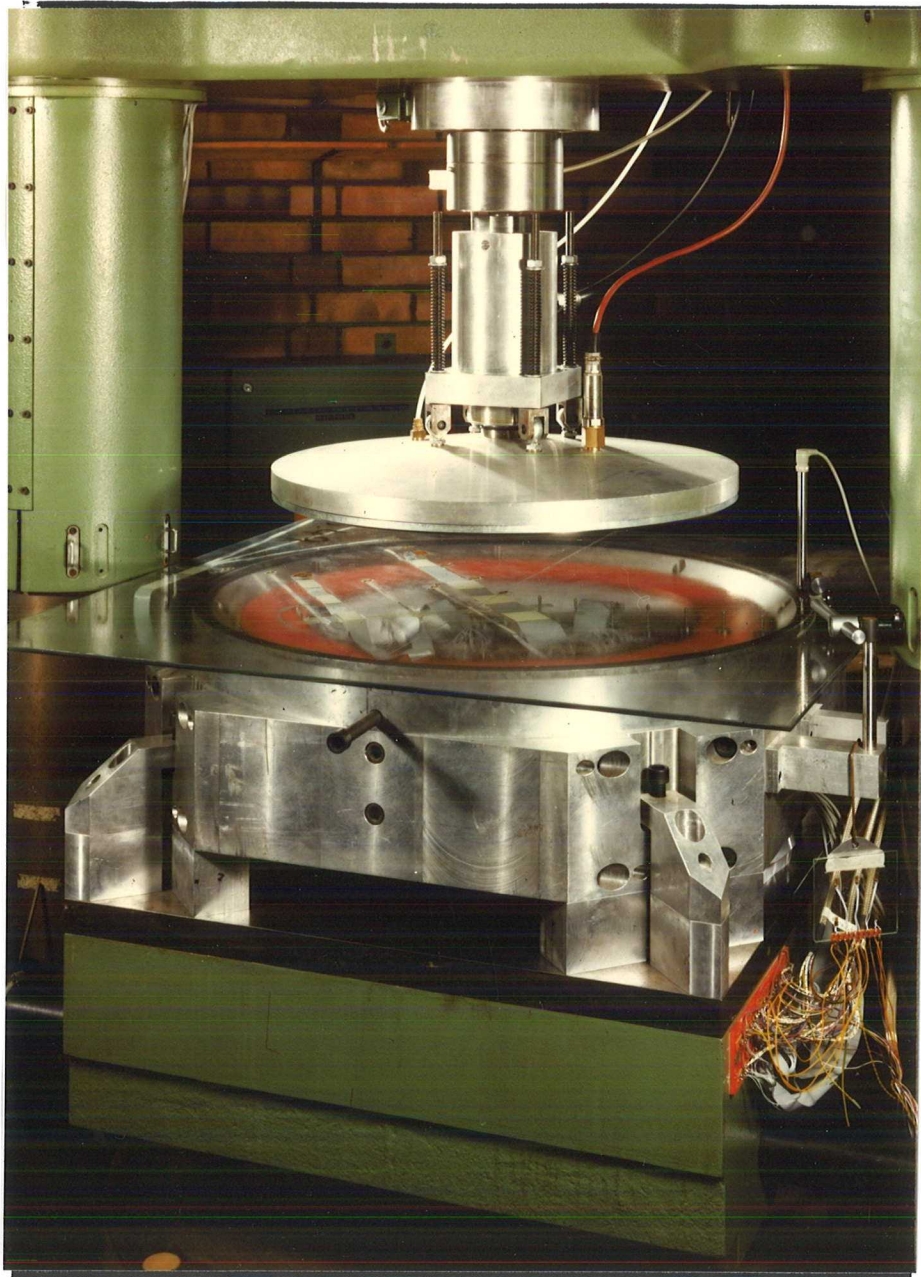


Bild 3: Ansicht der Belastungseinrichtung

4.1.2 Funktionsbeschreibung

Die Krafteinleitung erfolgt über einen Lastring von 600 mm Durchmesser mit einer 3 mm dicken Profilmgummi Auflage 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 Profilmgummi Auflage 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 $2 \text{ N/mm}^2 \cdot s$ bis zum Bruch der Probe zu erzielen, wird der Zuwachs der Prüfkraft mit einer elektronischen PI-Regeleinheit 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 Lastrings 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 Meßstellenanwahl 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 tangentialer 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 Brucherkennung vergleicht der Mikrocomputer eine vorgegebene Prüfkraftänderung pro Zeiteinheit mit den jeweiligen Istwerten und bewirkt bei schnellem Lastabfall durch ein Signal an die Re-

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

- b) Mit dem Unterprogramm NEUMST wird der Vielstellenmeßanlage die aktuelle Meßstellennummer 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 Meßstellennummer. 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.

Das Flußdiagramm des o.a. Versuchsablaufes ist in den Anlagen 41 bis 48 dargestellt.

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 σ_{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 σ_{bB}^* die gesuchte Biegefestigkeit σ_{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/mm²

Floatglas: E = 74.000 N/mm²

ESG: E = 70.000 N/mm²

beide ermittelt aus der Durchbiegung im Versuch nach
DIN 52303

μ 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 bis 14 in den Anlagen 1 bis 12. Mittelwert, Standardabweichung und Probenanzahl der Prüfserien sind getrennt nach den Unterscheidungsmerkmalen Hersteller, Glasart, Nenndicke und Seite der Zugspannung in der folgenden Tabelle 15 aufgetragen.

Einige typische Bruchbilder für Floatglas und ESG sind als Anlagen 49 und 50 beigelegt.

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 ²	N/mm ²	
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 σ_{bB} 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/mm² zu rundenden Biegefestigkeit ausgewirkt hätte.

Die Einzelwerte der Biegefestigkeit zeigen die Tabellen 16 bis 23 in den Anlagen 13 bis 20. Mittelwert, Standardabweichung und Probenanzahl der Prüfserien sind getrennt nach den Unterscheidungsmerkmalen Hersteller, Glasart, Nenndicke und Seite der Zugspannung in der folgenden Tabelle 24 angegeben.

Einige typische Bruchbilder sind als Anlagen 51 und 52 beige-fügt.

Tabelle 24 : Biegefestigkeit nach DIN 52303

Mittelwert, Standardabweichung, Anzahl der Proben

Hersteller	Glasart	Nenn- dicke	Zugspannung an der	Biegefestigkeit, Mittelwert	Standard- abweichung	Anzahl der Proben
		mm		N/mm ²	N/mm ²	
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 zeigen die Tabellen 25 bis 32 in den Anlagen 21 bis 28. Mittelwert, Standardabweichung und Probenanzahl der Prüfserien sind getrennt nach den Unterscheidungsmerkmalen Hersteller, Nenndicke und Seite der Zugspannung in der folgenden Tabelle 33 angegeben.

Einige typische Bruchbilder sind als Anlagen 53 und 54 beige-fügt.

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 ²	N/mm ²	
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,
modifizierten 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 als Anlagen 55 bis 194 beige-fügt. Am Beispiel von fünf nachfolgenden Diagrammen einer Prüfs-erie 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, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

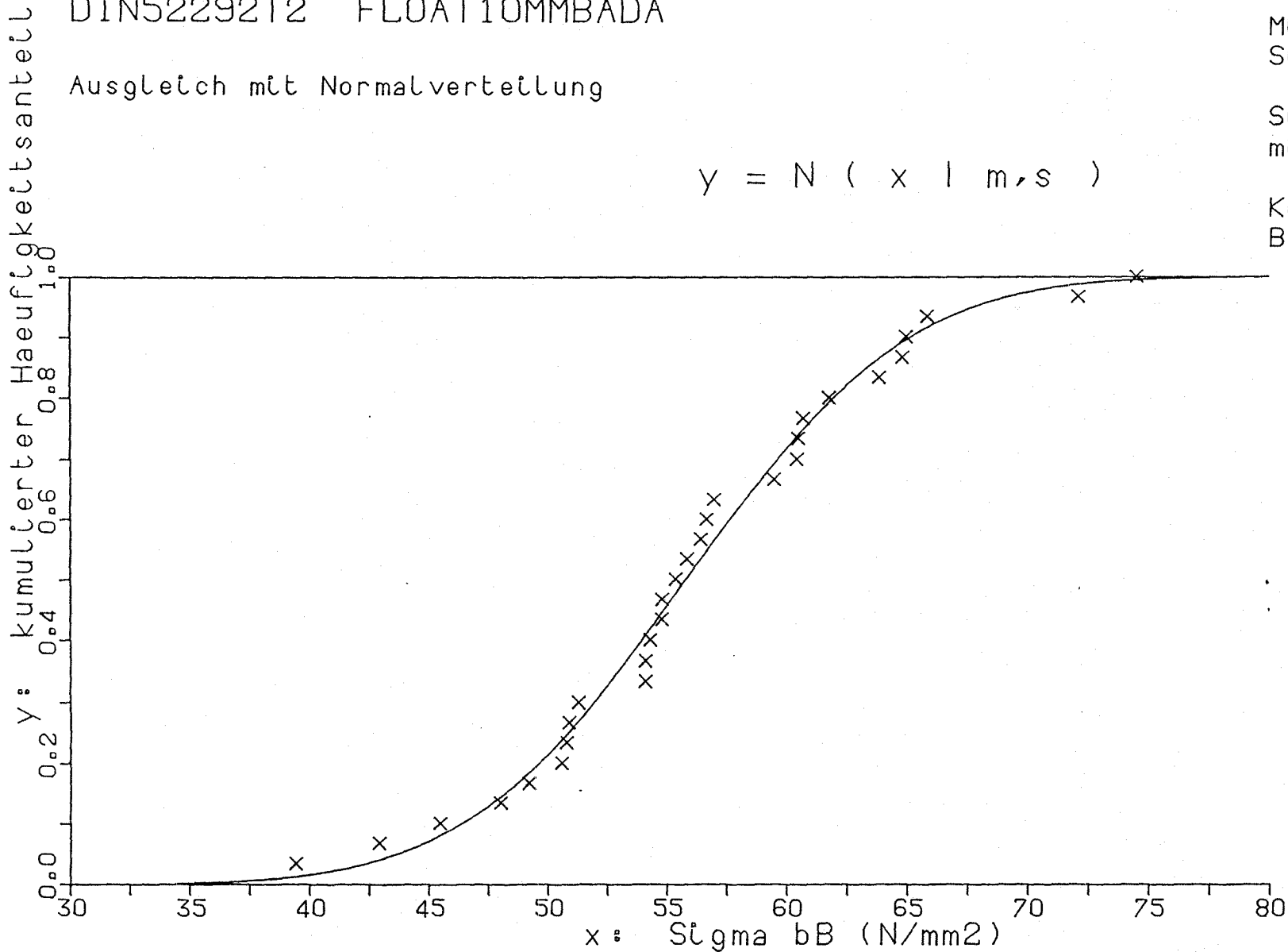
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$

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

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

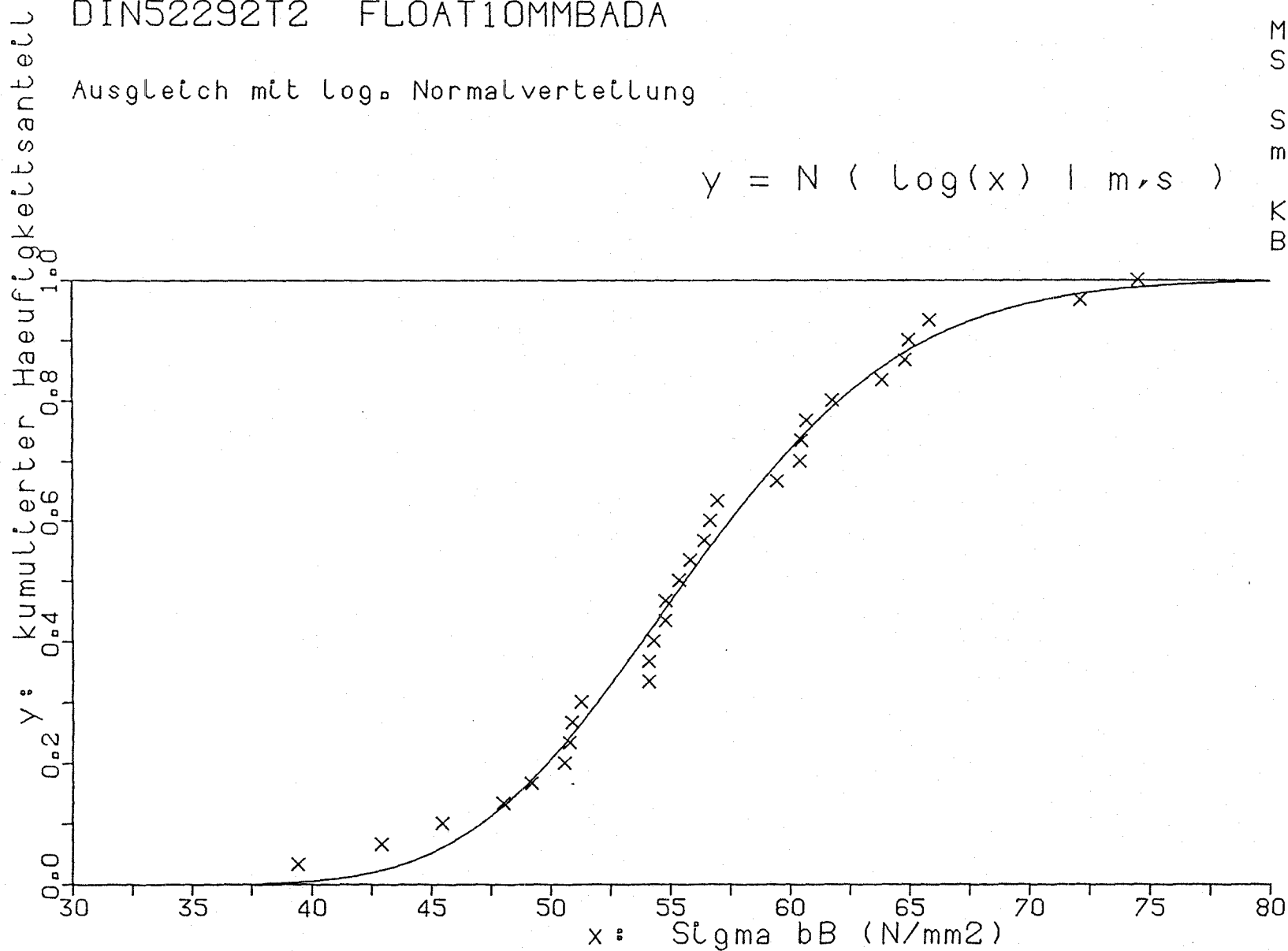
Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 1.745
Standardabw.(s) 0.057

Summe Abst. quad. 0.029
mittlerer Fehler 0.032

Korrelationskoeff. 0.994
Bestimmtheitsmass 0.988

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$



Mittelwert 56.36
50%-Wert 55.62
5%-Wert 44.90
1%-Wert 41.09
0.1%-Wert 37.20

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

Ausgleich mit Weibullverteilung

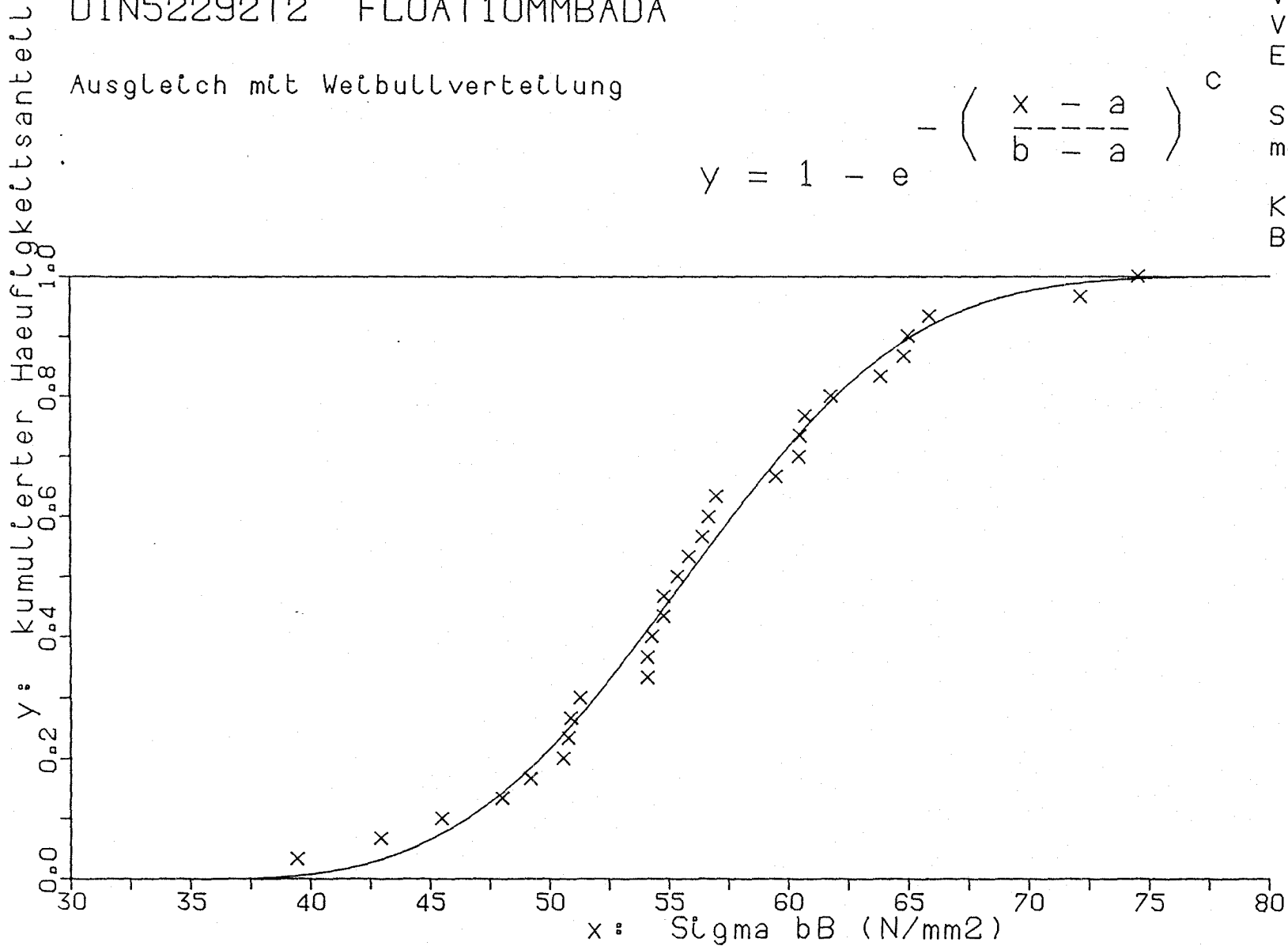
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x - a}{b - a}\right)^c}$$

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



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

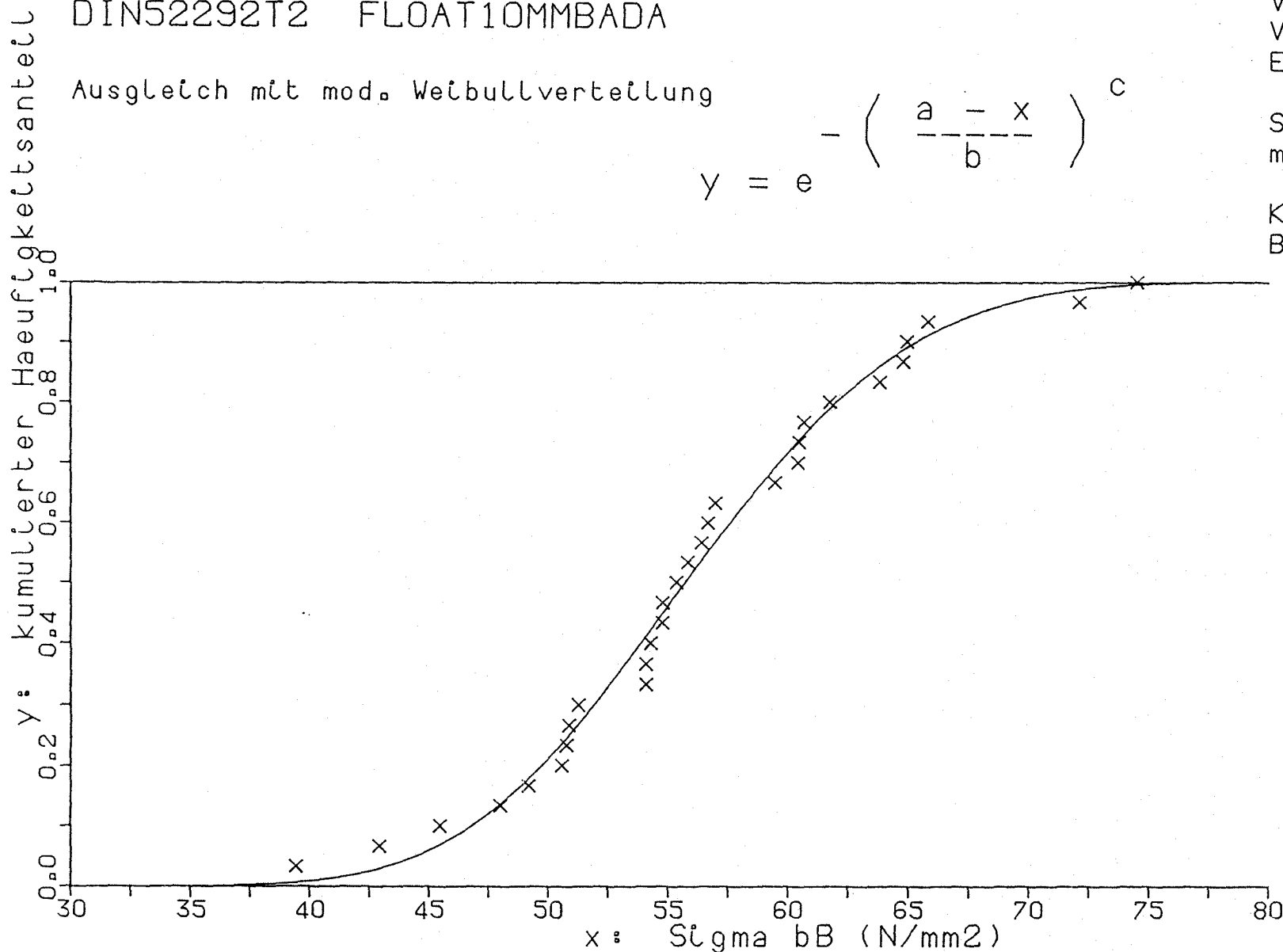
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschlebung (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

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

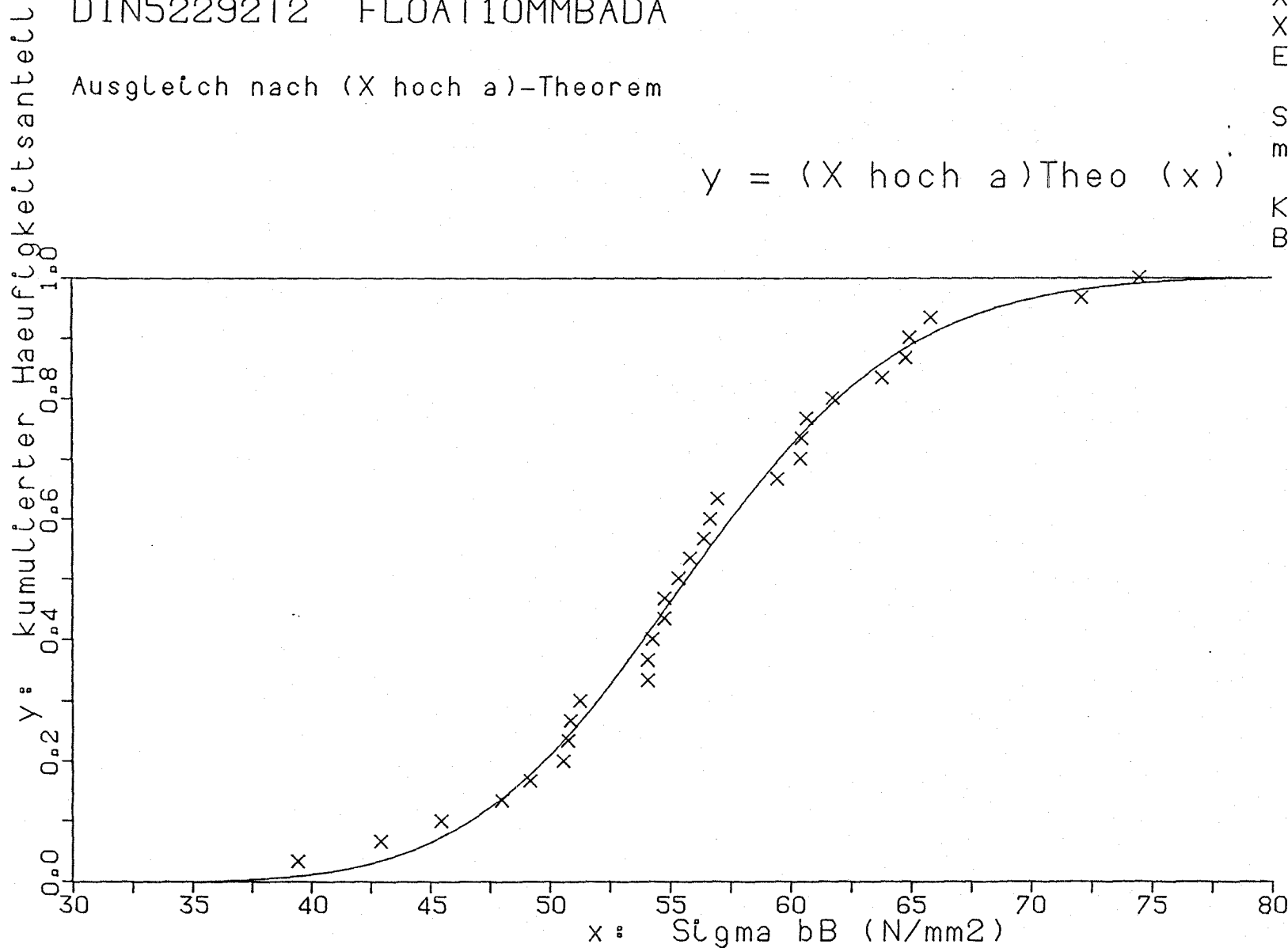
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(x _u)	32.011
X mittel	(x _m)	55.677
X oben	(x _o)	85.316
Exponent	(a)	2.931

Summe Abst. quad.	0.027
mittlerer Fehler	0.031

Korrelationskoeff.	0.999
Bestimmtheitsmass	0.989

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



Mittelwert	56.36
50%-Wert	55.68
5%-Wert	44.07
1%-Wert	39.62
0,1%-Wert	35.76

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 Fraktilewerte 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 ²				
		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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 Nennstärke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm ²				
		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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ²				
		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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 T1
Fraktilwerte

Glasart Nennstärke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm ²				
		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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 T1
Fraktilwerte

Glasart Nenndicke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm ²				
		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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 Nennstärke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm ²				
		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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 Nennstärke Seite der Zugspannung Hersteller	Häufigkeits- anteil in %	Fraktilwerte der Biegefestigkeit in N/mm ²				
		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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ¹⁾	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 ²		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	-
FLOAT 6 mm LUFT A kl. Einzelwert: 48,06 N/mm ²					
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	-
FLOAT 6 mm BAD B kl. Einzelwert: 51,42 N/mm ²					
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	-
FLOAT 6 mm LUFT B kl. Einzelwert: 30,58 N/mm ²					
Para- meter	Verschiebung a	0,001	-	-	-
	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 ²				Weibullverteilung		Fraktilwert der Biegefestigkeit an der	
				BAM	NMP 354	unteren Grenze des Vertrauensbereiches (S=0,95)	oberen
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	-		
FLOAT 10 mm LUFT A kl. Einzelwert: 47,81 N/mm ²							
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	-		
FLOAT 10 mm BAD B kl. Einzelwert: 30,82 N/mm ²							
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	-		
FLOAT 10 mm LUFT B kl. Einzelwert: 37,92 N/mm ²							
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 ²		Weibullverteilung		Fraktilwert der Biegefestigkeit an der unteren oberen Grenze des Vertrauensbereiches (S=0,95)	
		BAM	NMP 354		
Para- meter	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	-	-
ESG 6 mm LUFT A kl. Einzelwert: 118,26 N/mm ²					
Para- meter	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	-	-
ESG 6 mm BAD B kl. Einzelwert: 114,11 N/mm ²					
Para- meter	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	-	-
ESG 6mm LUFT B kl. Einzelwert: 120,07 N/mm ²					
Para- meter	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. 50 ff). 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. Wicht 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 (vgl. Anlagen 195...198).

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/mm² und für ESG zu rd. 100 N/mm². 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 betrach-

teten "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 (s. Seite 20 und Anlage 29 im Vergleich mit den Anlagen 55, 60, 75 und 80 sowie 115, 120, 135 und 140). 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.

Literaturverzeichnis

- /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 Zerreißvorgang 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. Silikat-techn. 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 eingelasteten 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 Glas-scheiben. Abschlußbericht zum BAM-Vorhaben Nr. 2216.
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin April 1988
- /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 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, 1989

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG
(BAM)

Abteilung 2 - Bauwesen
Fachgruppe 2.1 - Mineralische Baustoffe

Untersuchungen
zur
Biegefestigkeit von Flachglas

Abschlußbericht zum Vorhaben
BAM Vh-Nr. 2127

Anlagen Band 1

Untersuchung zur Ermittlung der Biegefestigkeit
von Flachglas für bauliche Anlagen

Bearbeiter: Dipl.-Ing. G. Mellmann
Dr.-Ing. M. Maultzsch

Finanzielle Förderung:
Institut für Bautechnik, Berlin
AZ.: VII 1-5-298/81

Berlin, November 1988

Inhaltsverzeichnis Anlagen

Band 1:	Anlage
Biegefestigkeit - Einzelwerte	1... 12
DIN 52292 T 2	
ESG 6 mm	
Float 6 mm und 10 mm	
DIN 52303	13... 20
ESG 6 mm und 10 mm	
Doppelring 300/250/100	21... 28
Float 6 mm und 10 mm	
Industrieergebnisse	29... 38
Radiale und tangentielle Spannung sowie Durchbiegung von ESG	39... 40
Flußdiagramm Versuchsablauf	41... 48
Bruchbilder	49... 54
Band 2:	
BAM-Ergebnisse	
Verteilungsfunktionen	
DIN 52292 T 2	55...114
DIN 52303	115...154
300/250/100	155...194
DIN 52292 T 2	195...198
ausgew. Weibullfunktionen	

Tabelle 3 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

ESG 6 mm Luft A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	5,89	AL	145,32
02	5,88	IL	159,82
03	5,88	AL	152,55
04	5,88	AL	146,81
05	5,88	IL	156,60
06	5,87	AL	145,99
07	5,87	IL	141,62
08	5,87	AL	161,68
09	5,86	IL	160,39
10	5,88	IL	168,98
11	5,88	IL	179,02
12	5,88	IL	151,65
13	5,87	AL	173,67
14	5,87	AL	162,12
15	5,88	AL	169,27
16	5,87	AL	162,60
17	5,88	IL	161,37
18	5,87	IL	177,39
19	5,87	IL	159,49
20	5,87	IL	118,26
21	5,87	IL	181,71
22	5,87	IL	178,05
23	5,87	IL	161,58
24	5,87	IL	167,64
25	5,88	IL	159,96
26	5,89	IL	176,95
27	5,88	IL	166,89
28	5,88	IL	151,60
29	5,87	IL	157,25
30	5,87	AL	134,44
31	5,97	IL	183,34
32	5,93	AL	173,02
33	5,89	IL	161,54

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
AL = am Lastring
LS = zwischen Stütz- und Lastring
AS = am Stützring

Tabelle 4 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

ESG 6 mm Bad A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	5,87	IL	151,11
02	5,88	IL	148,13
03	5,87	IL	151,91
04	5,87	IL	154,00
05	5,87	IL	150,71
06	5,87	IL	158,23
07	5,86	IL	152,86
08	5,88	AL	148,08
09	5,87	IL	136,83
10	5,87	IL	167,69
11	5,87	IL	151,36
12	5,88	IL	135,64
13	5,87	IL	114,20
14	5,87	IL	148,44
15	5,87	IL	158,13
16	5,88	IL	151,25
17	5,87	IL	163,66
18	5,87	IL	139,67
19	5,87	IL	171,45
20	5,88	IL	132,46
21	5,88	IL	142,36
22	5,87	IL	155,43
23	5,87	IL	178,61
24	5,88	AL	167,65
25	5,87	IL	152,51
26	5,87	IL	138,82
27	5,88	IL	149,20
28	5,87	IL	148,90
29	5,87	IL	141,05
30	5,87	AL	154,84
31	5,92	AL	173,76

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
AL = am Lastring
LS = zwischen Stütz- und Lastring
AS = am Stützring

Tabelle 5 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

FLOAT 6 mm Luft A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	5,87	IL	101,49
02	5,86	IL	96,86
03	5,87	IL	94,60
04	5,87	IL	103,28
05	5,87	AS	92,10
06	5,88	IL	76,33
07	5,87	IL	96,28
08	5,86	LS	111,68
09	5,85	AS	95,39
10	5,91	AS	99,02
11	5,88	IL	54,97
12	5,89	IL	76,65
13	5,85	IL	60,61
14	5,92	IL	82,47
15	5,90	IL	94,38
16	5,94	IL	109,54
17	5,95	IL	74,78
18	5,91	AL	105,15
19	5,95	IL	55,93
20	5,95	IL	104,18
21	5,96	IL	99,58
22	5,90	IL	89,57
23	5,96	AS	103,78
24	5,96	IL	101,43
25	5,96	IL	66,80
26	5,89	AS	105,31
27	5,95	IL	48,06
28	5,93	IL	58,53
29	5,93	IL	75,72

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
 AL = am Lastring
 LS = zwischen Stütz- und Lastring
 AS = am Stützring

Tabelle 6 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

FLOAT 6 mm Bad A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	5,87	IL	72,05
02	5,87	IL	78,91
03	5,85	IL	86,96
04	5,89	IL	82,43
05	5,86	IL	67,29
06	5,87	IL	76,01
07	5,86	IL	66,12
08	5,86	IL	46,46
09	5,86	AL	61,76
10	5,89	IL	39,00
11	5,87	IL	54,88
12	5,90	IL	64,54
13	5,90	IL	70,03
14	5,90	IL	78,88
15	5,86	IL	63,01
16	5,95	IL	100,14
17	5,90	IL	55,62
18	5,93	AL	76,51
19	5,95	IL	53,75
20	5,94	IL	74,46
21	5,90	IL	79,40
22	5,96	IL	71,90
23	5,90	IL	73,05
24	5,95	IL	74,16
25	5,96	IL	49,44
26	5,89	IL	63,65
27	5,96	IL	61,50
28	5,89	IL	47,90
29	5,90	IL	47,00

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
 AL = am Lastring
 LS = zwischen Stütz- und Lastring
 AS = am Stützring

Tabelle 7 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

FLOAT 10 mm Luft A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	9,88	IL	95,56
02	9,88	IL	109,26
03	9,88	AL	141,88
04	9,89	IL	63,18
05	9,85	IL	124,14
06	9,86	IL	100,23
07	9,89	IL	111,43
08	9,87	IL	131,25
09	9,88	IL	126,86
10	9,89	IL	95,46
11	9,87	IL	134,18
12	9,88	IL	121,21
13	9,89	IL	52,35
14	9,88	IL	131,48
15	9,91	IL	47,81
16	9,93	IL	54,17
17	9,93	IL	124,58
18	9,86	IL	113,06
19	9,89	IL	137,87
20	9,89	IL	107,35
21	9,86	IL	107,33
22	9,89	IL	114,87
23	9,87	IL	88,94
24	9,88	IL	128,92
25	9,86	IL	102,20
26	9,90	AL	87,84
27	9,89	IL	73,20
28	9,85	IL	102,04
29	9,87	IL	151,47

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
 AL = am Lastring
 LS = zwischen Stütz- und Lastring
 AS = am Stützring

Tabelle 8 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

FLOAT 10 mm Bad A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	9,90	IL	54,28
02	9,86	IL	60,42
03	9,86	IL	63,84
04	9,87	IL	39,45
05	9,87	IL	55,83
06	9,86	IL	65,85
07	9,87	IL	50,88
08	9,86	IL	60,69
09	9,90	IL	54,76
10	9,88	IL	45,48
11	9,88	IL	61,76
12	9,86	IL	74,53
13	9,89	IL	54,09
14	9,99	IL	59,46
15	9,88	IL	48,00
16	9,91	IL	56,66
17	9,89	IL	50,78
18	9,89	IL	54,09
19	9,86	IL	64,80
20	9,89	IL	51,27
21	9,90	IL	60,47
22	9,88	IL	64,96
23	9,87	IL	56,40
24	9,87	IL	55,35
25	9,89	IL	50,58
26	9,86	IL	72,12
27	9,88	IL	42,94
28	9,88	IL	49,19
29	9,86	IL	56,97
30	9,88	IL	54,77

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
 AL = am Lastring
 LS = zwischen Stütz- und Lastring
 AS = am Stützring

Tabelle 9 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

ESG 6 mm Luft B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	5,89	IL	150,84
02	5,90	IL	157,20
03	5,85	IL	144,92
04	5,84	IL	141,19
05	5,87	IL	161,98
06	5,84	IL	151,58
07	5,86	IL	152,99
08	5,87	IL	152,58
09	5,89	IL	158,95
10	5,84	IL	162,99
11	5,82	IL	150,57
12	5,88	IL	152,08
13	5,88	IL	151,64
14	5,87	IL	158,47
15	5,86	IL	120,07
16	5,88	IL	150,40
17	5,87	IL	163,74
18	5,88	IL	130,52
19	5,86	IL	142,27
20	5,88	IL	140,42
21	5,87	IL	152,48
22	5,86	IL	149,78
23	5,86	IL	149,58
24	5,86	IL	142,27
25	5,86	-	172,50
26	5,85	IL	131,26
27	5,86	IL	151,66
28	5,87	IL	155,95
29	5,86	IL	158,59
30	-	-	167,71

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
AL = am Lastring
LS = zwischen Stütz- und Lastring
AS = am Stützring

Tabelle 10 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

ESG 6 mm Bad B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	5,88	IL	139,64
02	5,88	IL	154,47
03	5,84	IL	127,25
04	5,87	IL	147,88
05	5,86	AL	127,84
06	5,83	IL	130,19
07	5,83	IL	143,24
08	5,88	IL	147,38
09	5,88	IL	153,06
10	5,88	IL	145,37
11	5,88	IL	139,22
12	5,87	IL	137,12
13	5,88	IL	124,06
14	5,87	IL	126,56
15	5,86	IL	141,86
16	5,86	IL	137,06
17	5,91	IL	151,31
18	5,86	IL	133,28
19	5,86	IL	153,18
20	5,83	IL	136,57
21	5,85	IL	134,77
22	5,87	IL	126,61
23	5,85	IL	144,62
24	5,85	IL	126,93
25	5,84	IL	140,10
26	5,88	AL	135,65
27	5,86	IL	136,38
28	5,88	IL	114,11
29	5,86	-	131,59

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
 AL = am Lastring
 LS = zwischen Stütz- und Lastring
 AS = am Stützring

Tabelle 11 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

FLOAT 6 mm Luft B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	5,84	IL	81,71
02	5,86	IL	86,91
03	5,86	IL	73,99
04	5,87	IL	88,18
05	5,87	IL	104,35
06	5,87	IL	86,04
07	5,88	AL	96,84
08	5,87	IL	84,04
09	5,87	IL	69,55
10	5,89	IL	104,18
11	5,87	IL	52,91
12	5,89	AL	86,78
13	5,90	IL	85,99
14	5,79	IL	58,58
15	5,83	IL	30,58
16	5,82	IL	88,50
17	5,79	IL	100,55
18	5,81	AL	60,72
19	5,78	IL	98,30
20	5,82	IL	89,71
21	5,81	IL	79,67
22	5,79	IL	42,67
23	5,82	IL	62,90
24	5,82	IL	71,64
25	5,78	IL	58,50
26	5,82	IL	63,72
27	5,81	IL	37,14
28	5,80	IL	46,28

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
AL = am Lastring
LS = zwischen Stütz- und Lastring
AS = am Stützring

Tabelle 12 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

FLOAT 6 mm Bad B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	5,86	IL	72,72
02	5,84	IL	88,97
03	5,84	IL	75,94
04	5,88	IL	81,20
05	5,88	AL	58,34
06	5,88	IL	71,29
07	5,87	IL	73,05
08	5,88	IL	61,60
09	5,88	IL	62,65
10	5,88	IL	78,52
11	5,86	IL	60,59
12	5,90	IL	83,82
13	5,83	IL	58,70
14	5,79	IL	64,40
15	5,84	IL	59,22
16	5,82	IL	66,12
17	5,80	IL	58,11
18	5,82	IL	69,59
19	5,82	IL	84,69
20	5,79	IL	70,24
21	5,81	IL	54,22
22	5,82	AL	91,47
23	5,79	IL	92,49
24	5,82	IL	76,99
25	5,81	IL	56,13
26	5,79	IL	91,70
27	5,82	IL	69,02
28	5,82	IL	51,42

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
 AL = am Lastring
 LS = zwischen Stütz- und Lastring
 AS = am Stützring

Tabelle 13 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

FLOAT 10 mm Luft B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	9,84	AL	75,84
02	9,76	IL	75,34
03	9,84	AL	63,24
04	9,83	IL	37,92
05	9,76	IL	74,54
06	9,84	AL	110,01
07	9,83	IL	80,61
08	9,76	IL	101,73
09	9,84	IL	100,03
10	9,77	IL	108,87
11	9,82	IL	120,74
12	9,76	IL	108,47
13	9,83	IL	129,74
14	9,82	IL	48,97
15	9,83	IL	83,42
16	9,82	IL	111,06
17	9,80	IL	114,71
18	9,81	AL	89,12
19	9,83	AL	93,35
20	9,82	IL	157,70
21	9,82	IL	65,81
22	9,81	IL	111,22
23	9,73	AL	104,94
24	9,75	IL	92,24
25	9,82	IL	92,04
26	9,82	IL	110,94
27	9,75	AL	116,25
28	9,76	IL	58,74

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
AL = am Lastring
LS = zwischen Stütz- und Lastring
AS = am Stützring

Tabelle 14 : Biegefestigkeit nach DIN 52292 T 2
Einzelwerte

FLOAT 10 mm Bad B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Lage des 1) Bruchausganges	Biege- festigkeit
	mm	-	N/mm ²
01	9,77	IL	49,66
02	9,83	IL	57,75
03	9,74	AL	51,46
04	9,85	IL	35,90
05	9,83	IL	56,80
06	9,76	IL	67,60
07	9,84	IL	55,08
08	9,83	IL	64,84
09	9,83	IL	60,08
10	9,84	IL	50,68
11	9,83	IL	55,27
12	9,82	IL	76,43
13	9,83	IL	76,09
14	9,74	IL	45,04
15	9,74	AL	45,14
16	9,82	AL	63,80
17	9,74	IL	54,23
18	9,83	IL	56,42
19	9,82	IL	30,82
20	9,74	IL	53,54
21	9,82	IL	61,46
22	9,81	IL	36,00
23	9,82	IL	63,97
24	9,74	IL	62,26
25	9,83	IL	52,36
26	9,82	IL	77,84

- 1) IL = innerhalb des Lastringes
 AL = am Lastring
 LS = zwischen Stütz- und Lastring
 AS = am Stützring

Tabelle 16 : Biegefestigkeit nach DIN 52303
Einzelwerte

ESG 6 mm Luft A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	5,87	175,20
02	5,86	180,06
03	5,88	174,80
04	5,86	182,14
05	5,87	172,39
06	5,87	174,47
07	5,86	176,13
08	5,87	161,27
09	5,87	165,92
10	5,87	179,64
11	5,87	171,33
12	5,87	165,00
13	5,88	164,80
14	5,87	150,44
15	5,87	176,89
16	5,88	175,52
17	5,88	176,96
18	5,94	188,98
19	5,88	176,30
20	5,87	165,13
21	5,88	169,89
22	5,87	173,40
23	5,87	173,35
24	5,88	167,33
25	5,87	172,48
26	5,89	202,40
27	5,87	178,00
28	5,88	168,10
29	5,87	163,88
30	5,87	186,36
31	5,87	176,79
32	5,88	191,33
33	5,90	161,38
34	5,87	187,28
35	5,88	162,03
36	5,87	186,60
37	5,87	177,03
38	5,93	160,42
39	5,95	189,01
40	5,94	201,32

Tabelle 17 : Biegefestigkeit nach DIN 52303
Einzelwerte

lfd. Nr.	ESG	6 mm	Bad	A
	mittlere Probendicke mm		Biege- festigkeit N/mm ²	
01	5,87		150,44	
02	5,86		177,00	
03	5,87		165,47	
04	5,87		160,25	
05	5,88		136,22	
06	5,88		170,02	
07	5,87		141,94	
08	5,87		176,21	
09	5,87		154,74	
10	5,87		159,63	
11	5,87		170,94	
12	5,87		168,95	
13	5,87		172,73	
14	5,87		166,44	
15	5,89		181,07	
16	5,87		186,27	
17	5,87		182,06	
18	5,89		194,89	
19	5,87		170,40	
20	5,87		170,36	
21	5,88		170,85	
22	5,88		176,10	
23	5,87		180,08	
24	5,87		168,91	
25	5,87		169,10	
26	5,87		152,51	
27	5,88		173,40	
28	5,87		169,83	
29	5,87		166,79	
30	5,86		176,27	
31	5,87		179,98	
32	5,91		199,06	
33	5,88		181,50	
34	5,86		177,35	
35	5,86		187,58	
36	5,88		178,89	
37	5,86		168,27	
38	5,87		165,96	
39	5,87		169,54	
40	5,95		188,50	
41	5,96		189,45	

Tabelle 18 : Biegefestigkeit nach DIN 52303
Einzelwerte

ESG 10 mm Luft A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	9,92	178,18
02	9,94	173,50
03	9,90	176,14
04	9,97	178,55
05	10,00	175,92
06	9,90	182,19
07	9,94	189,62
08	9,96	181,13
09	9,90	173,08
10	9,91	170,35
11	9,90	166,53
12	9,89	185,02
13	9,90	165,29
14	9,95	186,01
15	9,90	174,70
16	9,92	191,80
17	10,03	189,58
18	10,09	164,89
19	10,11	179,88
20	10,02	179,90
21	9,92	184,92
22	9,91	173,91
23	9,94	173,25
24	9,90	167,06
25	10,01	184,42
26	10,07	174,71
27	10,09	179,45
28	10,03	178,42
29	9,95	182,98
30	10,04	160,71
31	9,96	194,29
32	9,98	191,95
33	9,93	167,46
34	9,92	164,98
35	9,96	167,50
36	10,08	171,32
37	10,07	178,74
38	9,92	171,09
39	10,03	140,46
40	9,92	182,51

Tabelle 19 : Biegefestigkeit nach DIN 52303
Einzelwerte

lfd. Nr.	ESG	10 mm	Bad	A
	mittlere Probendicke mm		Biege- festigkeit N/mm ²	
01		9,91		185,46
02		9,90		203,94
03		9,90		148,72
04		9,94		183,30
05		9,93		177,16
06		9,95		159,19
07		9,91		186,16
08		9,96		180,09
09		9,91		165,43
10		9,92		159,43
11		9,96		200,51
12		9,93		178,91
13		9,94		176,44
14		9,91		167,08
15		10,03		157,62
16		10,05		158,44
17		10,12		154,90
18		10,13		196,34
19		10,01		181,18
20		9,96		185,58
21		10,00		161,39
22		9,95		170,33
23		9,94		151,96
24		9,96		169,16
25		10,00		160,19
26		10,05		175,42
27		10,05		152,36
28		10,04		178,19
29		9,90		188,44
30		10,00		175,62
31		9,92		186,70
32		9,90		166,53
33		10,03		161,57
34		10,04		161,97
35		10,06		173,10
36		9,97		180,08
37		9,89		173,51
38		10,06		199,50
39		9,90		200,56

Tabelle 20 : Biegefestigkeit nach DIN 52303
Einzelwerte

ESG 6 mm Luft B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	5,9	179,52
02	5,8	175,84
03	5,8	187,36
04	5,8	176,19
05	5,8	177,72
06	5,9	184,36
07	5,9	186,09
08	5,8	173,44
09	5,9	178,90
10	5,8	177,05
11	5,9	169,68
12	5,9	177,24
13	5,9	177,71
14	5,8	183,06
15	5,9	173,11
16	5,8	184,77
17	5,8	176,09
18	5,8	146,19
19	5,9	187,71
20	5,8	179,46
21	5,9	157,47
22	5,8	180,79
23	5,9	185,46
24	5,9	170,15
25	5,9	168,32
26	5,9	155,49
27	5,9	173,80
28	5,9	185,08
29	5,9	153,31
30	5,9	168,14
31	5,8	167,84
32	5,8	165,03
33	5,8	173,88
34	5,9	185,41
35	5,8	173,87
36	5,9	178,19
37	5,8	172,32
38	5,9	166,65
39	5,8	181,68
40	5,9	175,46
41	5,8	175,70

Tabelle 21 : Biegefestigkeit nach DIN 52303
Einzelwerte

lfd. Nr.	ESG	6 mm	Bad	B
	mittlere Probendicke mm		Biege- festigkeit N/mm ²	
01	5,8		160,34	
02	5,9		169,39	
03	5,9		169,72	
04	5,8		145,47	
05	5,8		171,73	
06	5,9		163,22	
07	5,8		179,27	
08	5,8		181,04	
09	5,9		150,93	
10	5,9		173,17	
11	5,8		165,10	
12	5,8		165,80	
13	5,9		166,18	
14	5,8		164,57	
15	5,9		171,64	
16	5,9		164,83	
17	5,8		151,05	
18	5,9		158,49	
19	5,9		170,44	
20	5,8		168,72	
21	5,8		159,52	
22	5,8		176,99	
23	5,8		171,59	
24	5,8		169,82	
25	5,9		171,05	
26	5,8		152,60	
27	5,9		181,21	
28	5,9		160,79	
29	5,9		157,47	
30	5,8		142,98	
31	5,8		165,98	
32	5,9		163,16	
33	5,9		166,32	
34	5,9		161,20	
35	5,9		145,47	
36	5,8		167,04	
37	5,8		172,53	
38	5,9		161,53	
39	5,8		176,43	
40	5,8		164,11	
41	5,9		160,40	

Tabelle 22 : Biegefestigkeit nach DIN 52303
Einzelwerte

lfd. Nr.	ESG 10 mm Luft B	Biege- festigkeit N/mm ²
	mittlere Probendicke mm	
01	9,8	161,67
02	9,9	161,99
03	9,8	165,32
04	9,9	162,29
05	10,0	141,57
06	9,8	145,73
07	9,8	153,31
08	9,8	163,36
09	9,9	161,86
10	9,9	166,16
11	9,8	157,00
12	9,8	167,05
13	9,8	178,68
14	9,9	164,73
15	9,8	156,78
16	9,9	165,07
17	9,9	157,91
18	9,8	162,14
19	9,8	156,28
20	9,9	170,13
21	9,8	171,17
22	9,9	149,81
23	9,9	160,64
24	9,8	168,10
25	9,8	161,22
26	9,9	173,38
27	9,8	164,29
28	10,1	184,75
29	9,8	180,17
30	9,8	157,23
31	9,8	160,08
32	9,8	172,17
33	9,8	159,28
34	9,8	139,84
35	9,9	157,13
36	9,9	172,03
37	9,8	171,80
38	9,9	155,82

Tabelle 23 : Biegefestigkeit nach DIN 52303
Einzelwerte

lfd. Nr.	ESG	10 mm	Bad	B
	mittlere Probendicke mm		Biege- festigkeit N/mm ²	
01		10,2		138,57
02		9,8		157,66
03		9,8		169,87
04		9,8		177,63
05		10,0		169,64
06		9,9		140,51
07		10,0		148,17
08		10,0		146,78
09		9,9		161,47
10		9,8		139,68
11		9,8		167,05
12		9,8		148,77
13		9,9		152,84
14		9,9		156,98
15		9,9		168,48
16		9,8		166,83
17		9,9		158,00
18		10,0		159,75
19		9,9		138,75
20		9,8		162,99
21		9,8		165,87
22		9,8		156,62
23		9,8		151,70
24		9,8		159,97
25		9,9		164,84
26		9,8		149,91
27		9,9		145,22
28		9,8		146,94
29		9,8		160,63
30		9,8		175,21
31		9,9		163,88
32		9,8		175,12
33		9,9		175,69
34		9,8		171,02
35		9,8		157,42
36		9,8		181,76
37		9,9		160,12
38		9,9		172,46
39		9,9		149,75
40		9,9		161,72
41		9,8		136,15

Tabelle 25 : Biegefestigkeit, Doppelring 300/250/100
Einzelwerte

FLOAT 6 mm Luft A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	5,9	152,10
02	5,9	113,69
03	5,9	73,10
04	5,9	84,69
05	5,9	116,62
06	5,9	243,50
07	5,9	150,70
08	5,8	114,18
09	5,9	201,48
10	5,9	183,58
11	5,8	162,62
12	5,9	118,71
13	5,9	185,65
14	5,9	74,40
15	5,9	68,06
16	5,9	101,63
17	5,8	81,30
18	5,9	116,88
19	5,9	47,85
20	5,9	113,48
21	5,9	140,74
22	5,9	153,69
23	5,9	144,67
24	5,8	106,96
25	5,9	131,86
26	5,8	82,74
27	5,9	234,55
28	5,9	162,94
29	5,9	168,14
30	5,9	142,03
31	5,9	170,21

Tabelle 26 : Biegefestigkeit, Doppelring 300/250/100
Einzelwerte

FLOAT 6 mm Bad A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	5,8	100,28
02	5,9	82,61
03	5,9	54,50
04	5,9	124,84
05	5,9	86,10
06	5,9	92,88
07	5,9	91,65
08	5,9	64,62
09	5,9	69,97
10	5,9	70,81
11	5,9	64,44
12	5,9	68,40
13	5,9	67,63
14	5,9	69,62
15	5,9	93,65
16	5,9	61,96
17	5,9	71,39
18	5,9	103,04
19	5,9	84,42
20	5,8	68,56
21	5,9	65,81
22	5,9	76,22
23	5,9	76,84
24	5,9	81,97
25	5,9	96,84
26	5,9	94,10
27	5,9	69,10
28	5,9	86,16
29	5,9	69,51
30	5,9	78,25

Tabelle 27 : Biegefestigkeit, Doppelring 300/250/100
Einzelwerte

FLOAT 10 mm Luft A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	10,0	166,00
02	10,0	90,89
03	10,1	74,63
04	10,0	157,15
05	10,1	157,12
06	10,1	155,34
07	10,1	123,08
08	10,1	155,97
09	10,0	187,75
10	10,0	80,79
11	10,0	136,37
12	10,1	104,82
13	10,0	57,11
14	10,0	119,09
15	10,1	108,70
16	10,0	70,96
17	9,9	77,94
18	10,0	118,19
19	10,1	124,26
20	10,1	137,06
21	10,0	76,67
22	10,0	79,37
23	10,0	77,93
24	10,0	73,19
25	10,0	94,13
26	10,0	123,84
27	10,0	132,23
28	10,0	103,54
29	10,1	93,70
30	10,0	146,56
31	10,0	158,13

Tabelle 28: Biegefestigkeit, Doppelring 300/250/100
Einzelwerte

FLOAT 10 mm Bad A

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	10,0	82,62
02	10,0	101,28
03	10,0	128,81
04	10,0	90,28
05	10,1	90,05
06	10,1	122,47
07	10,1	111,81
08	10,1	107,89
09	10,0	84,26
10	10,1	114,22
11	10,0	64,87
12	10,0	78,12
13	10,0	99,06
14	10,0	58,15
15	10,0	44,43
16	10,0	86,29
17	10,0	146,23
18	10,1	78,56
19	10,0	137,89
20	10,1	75,40
21	10,0	57,85
22	10,0	84,23
23	10,0	46,67
24	10,0	68,36
25	10,0	121,57
26	10,0	118,15
27	10,0	59,53
28	10,1	110,18
29	10,1	81,44
30	10,0	46,29

Tabelle 29 : Biegefestigkeit, Doppelring 300/250/100
Einzelwerte

FLOAT 6 mm Luft B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	5,9	112,33
02	5,9	142,29
03	5,9	137,56
04	5,9	111,98
05	5,9	160,87
06	5,8	237,73
07	5,9	232,54
08	5,9	216,59
09	5,8	175,71
10	5,9	194,86
11	5,9	232,01
12	5,9	211,51
13	5,9	232,36
14	5,8	221,77
15	5,9	210,28
16	5,9	87,97
17	6,0	163,18
18	5,8	290,13
19	5,8	76,34
20	5,9	77,10
21	5,9	69,74
22	6,0	133,69
23	5,9	179,09
24	6,0	241,29
25	5,9	244,98
26	5,9	166,48
27	5,9	209,76
28	5,9	159,47
29	5,9	179,97
30	5,9	169,45
31	5,9	142,64

Tabelle 30 : Biegefestigkeit, Doppelring 300/250/100
Einzelwerte

FLOAT 6 mm Bad B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	5,9	114,96
02	5,8	126,21
03	5,9	95,85
04	5,9	118,28
05	5,9	107,25
06	5,9	107,07
07	5,9	157,19
08	5,9	137,91
09	5,8	94,47
10	5,8	130,01
11	5,9	145,80
12	5,9	106,72
13	5,8	86,50
14	5,9	118,64
15	5,9	162,62
16	5,9	113,03
17	5,9	174,89
18	5,8	149,78
19	5,9	66,59
20	5,9	116,53
21	5,9	100,59
22	6,0	114,54
23	6,0	62,19
24	5,9	114,08
25	5,9	93,40
26	5,9	56,25
27	5,9	137,39
28	5,9	152,11
29	5,9	124,77
30	5,9	121,79
31	5,9	107,77

Tabelle 31 : Biegefestigkeit, Doppelring 300/250/100
Einzelwerte

FLOAT 10 mm Luft B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	9,8	210,24
02	9,9	191,69
03	9,8	200,84
04	9,9	167,61
05	9,9	215,22
06	9,8	152,75
07	9,9	184,91
08	9,8	49,10
09	9,9	126,59
10	9,8	204,39
11	9,9	150,56
12	9,8	138,59
13	9,8	146,47
14	9,8	163,55
15	9,9	173,89
16	9,9	159,83
17	9,8	191,05
18	9,8	136,05
19	9,8	146,59
20	9,8	128,87
21	9,9	197,55
22	9,9	126,90
23	9,9	134,31
24	9,8	139,61
25	9,8	131,54
26	9,9	80,29
27	9,9	191,51
28	9,8	55,39
29	9,9	106,86
30	9,9	93,67
31	9,8	174,86
32	9,8	94,57
33	9,9	204,52
34	9,9	207,01
35	9,9	169,72

Tabelle 32 : Biegefestigkeit, Doppelring 300/250/100
Einzelwerte

FLOAT 10 mm Bad B

lfd. Nr.	mittlere Probendicke	Biege- festigkeit
	mm	N/mm ²
01	9,9	67,47
02	9,9	90,68
03	9,9	143,90
04	10,0	85,89
05	9,9	107,73
06	9,8	131,22
07	9,8	110,83
08	9,8	133,45
09	9,9	74,06
10	9,9	134,81
11	9,9	77,92
12	9,8	91,02
13	9,8	68,09
14	9,9	140,04
15	9,9	155,16
16	9,9	68,21
17	9,8	123,66
18	9,8	106,01
19	9,9	124,98
20	9,9	103,69
21	9,9	111,78
22	10,0	95,22
23	9,8	49,22
24	9,8	113,76
25	9,9	127,34
26	9,9	123,11
27	9,8	86,95
28	9,9	133,19
29	9,9	109,66
30	9,9	87,20
31	9,8	94,57
32	9,8	123,66
33	10,0	96,08
34	9,9	112,15
35	9,8	75,20

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMGLASA

Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N (x \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 171.216

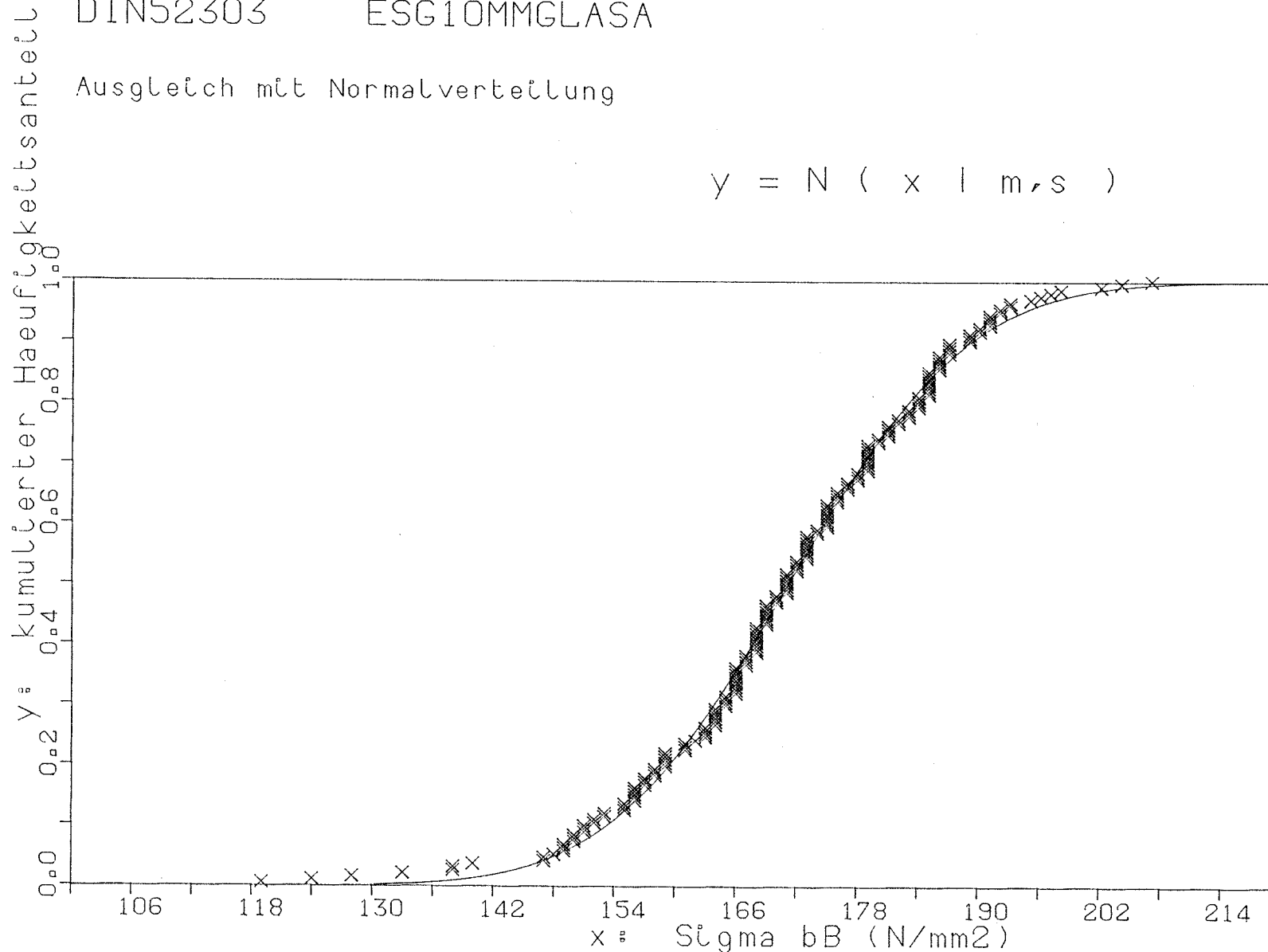
Standardabw. (s) 13.991

Summe Abst. quad. 0.046

mittlerer Fehler 0.016

Korrelationskoeff. 0.999

Bestimmtheitsmass 0.997



Mittelwert 170.74

50%-Wert 171.22

5%-Wert 148.20

1%-Wert 138.66

0.1%-Wert 127.98

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMGLASA

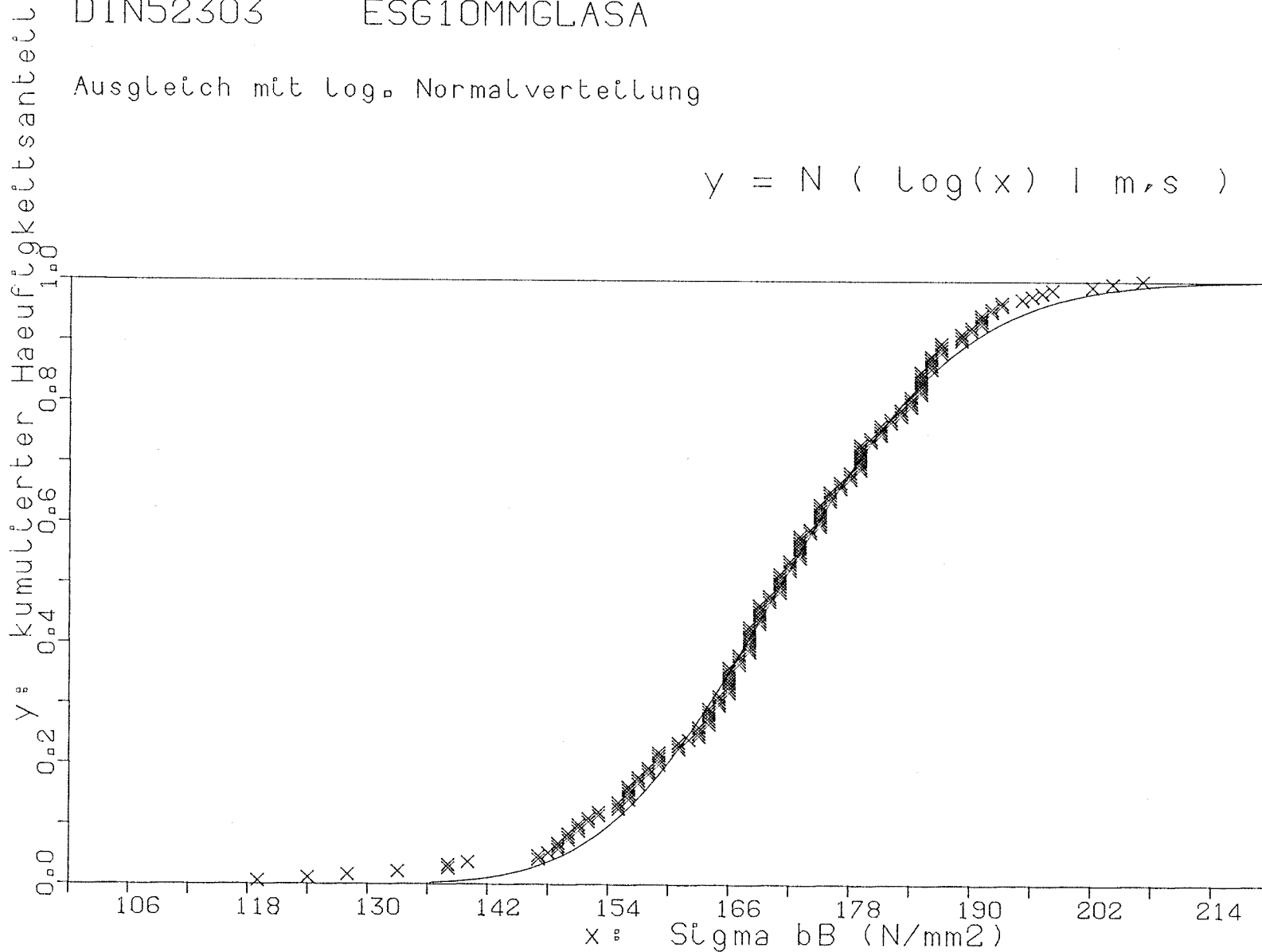
Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 2.233
Standardabw. (s) 0.035

Summe Abst. quad. 0.064
mittlerer Fehler 0.018

Korrelationskoeff. 0.998
Bestimmtheitsmass 0.996



Mittelwert 170.74
50%-Wert 171.04
5%-Wert 149.59
1%-Wert 141.51
0,1%-Wert 132.98

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMGLASA

Ausgleich mit Weibullverteilung

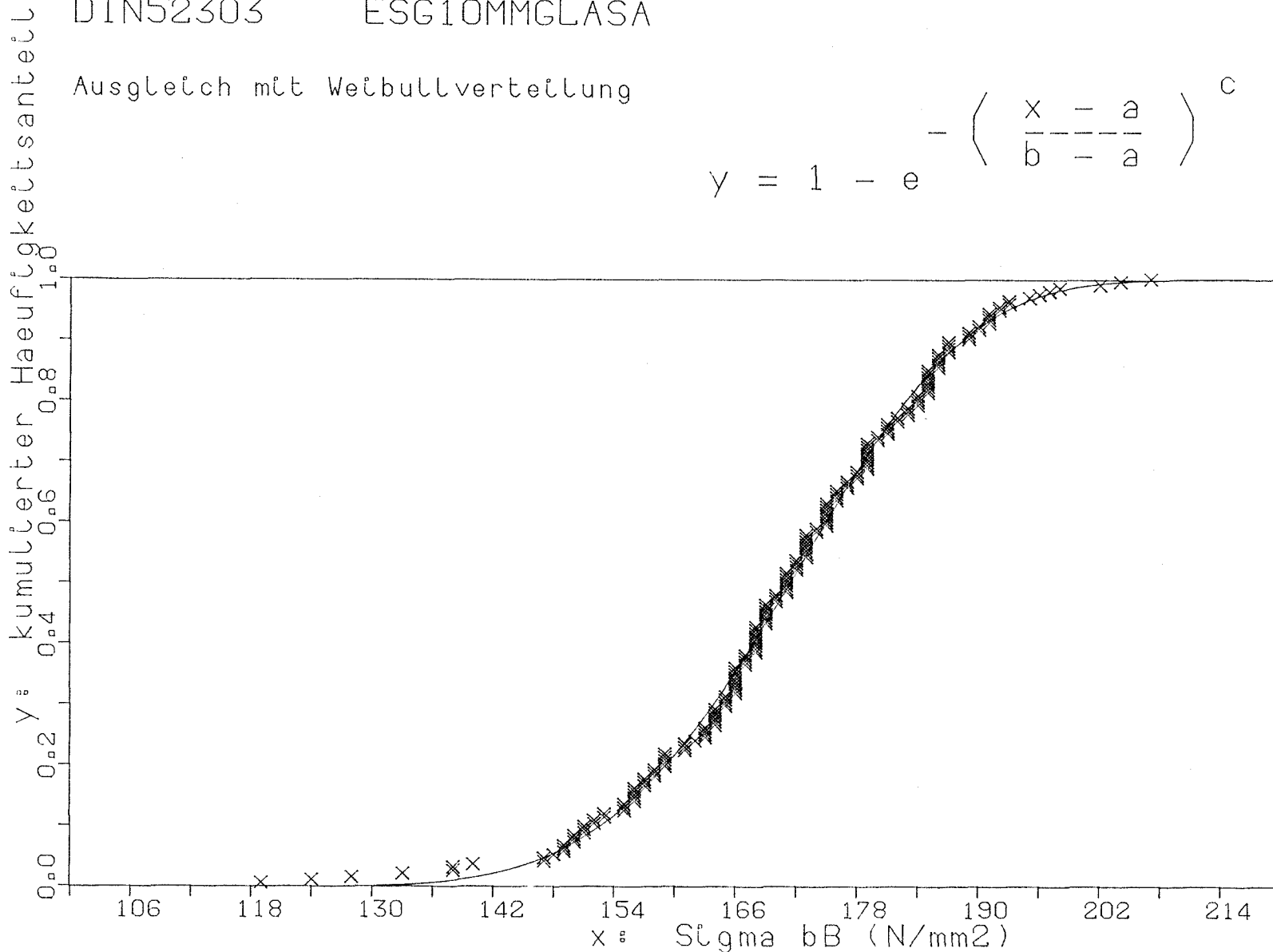
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x - a}{b - a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 118.437
 Verzerrung (b) 176.109
 Exponent (c) 4.300

Summe Abst. quad. 0.043
 mittlerer Fehler 0.015

Korrelationskoeff. 0.999
 Bestimmtheitsmass 0.997

Mittelwert 170.74
 50%-Wert 171.40
 5%-Wert 147.34
 1%-Wert 138.22
 0.1%-Wert 130.01



Bruchfestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMGLASA

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

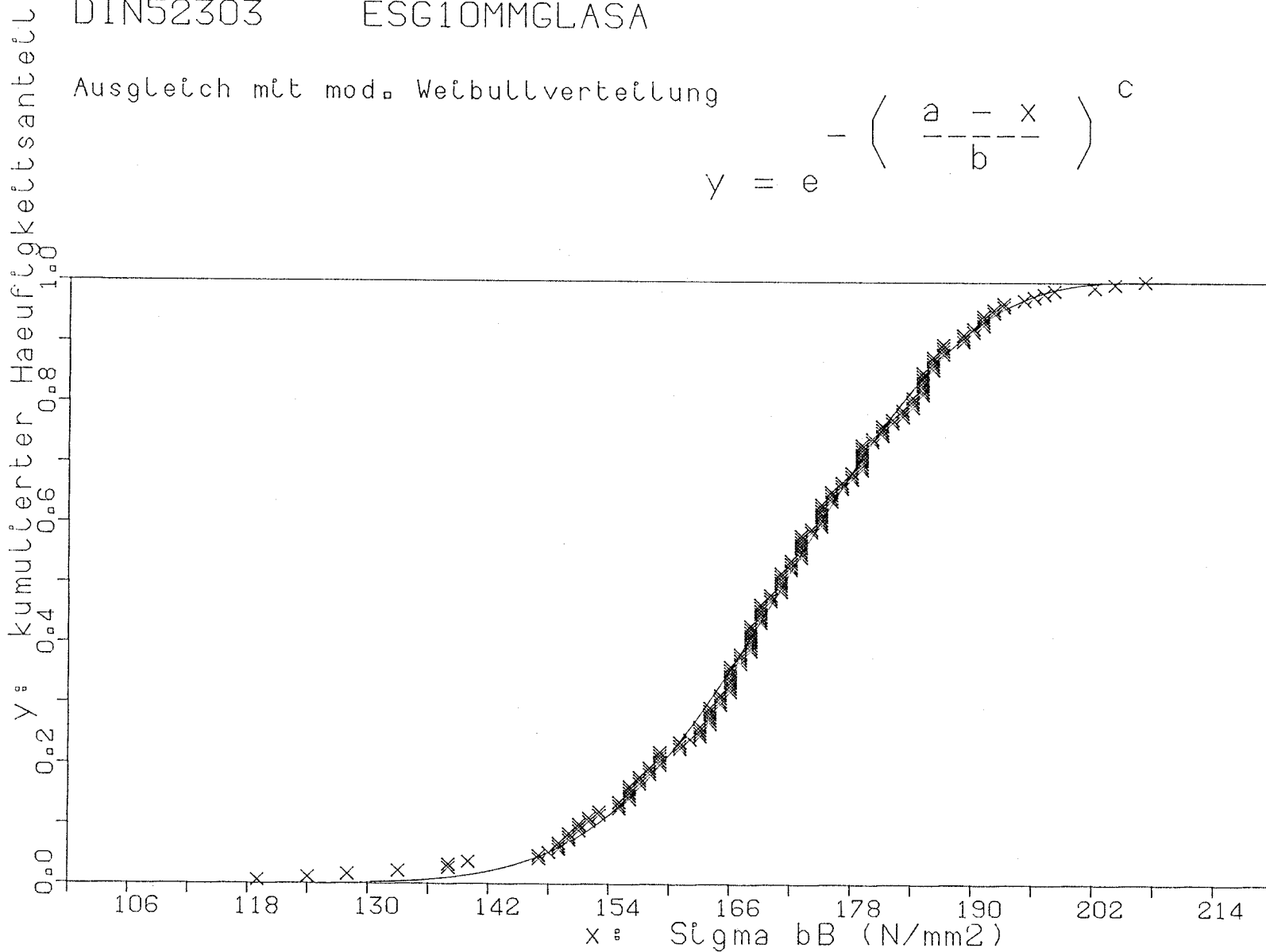
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 206.879
 Verzerrung (b) 40.381
 Exponent (c) 2.864

Summe Abst. quad. 0.043
 mittlerer Fehler 0.015

Korrelationskoeff. 0.999
 Bestimmtheitsmass 0.997

Mittelwert 170.74
 50%-Wert 171.35
 5%-Wert 147.65
 1%-Wert 138.05
 0,1%-Wert 127.58



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMGLASA

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

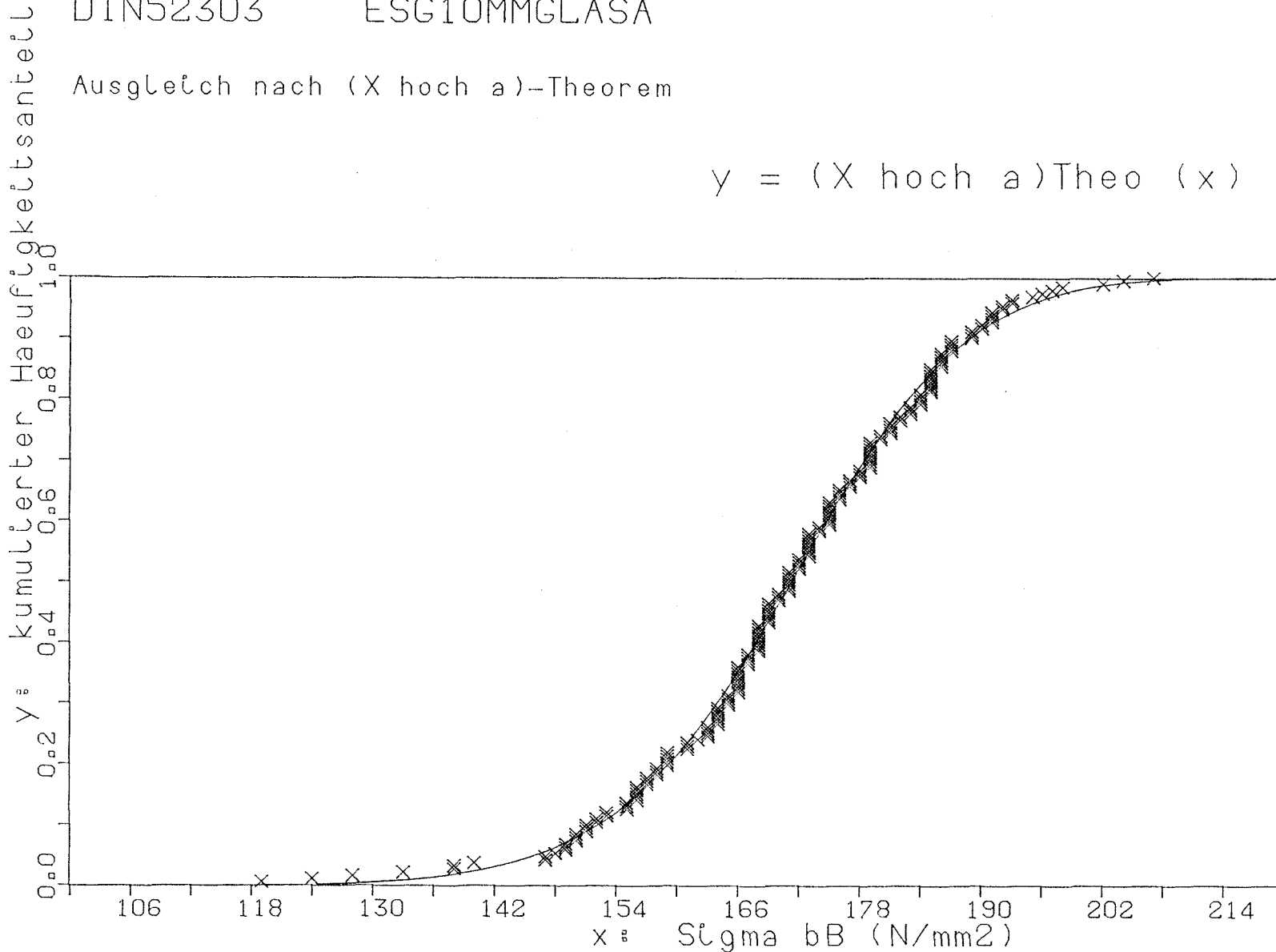
X unten	(x _u)	105.884
X mittel	(x _m)	171.361
X oben	(x _o)	220.979
Exponent	(a)	3.283

Summe Abst. quad. 0.040
mittleren Fehler 0.014

Korrelationskoeff. 0.999
Bestimmtheitsmass 0.998

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

Mittelwert	170.74
50%-Wert	171.36
5%-Wert	146.16
1%-Wert	134.15
0.1%-Wert	121.85

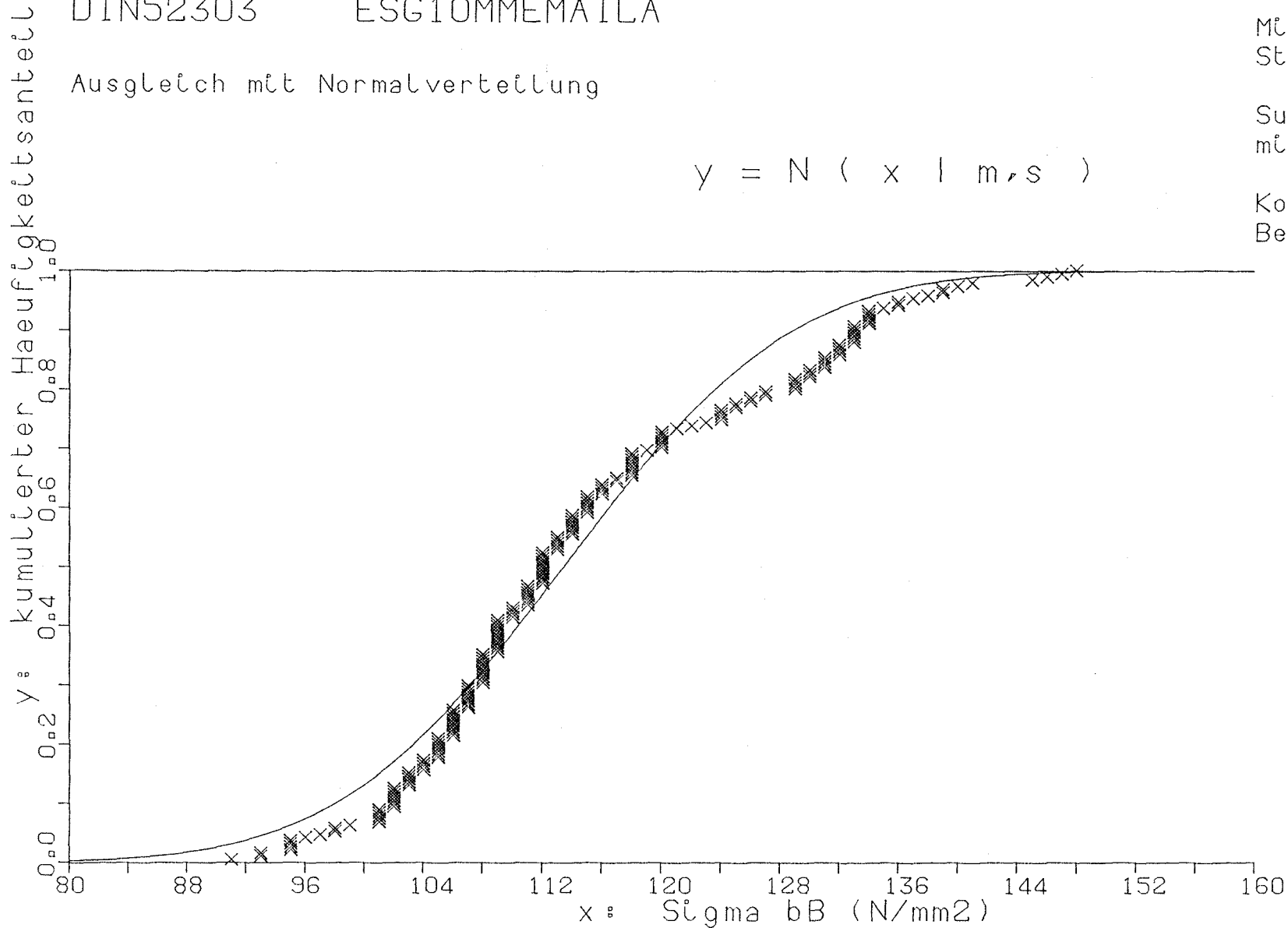


Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMEMAILA

Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$



Mittelwert (m) 113.468
Standardabw. (s) 12.066

Summe Abst. quad. 0.423
mittlerer Fehler 0.047

Korrelationskoeff. 0.987
Bestimmtheitsmass 0.973

Mittelwert 115.04
50%-Wert 113.47
5%-Wert 93.62
1%-Wert 85.39
0.1%-Wert 76.18

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMEMAILA

Ausgleich mit Weibullverteilung

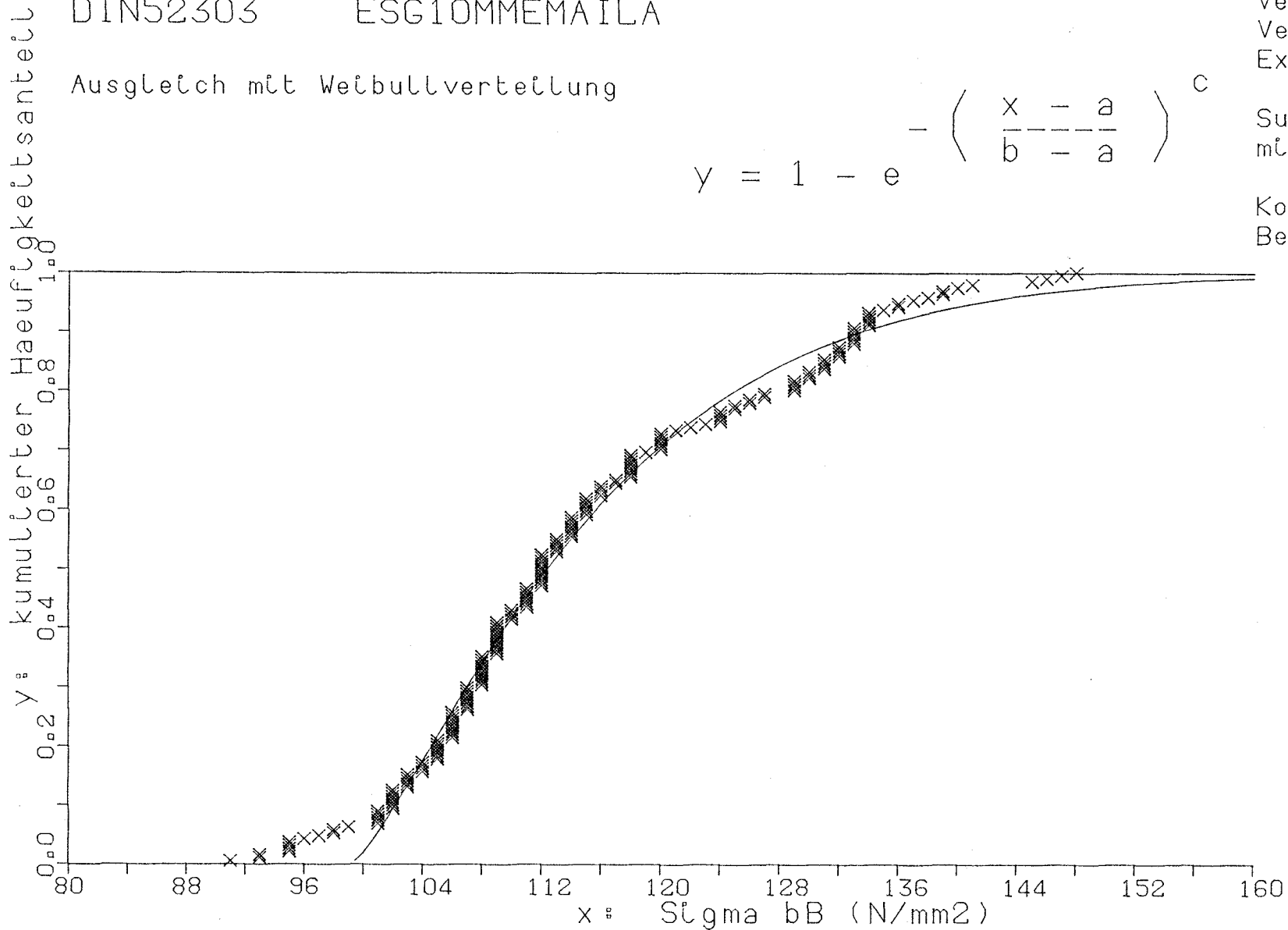
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 99.273
 Verzerrung (b) 116.884
 Exponent (c) 1.253

Summe Abst. quad. 0.109
 mittlerer Fehler 0.024

Korrelationskoeff. 0.997
 Bestimmtheitsmass 0.993

Mittelwert 115.04
 50%-Wert 112.42
 5%-Wert 100.92
 1%-Wert 99.72
 0.1%-Wert 99.34



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMEMAILA

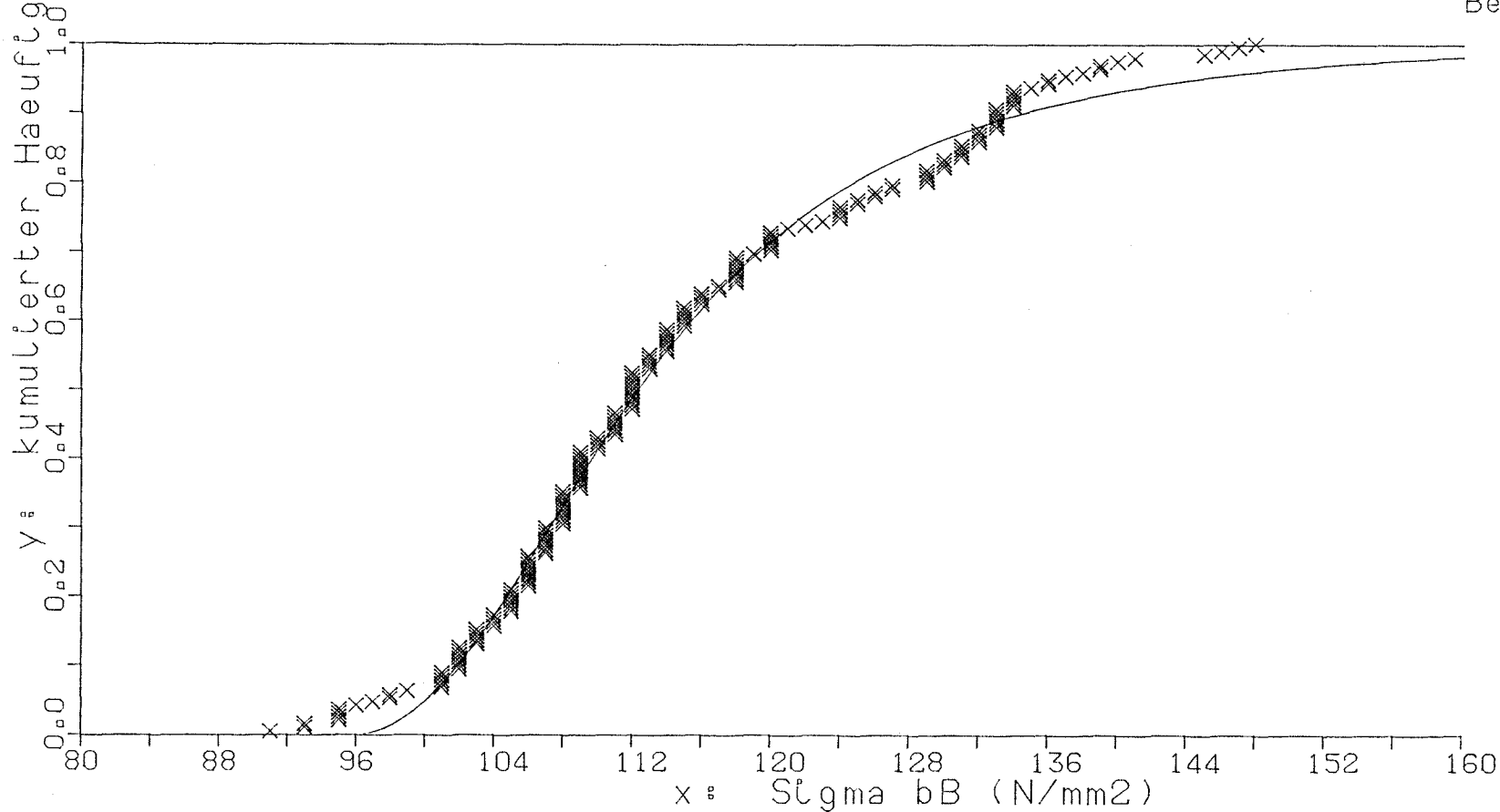
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	95.674
X mittel	(xm)	112.333
X oben	(xo)	218.481
Exponent	(a)	2.036

Summe Abst. quad. 0.095
mittlerer Fehler 0.022

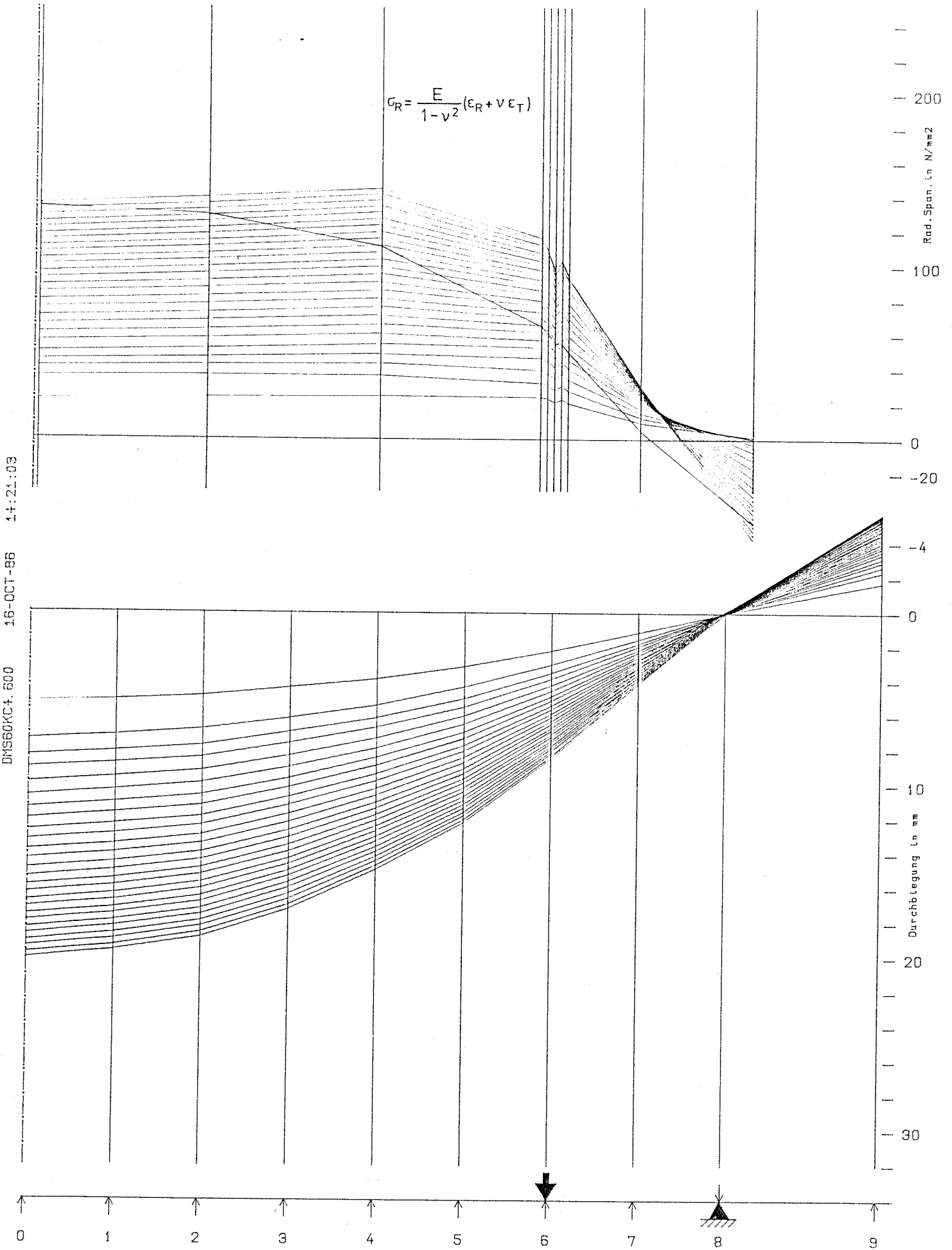
Korrelationskoeff. 0.997
Bestimmtheitsmass 0.994

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



Mittelwert	115.04
50%-Wert	112.33
5%-Wert	100.05
1%-Wert	97.66
0,1%-Wert	96.32

$$\sigma_R = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_R + \nu \epsilon_T)$$



14:21:03

16-OCT-86

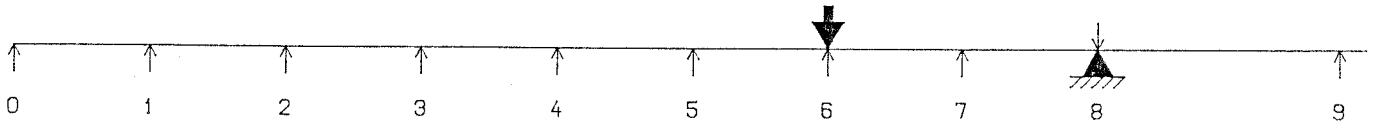
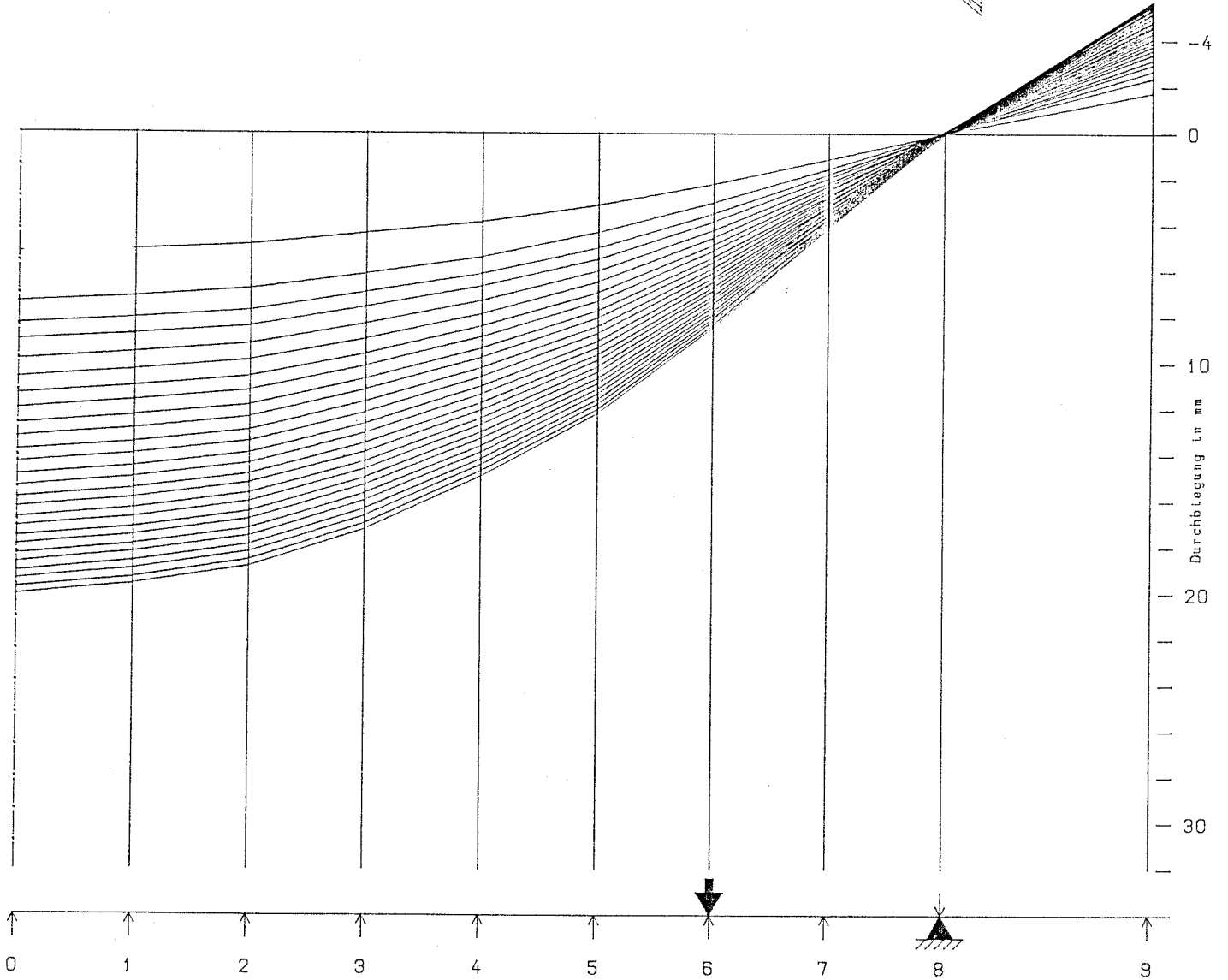
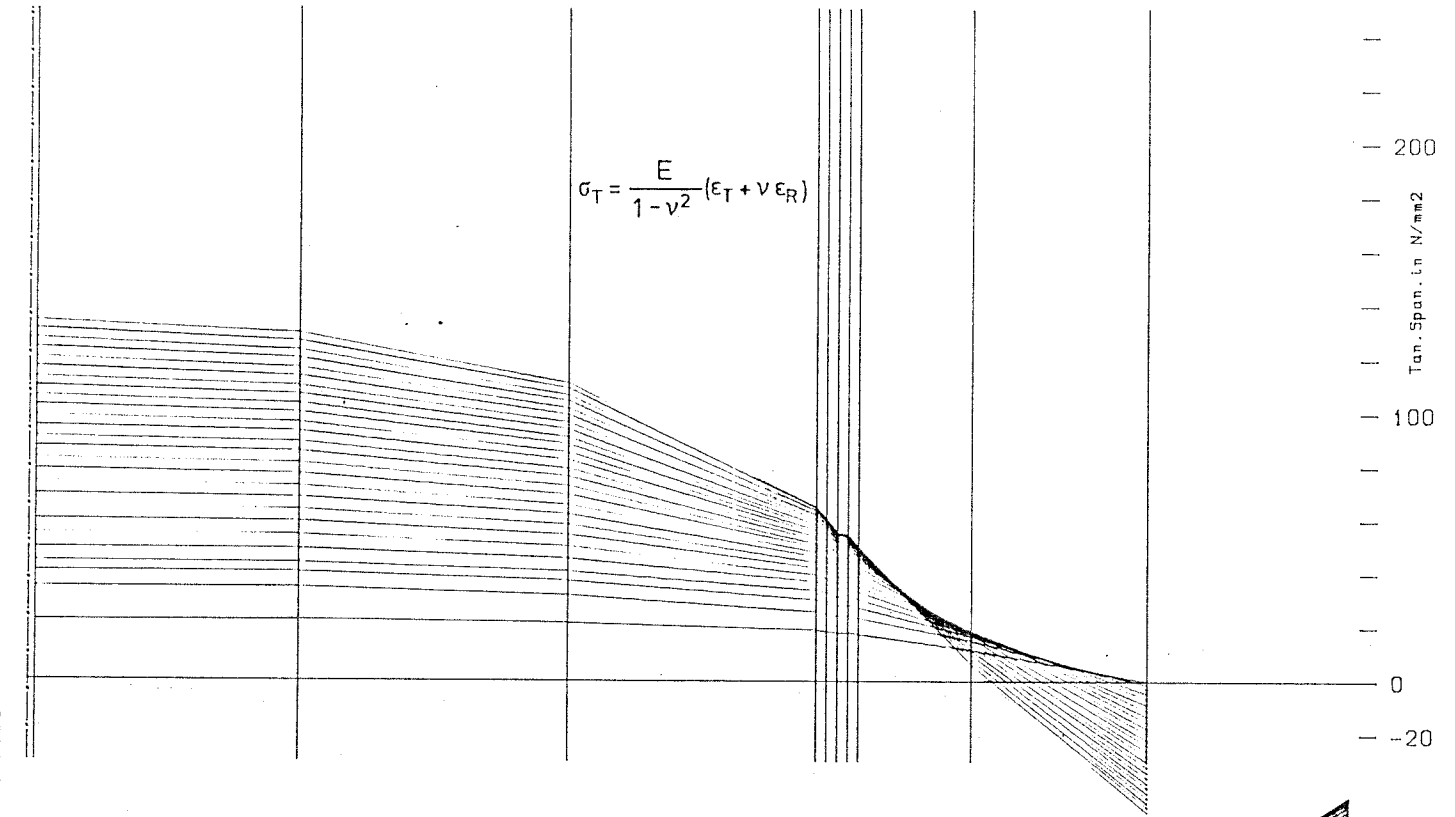
DMS60KC4.600

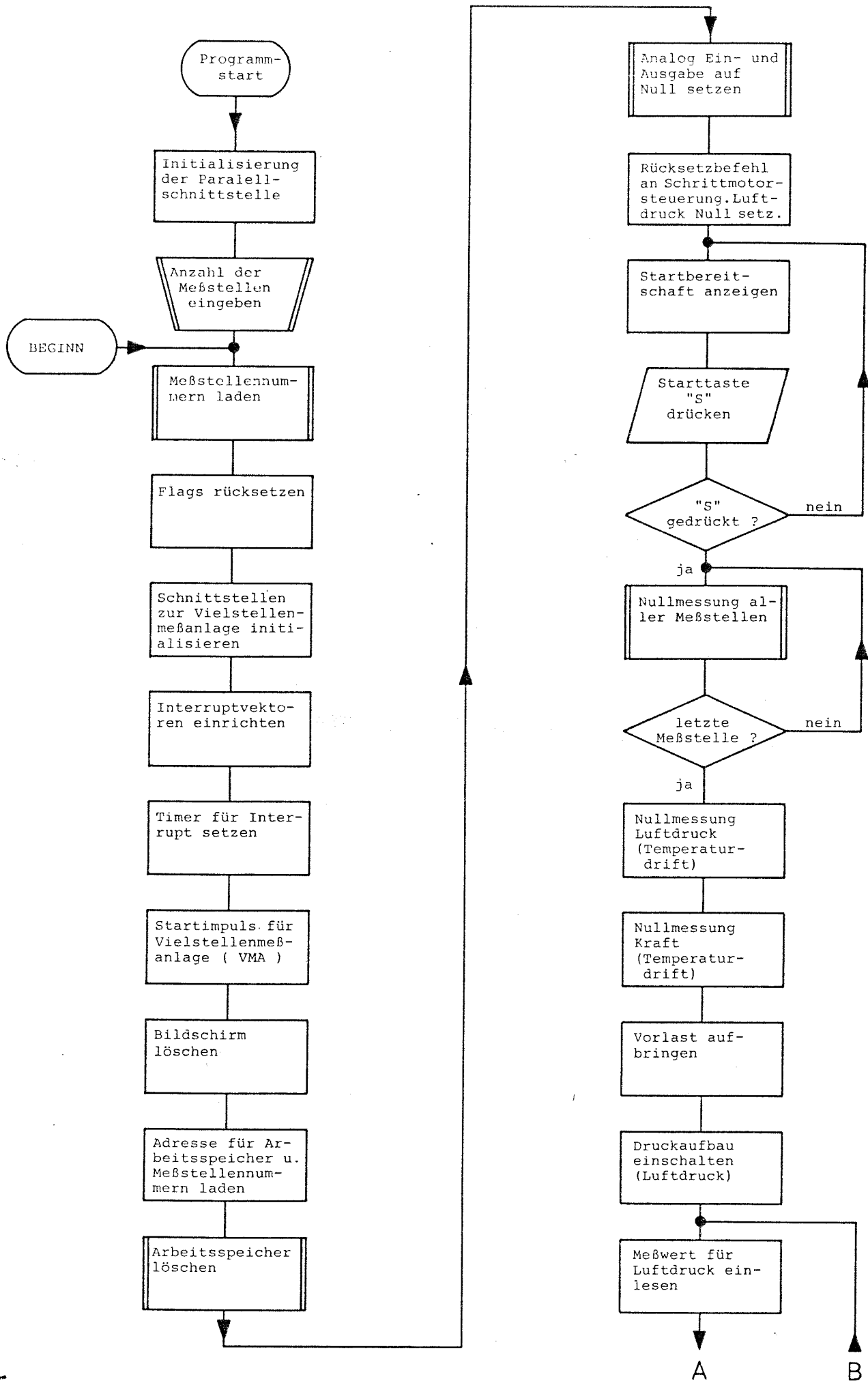
$$\sigma_T = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_T + \nu \epsilon_R)$$

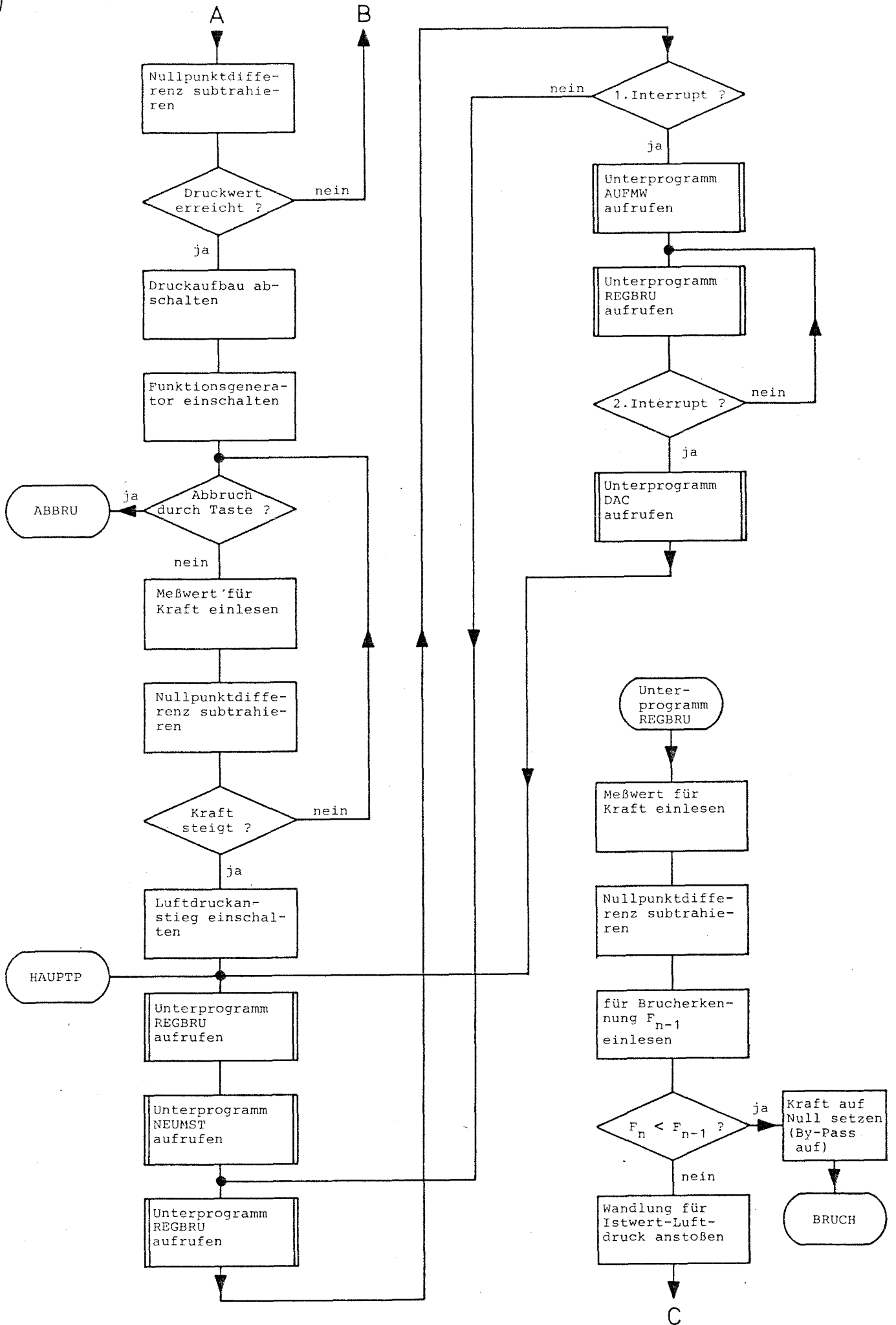
17:30:36

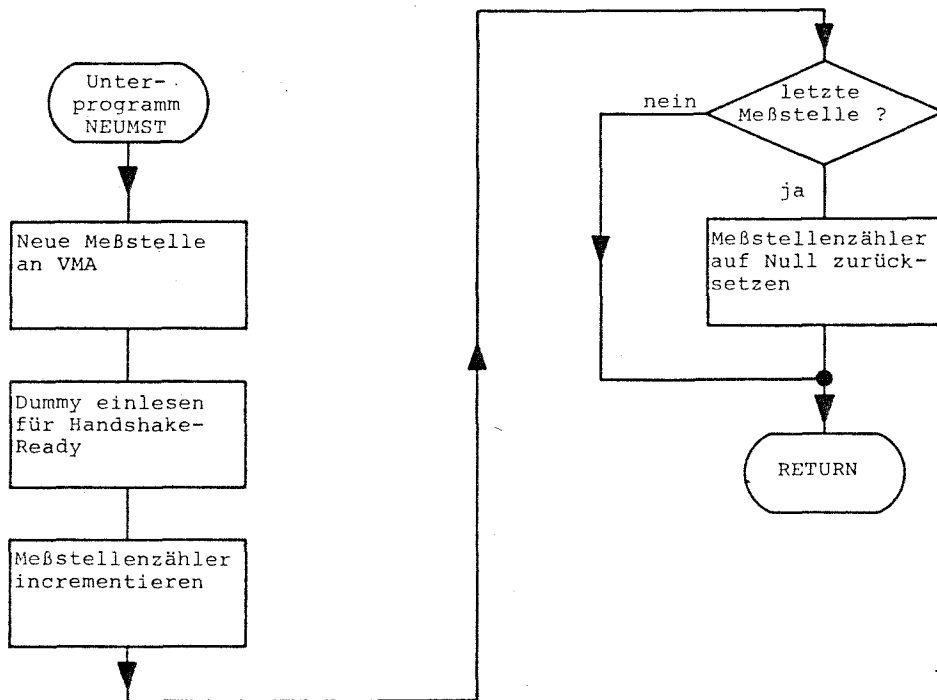
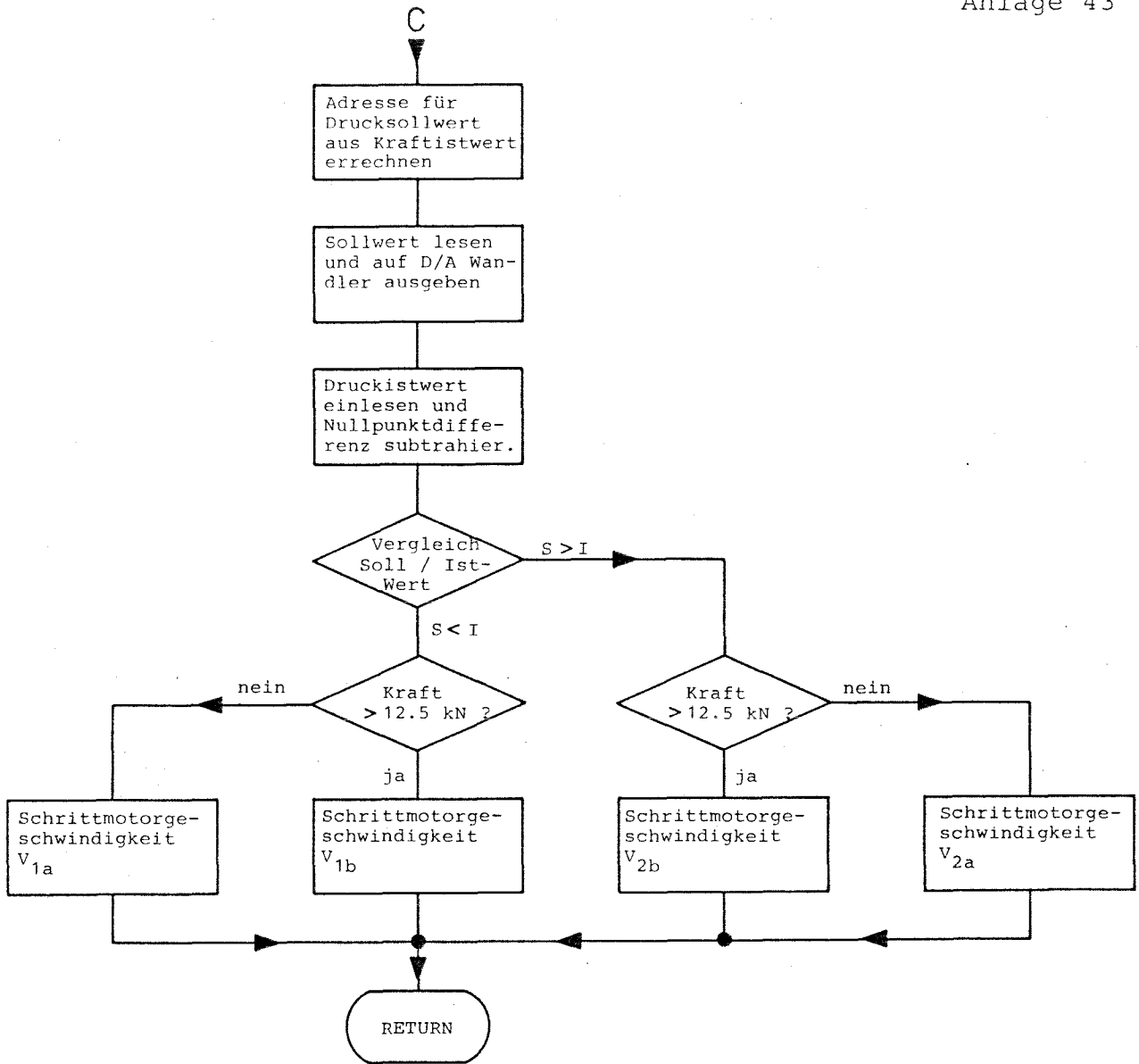
16-OCT-86

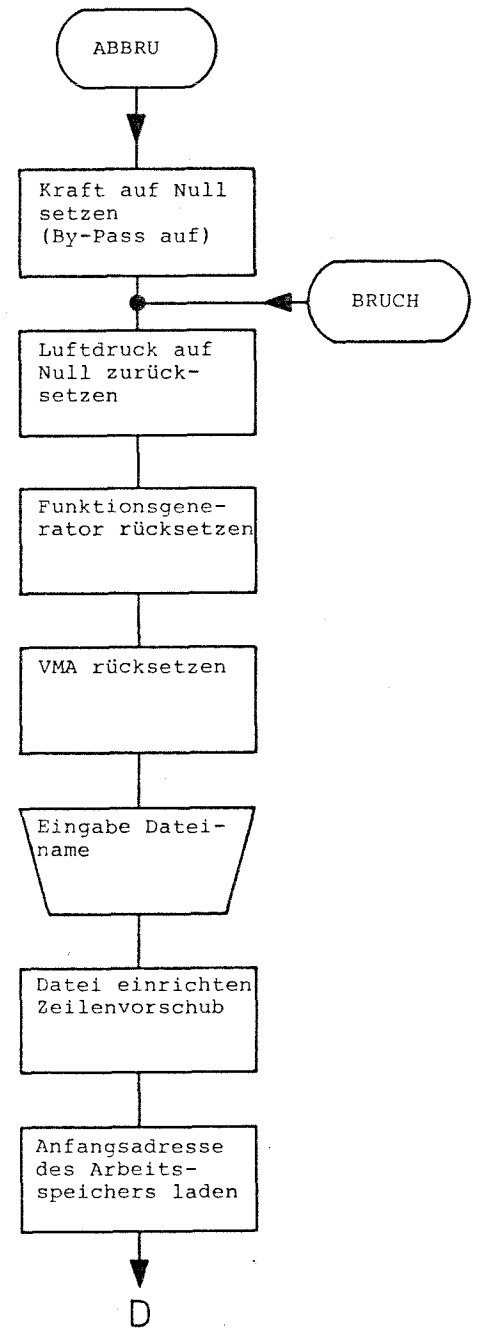
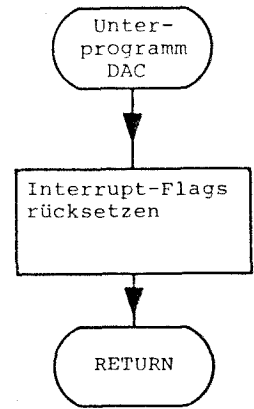
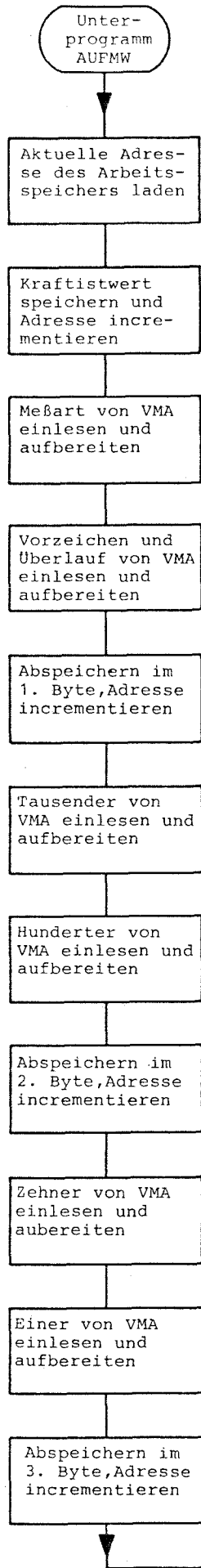
DMS60XC4.600







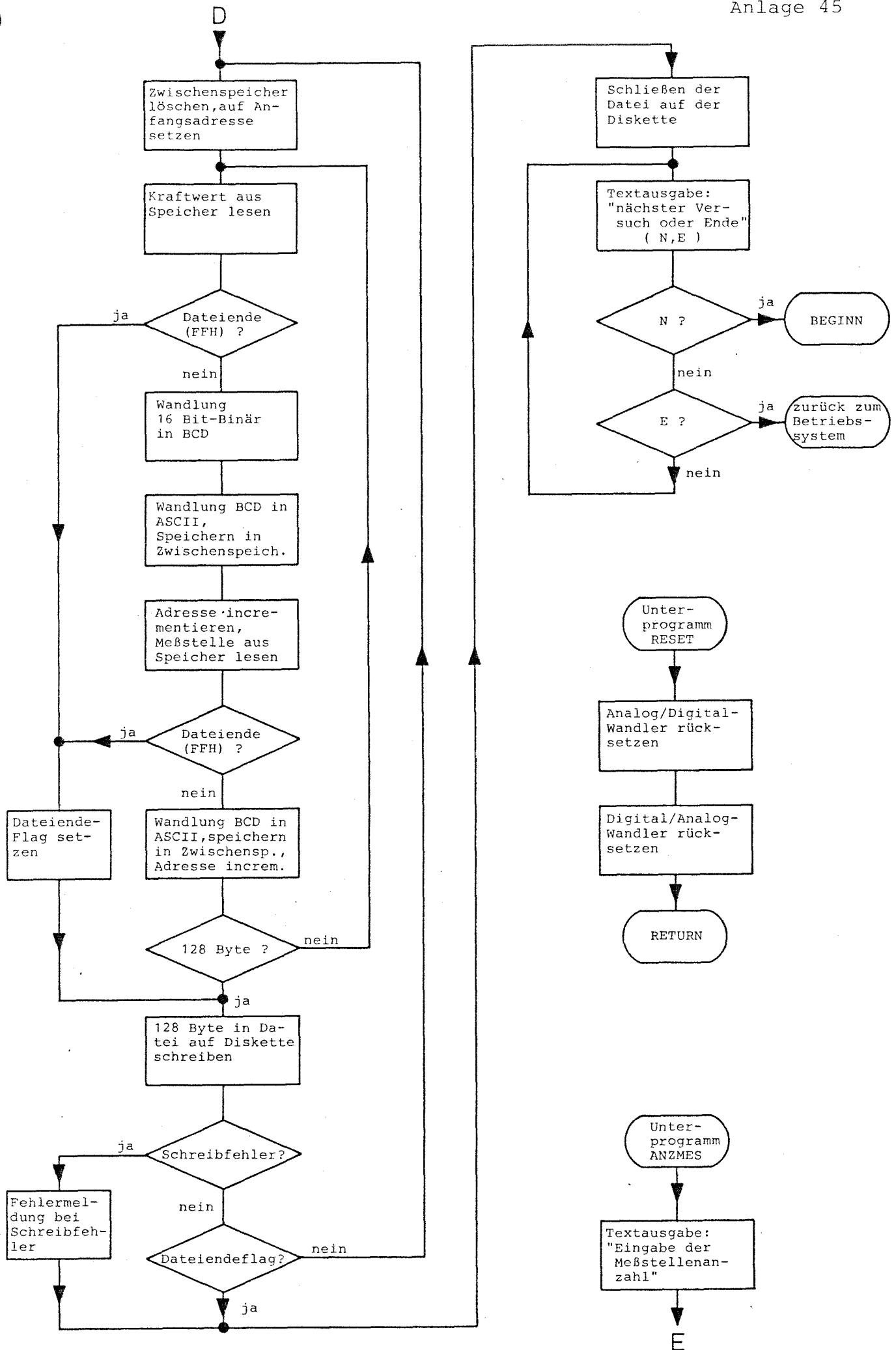




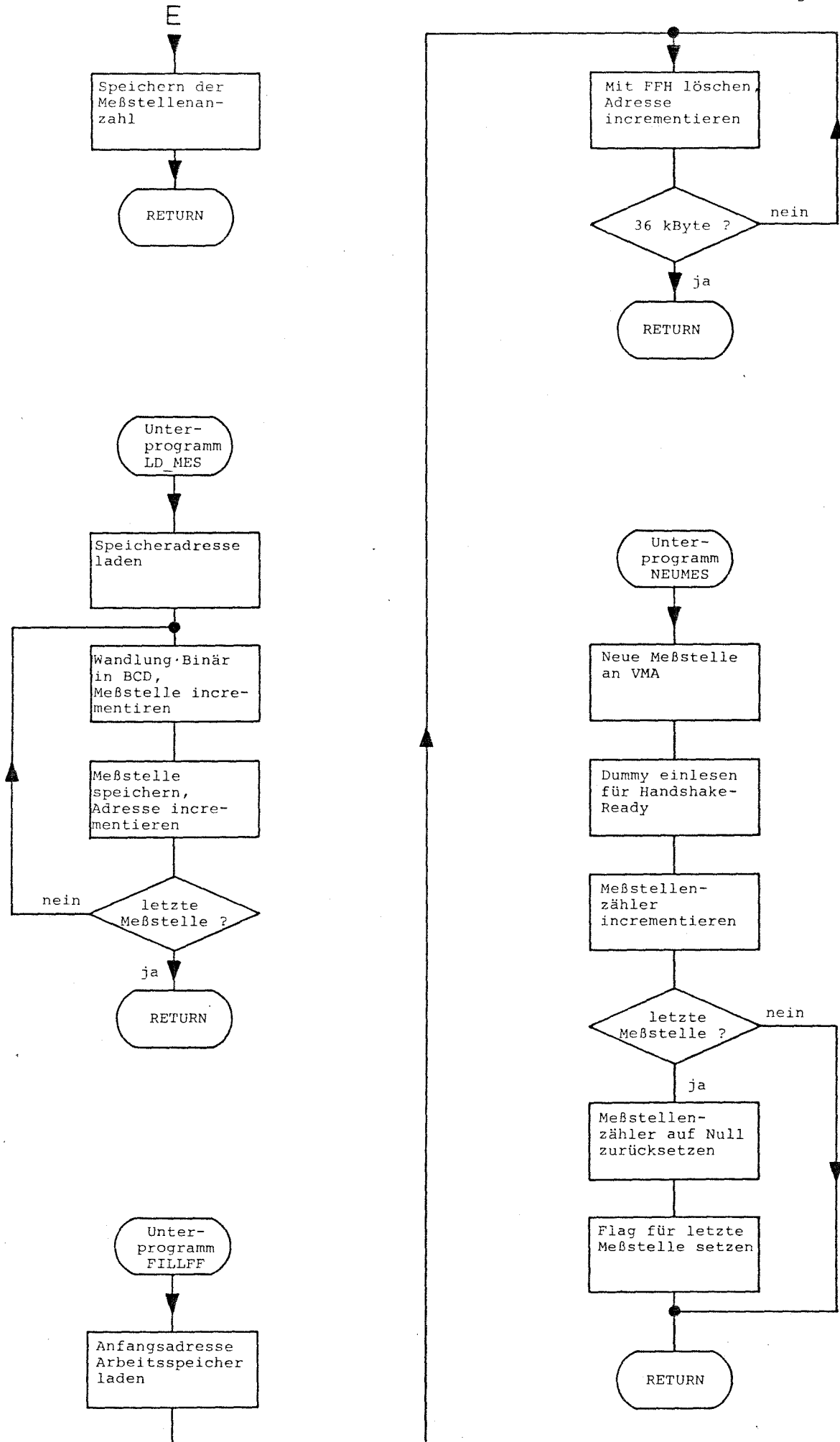
RETURN

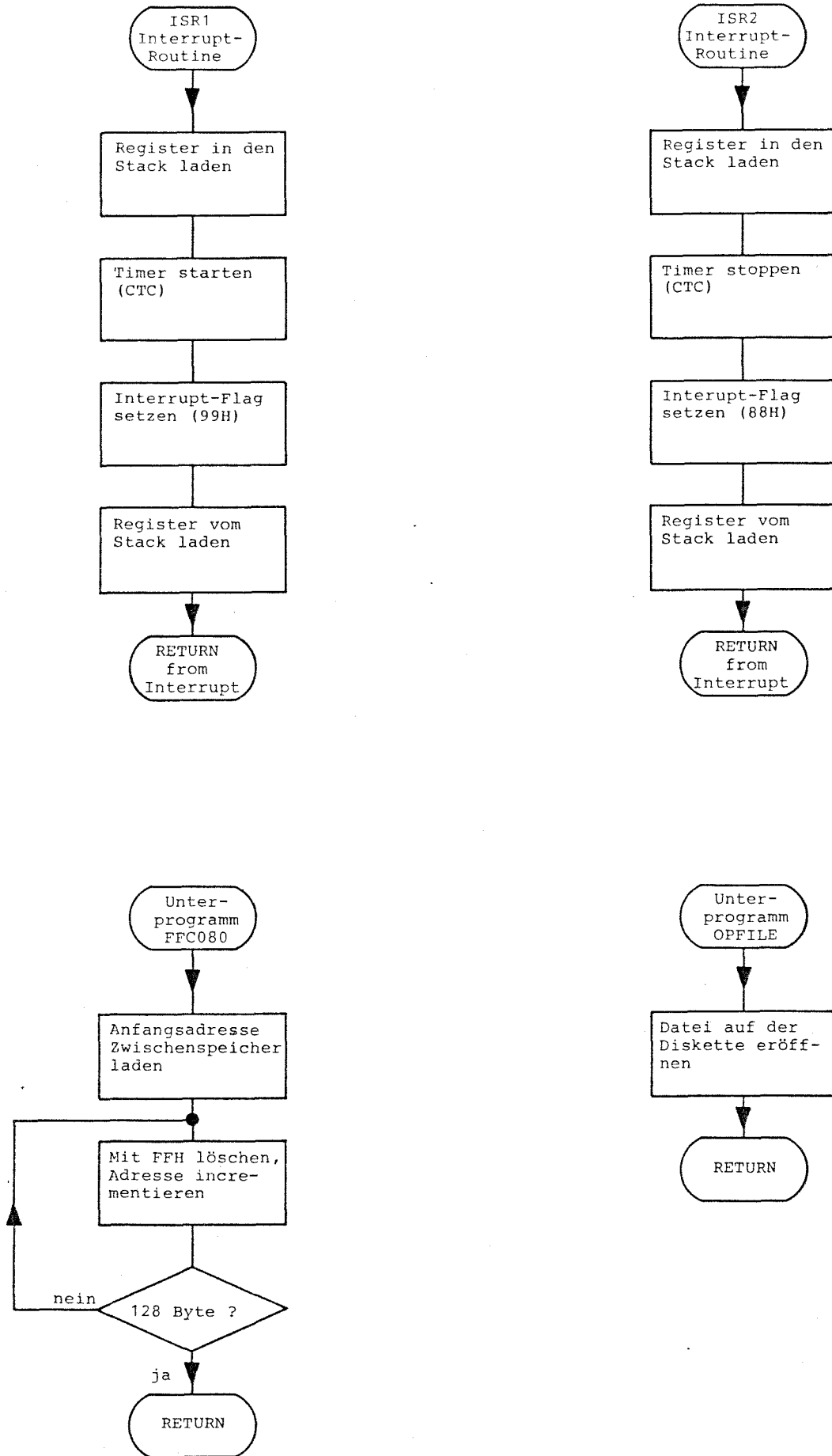
D

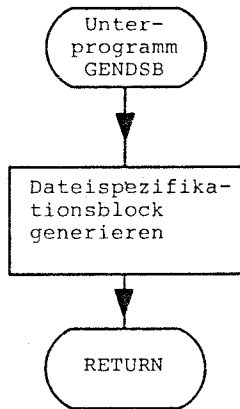
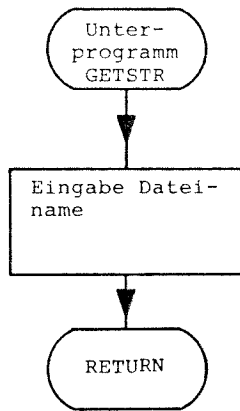
5)



6)







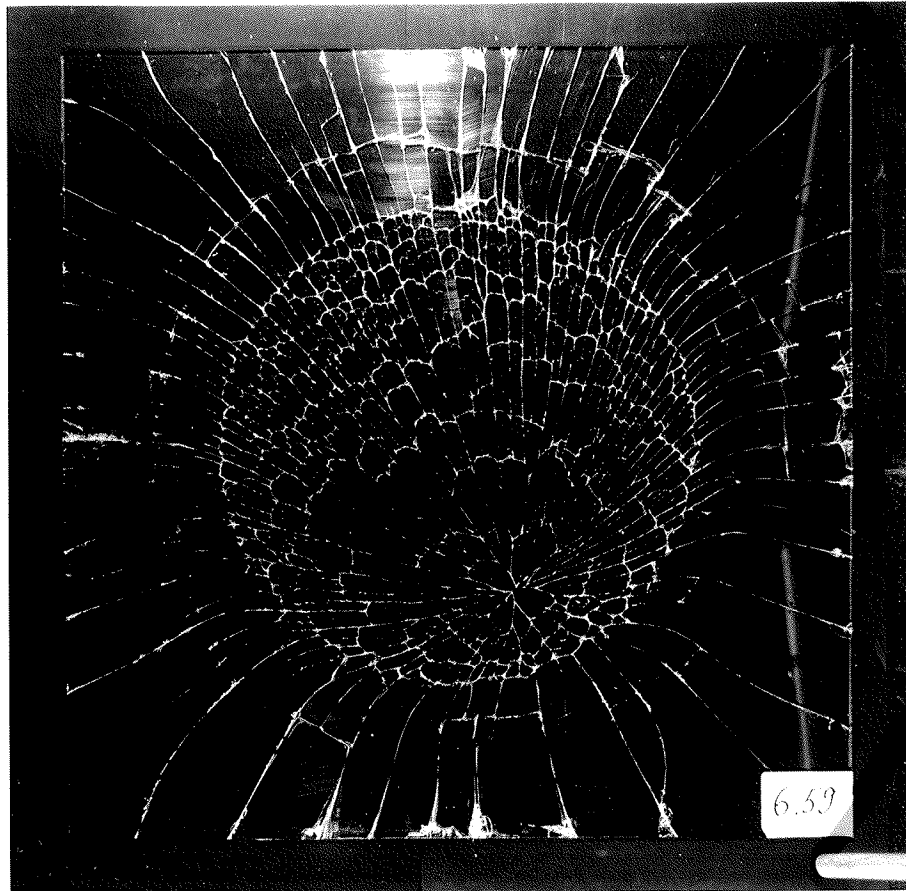


Bild 4: Typisches Bruchbild von Floatglas
Prüfung nach DIN 52292 T 2

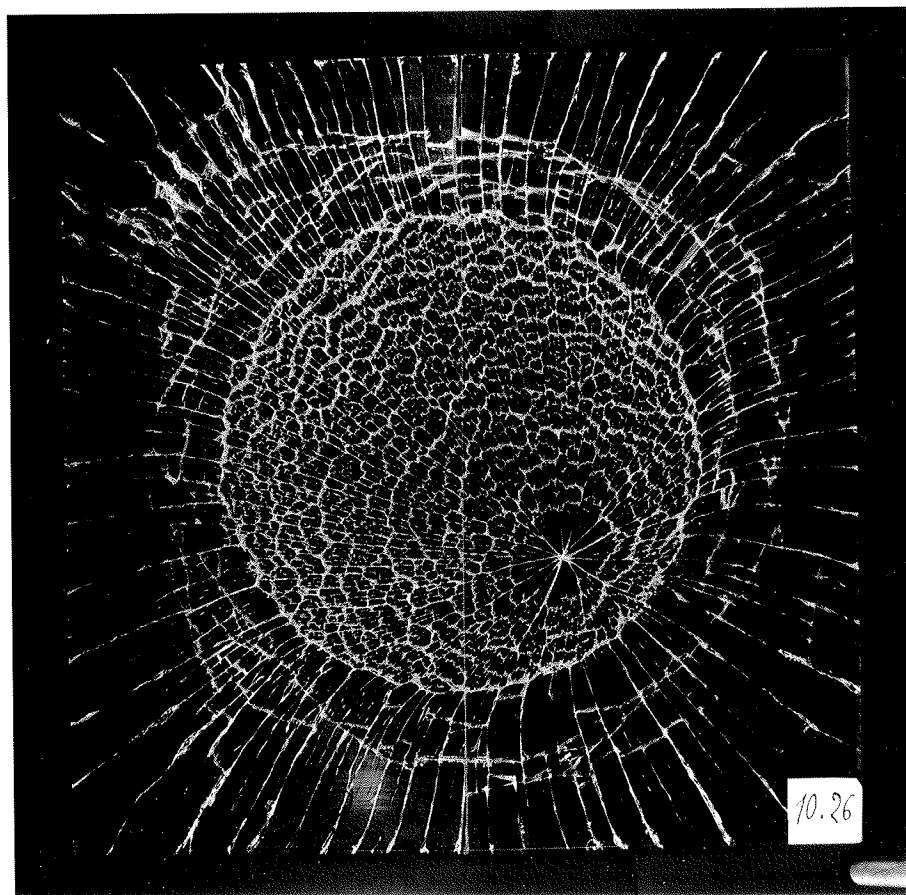


Bild 5: Typisches Bruchbild von Floatglas
Prüfung nach DIN 52292 T 2

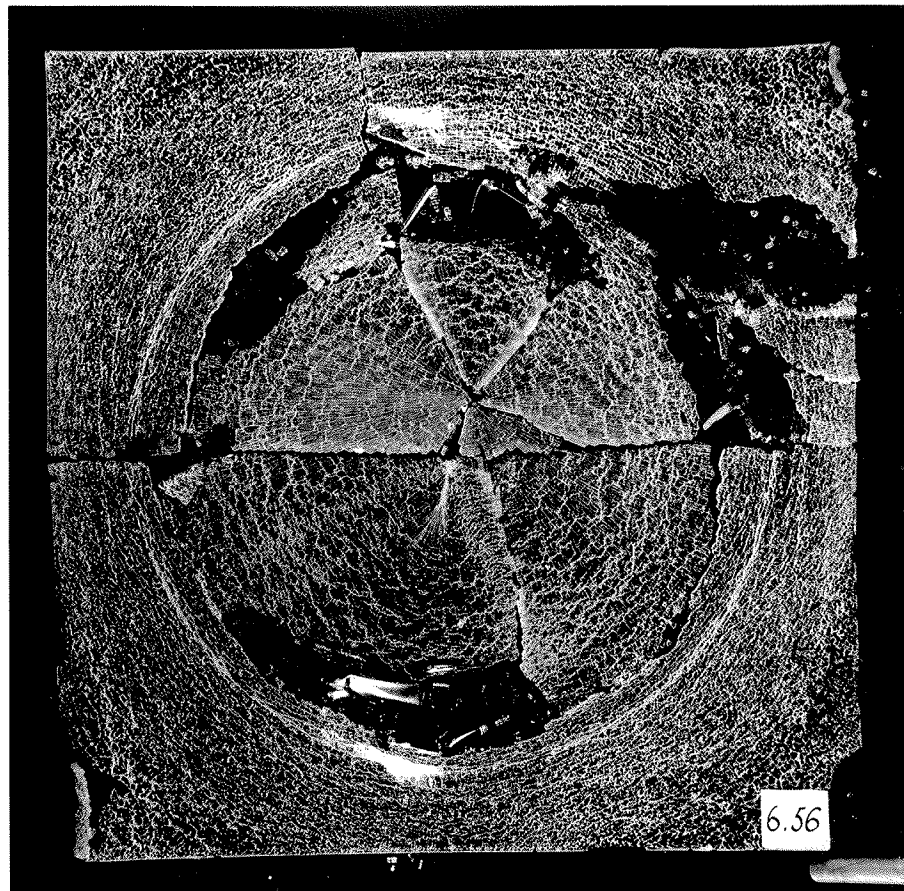


Bild 6: Typisches Bruchbild von ESG
Prüfung nach DIN 52292 T 2

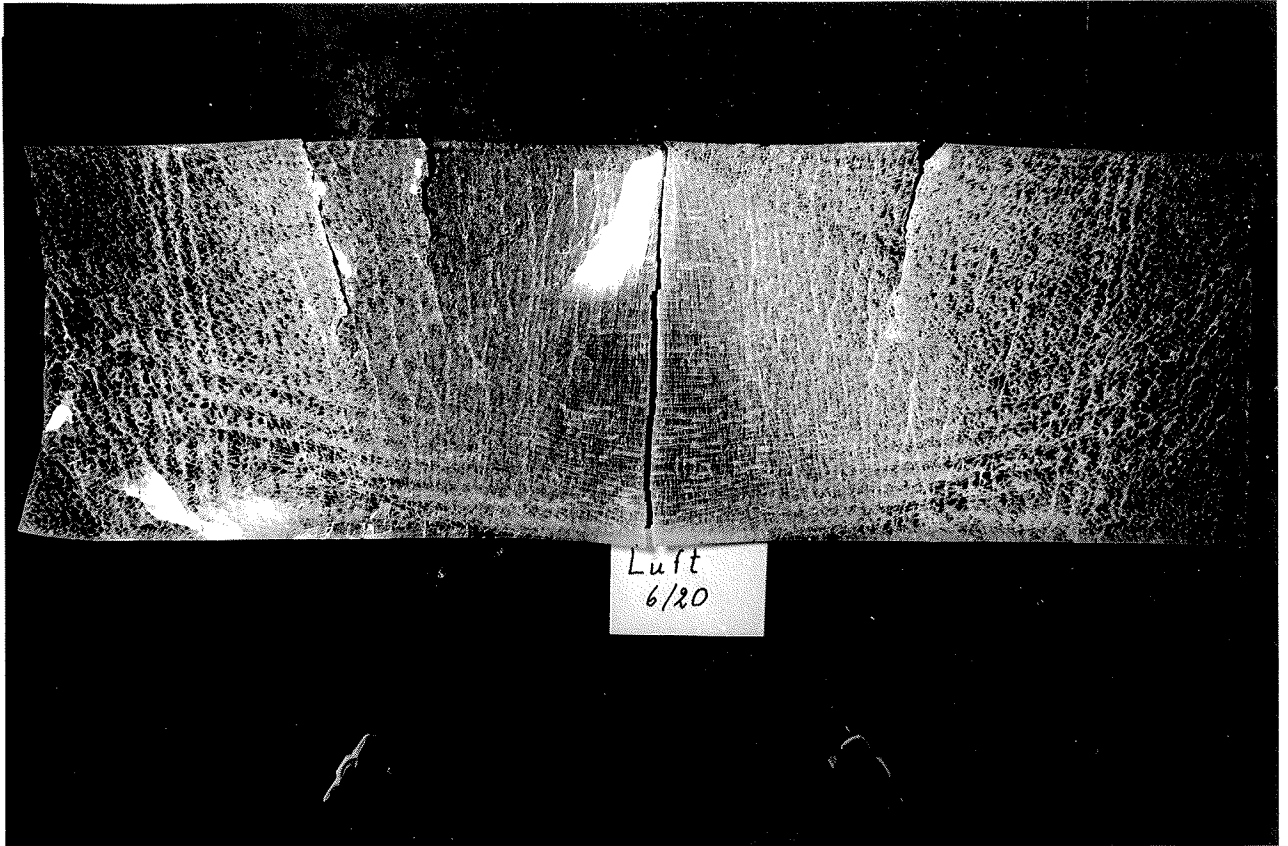


Bild 7: Typisches Bruchbild von ESG 6 mm
Prüfung nach DIN 52303 T 1

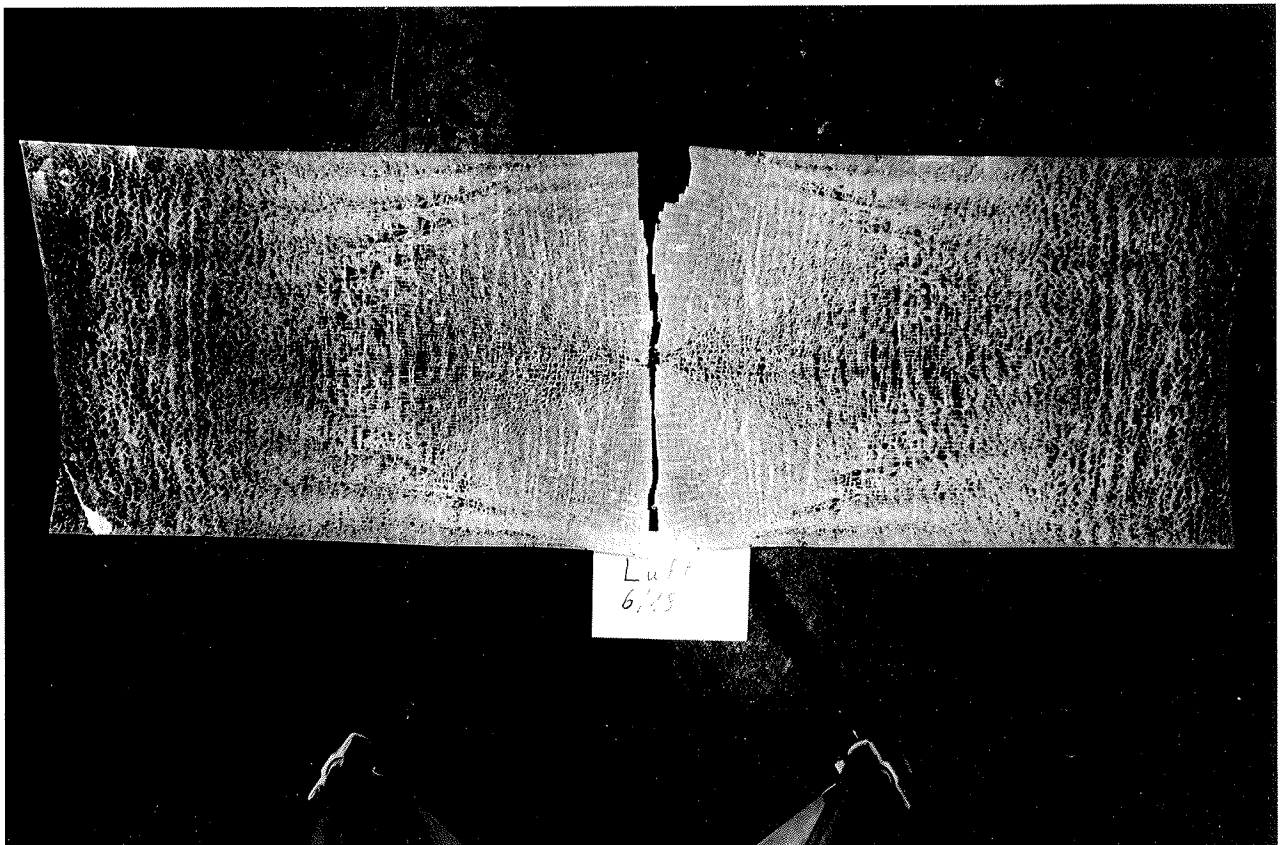


Bild 8: Typisches Bruchbild von ESG 6 mm
Prüfung nach DIN 52303 T 1

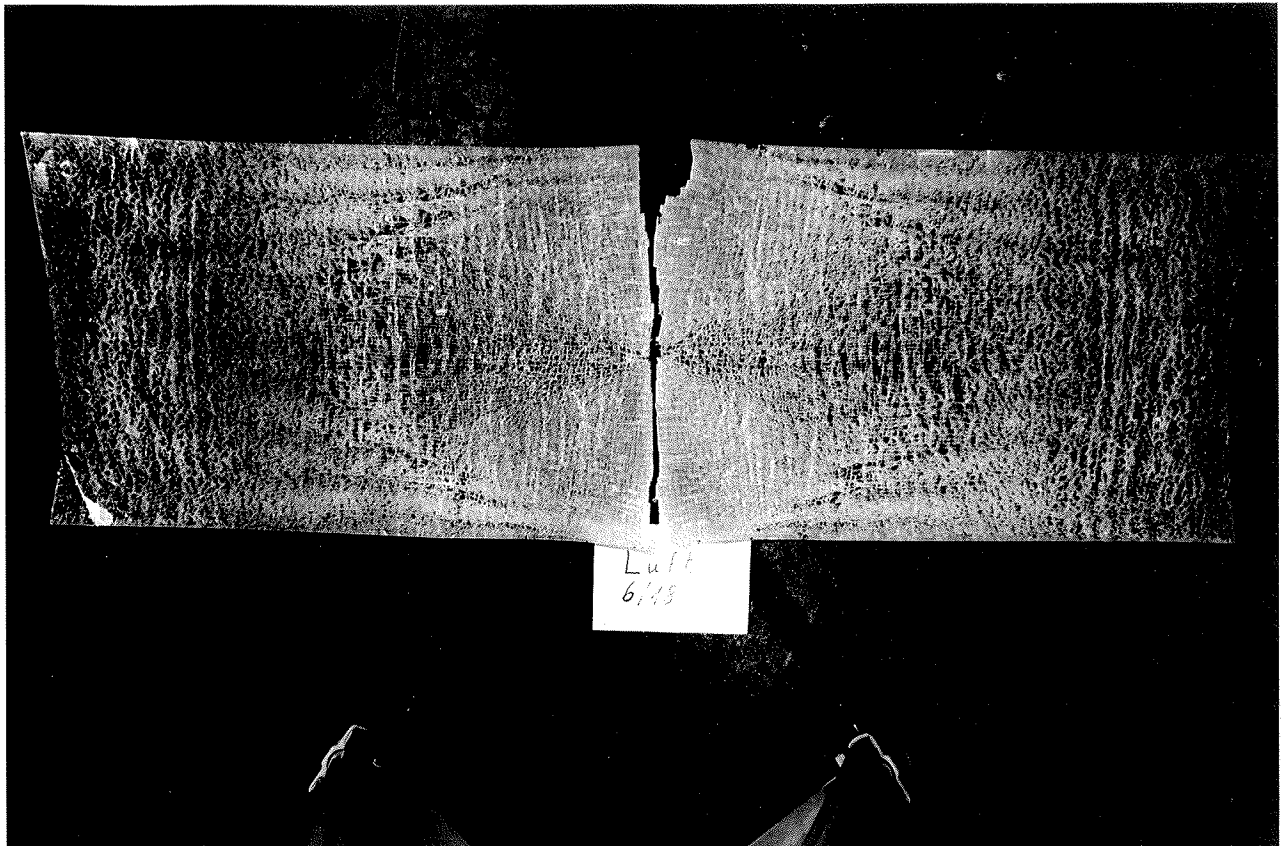


Bild 9: Typisches Bruchbild von ESG 10 mm
Prüfung nach DIN 52303 T 1

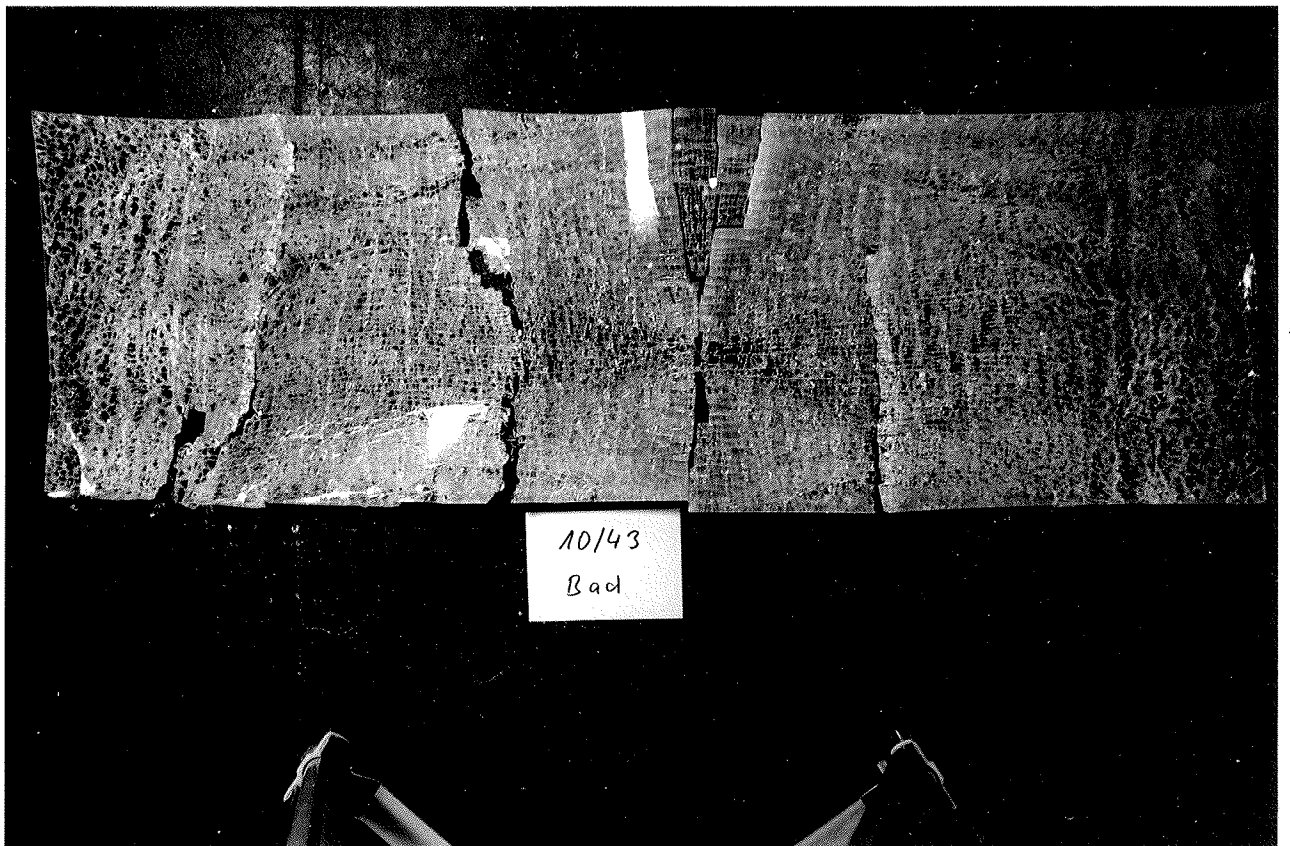


Bild 10: Typisches Bruchbild von ESG 10 mm
Prüfung nach DIN 52303 T 1

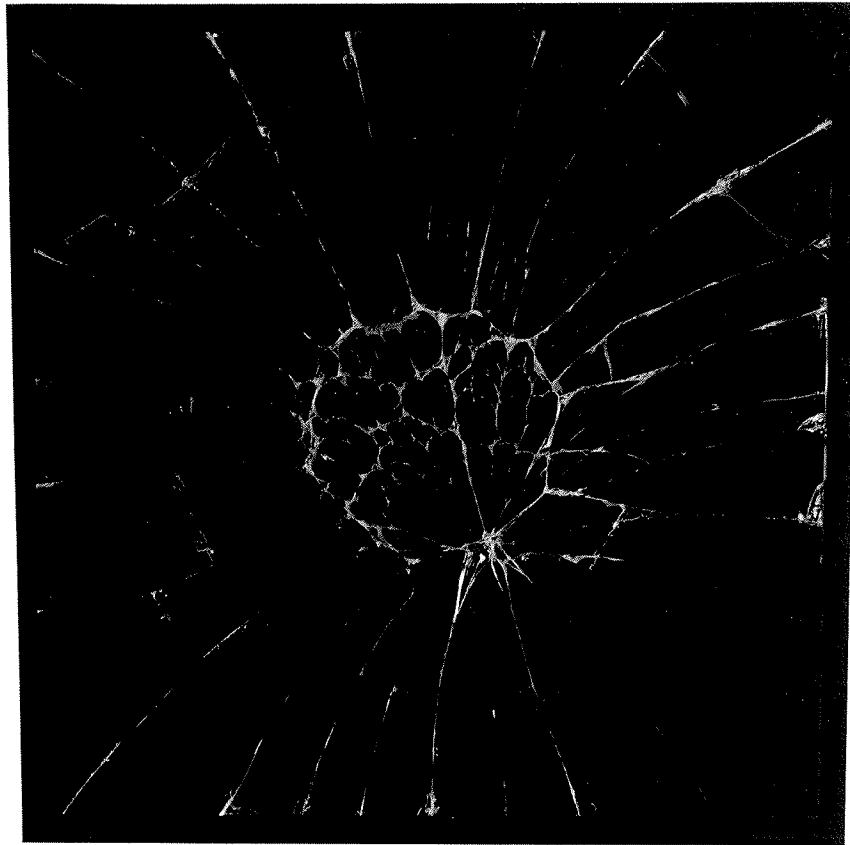


Bild 11: Typisches Bruchbild von Floatglas
Prüfung mit Doppelring 300/250/100

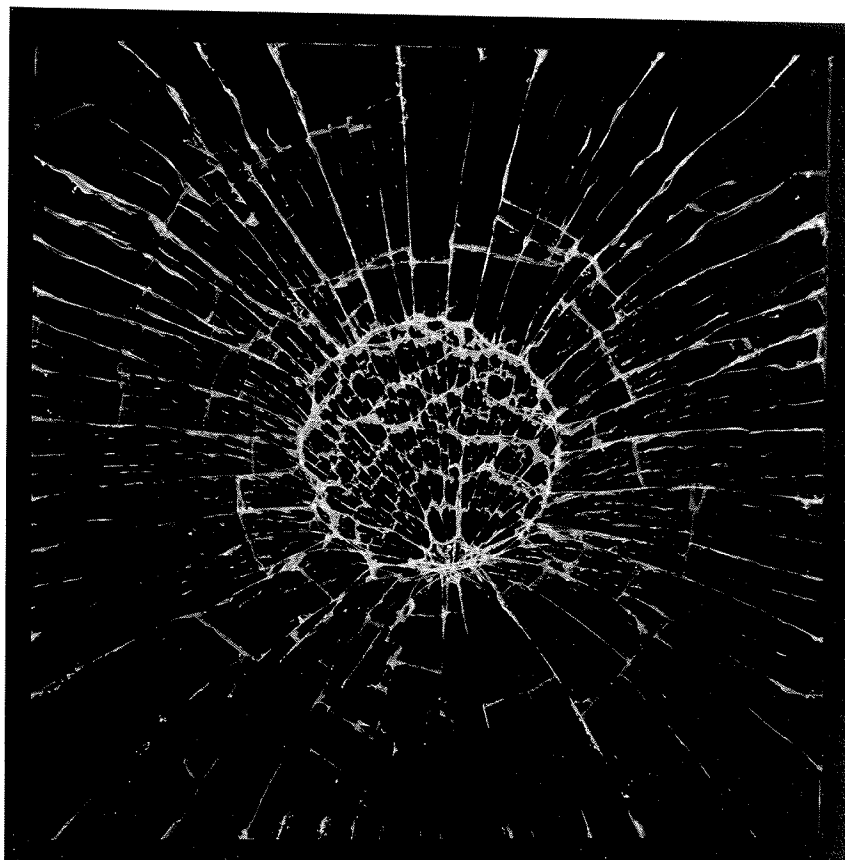


Bild 12: Typisches Bruchbild von Floatglas
Prüfung mit Doppelring 300/250/100

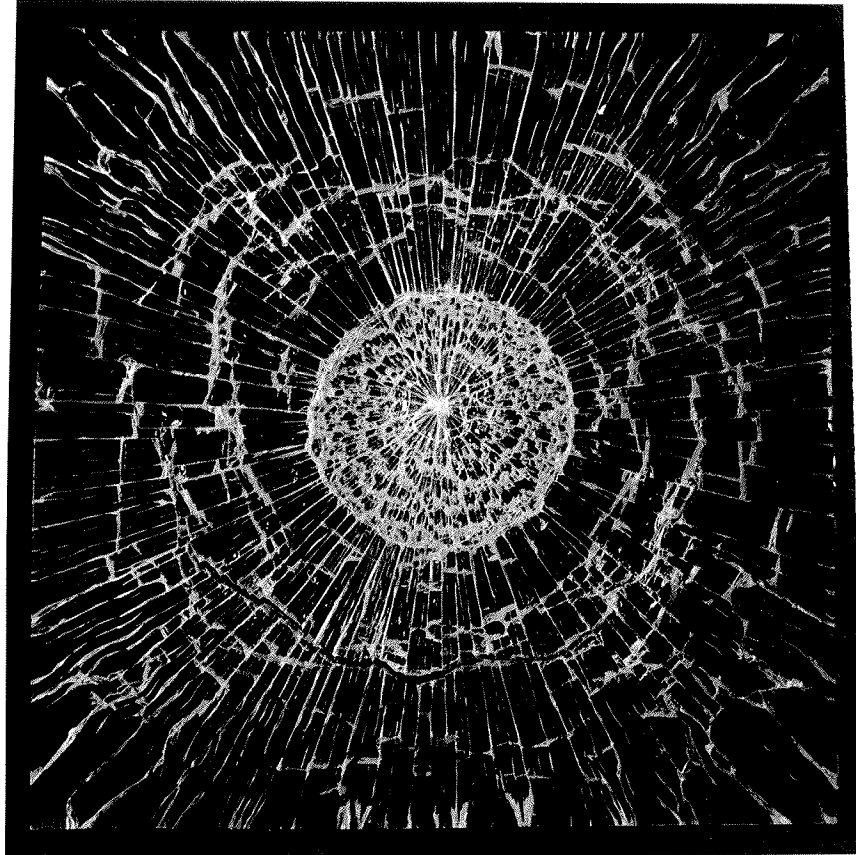


Bild 13: Typisches Bruchbild von Floatglas
Prüfung mit Doppelring 300/250/100

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG
(BAM)

Abteilung 2 - Bauwesen
Fachgruppe 2.1 - Mineralische Baustoffe

Untersuchungen
zur
Biegefestigkeit von Flachglas

Abschlußbericht zum Vorhaben
BAM Vh-Nr. 2127

Anlagen Band 2

Untersuchung zur Ermittlung der Biegefestigkeit
von Flachglas für bauliche Anlagen

Bearbeiter: Dipl.-Ing. G. Mellmann
Dr.-Ing. M. Maultzsch

Finanzielle Förderung:
Institut für Bautechnik, Berlin
AZ.: VII 1-5-298/81

Berlin, November 1988

Inhaltsverzeichnis Anlagen

Band 1:	Anlage
Biegefestigkeit - Einzelwerte	1... 12
DIN 52292 T 2	
ESG 6 mm	
Float 6 mm und 10 mm	
DIN 52303	13... 20
ESG 6 mm und 10 mm	
Doppelring 300/250/100	21... 28
Float 6 mm und 10 mm	
Industrieergebnisse	29... 38
Radiale und tangentielle Spannung sowie Durchbiegung von ESG	39... 40
Flußdiagramm Versuchsablauf	41... 48
Bruchbilder	49... 54
Band 2:	
BAM-Ergebnisse	
Verteilungsfunktionen	
DIN 52292 T 2	55...114
DIN 52303	115...154
300/250/100	155...194
DIN 52292 T 2	195...198
ausgew. Weibullfunktionen	

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMBADA

Ausgleich mit Normalverteilung

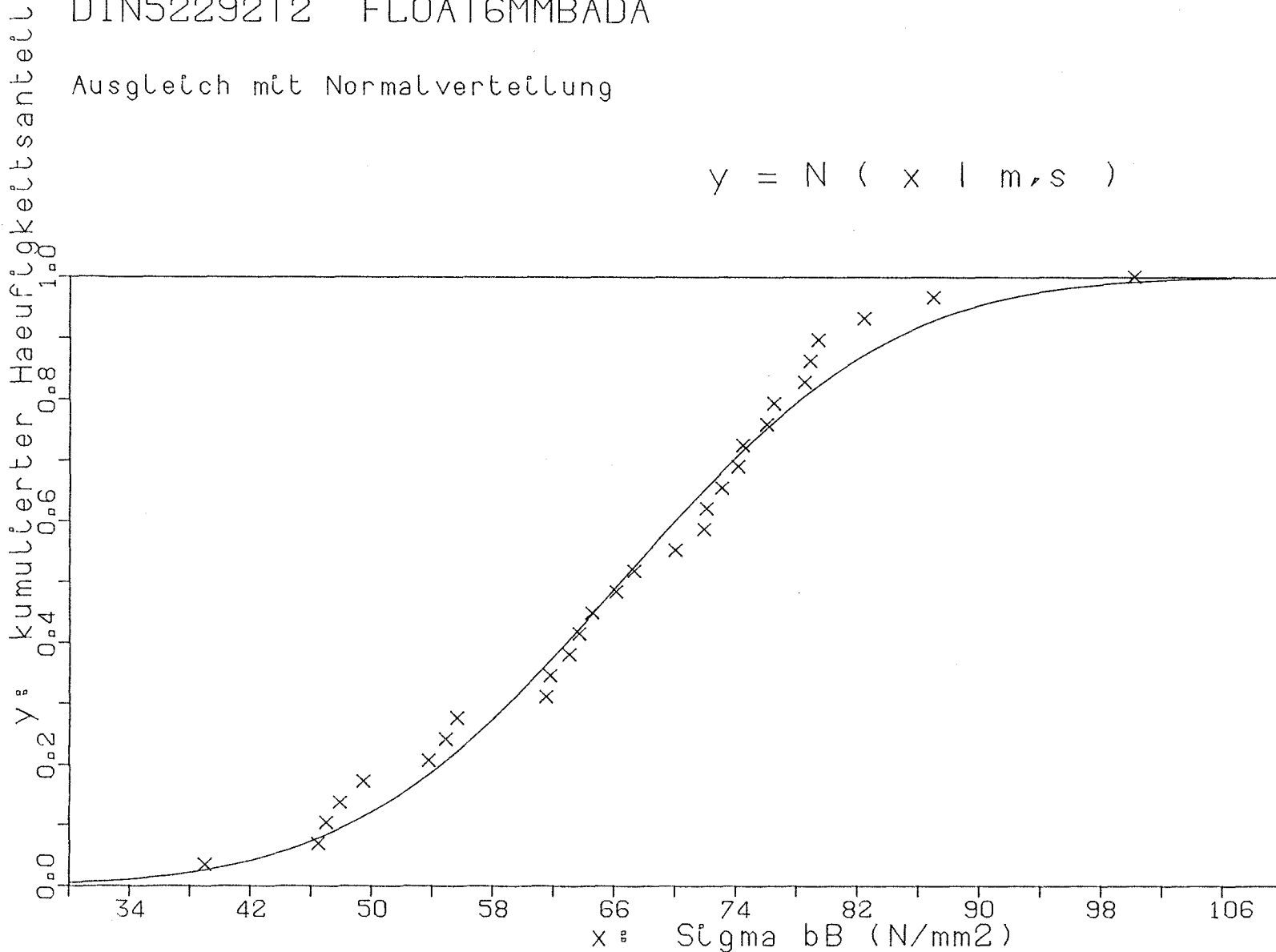
$$y = N(x | m, s)$$

Mittelwert (m) 66.397
Standardabw.(s) 14.088

Summe Abst. quad. 0.038
mittlerer Fehler 0.037

Korrelationskoeff. 0.992
Bestimmtheitsmass 0.984

Mittelwert 66.77
50%-Wert 66.40
5%-Wert 43.22
1%-Wert 33.62
0,1%-Wert 22.86



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMBADA

Ausgleich mit Log. Normalverteilung

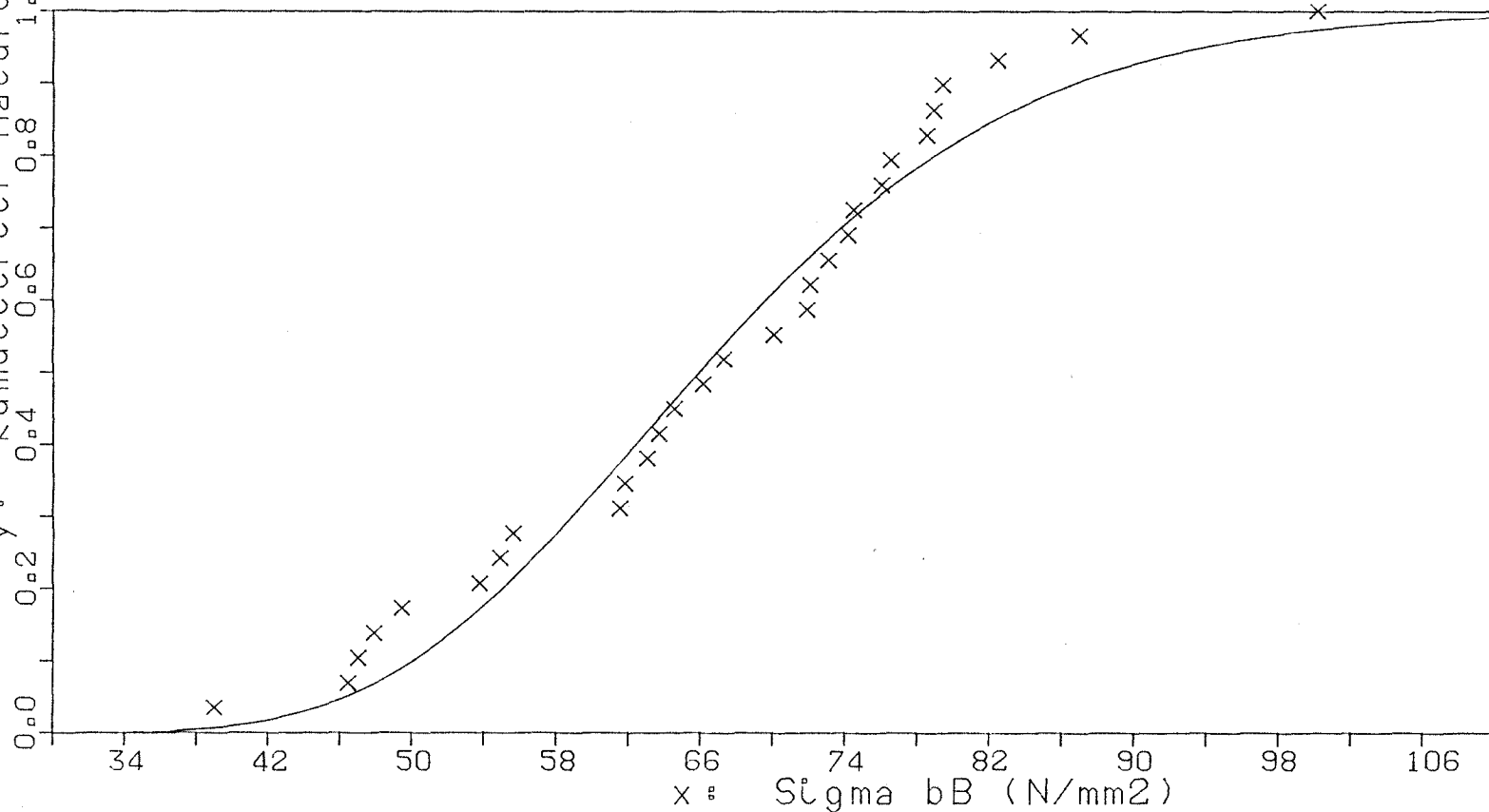
$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 1.819
Standardabw. (s) 0.093

Summe Abst. quad. 0.067
mittlerer Fehler 0.049

Korrelationskoeff. 0.986
Bestimmtheitsmass 0.972

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert 66.77
50%-Wert 65.87
5%-Wert 46.24
1%-Wert 39.93
0,1%-Wert 33.88

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMBADA

Ausgleich mit Weibullverteilung

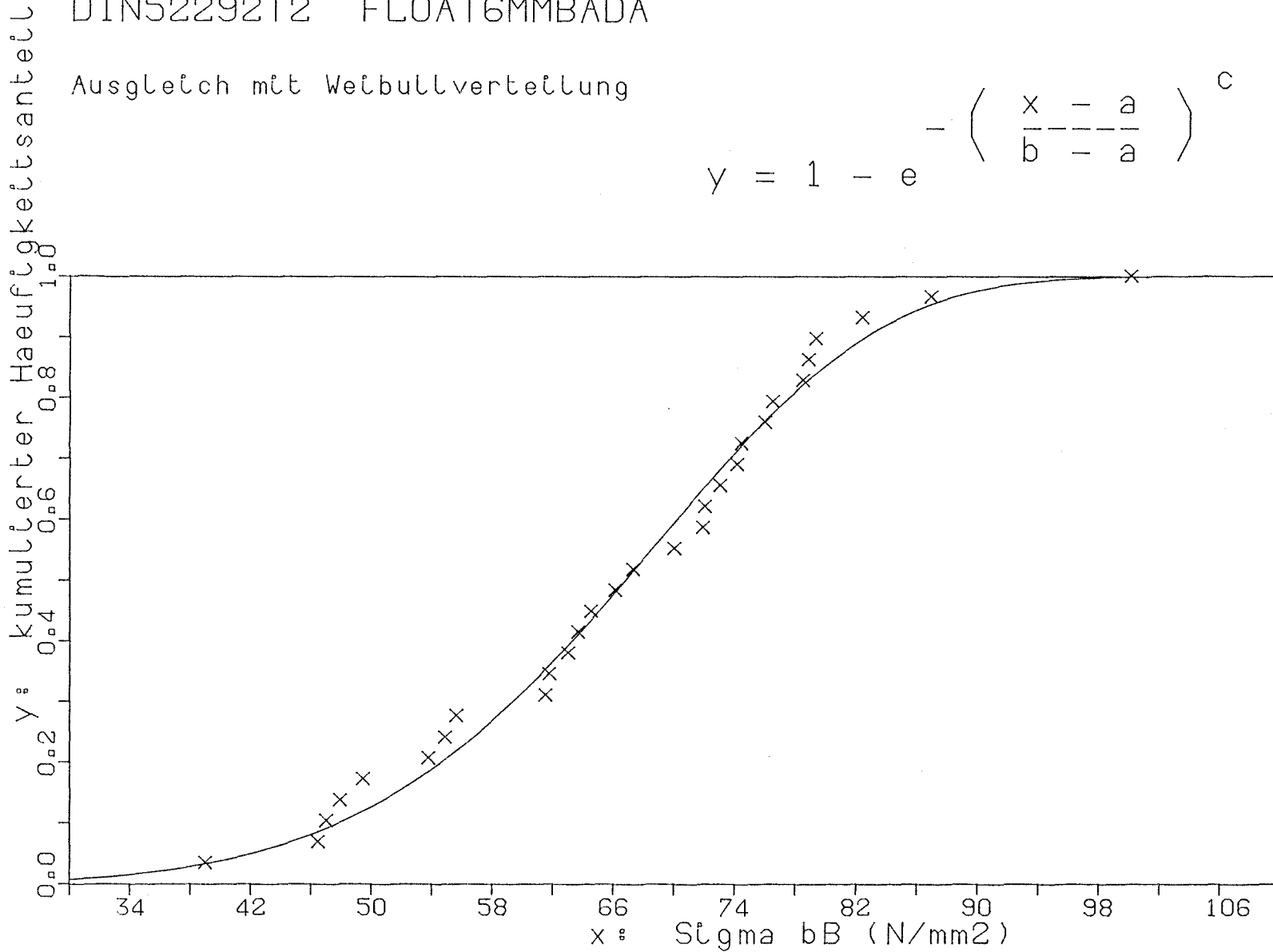
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c}$$

Verschlebung (a) 0.000
 Verzerrung (b) 71.319
 Exponent (c) 5.628

Summe Abst. quad. 0.026
 mittlerer Fehler 0.031

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.989

Mittelwert 66.77
 50%-Wert 66.82
 5%-Wert 42.07
 1%-Wert 31.50
 0,1%-Wert 20.90



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMBADA

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

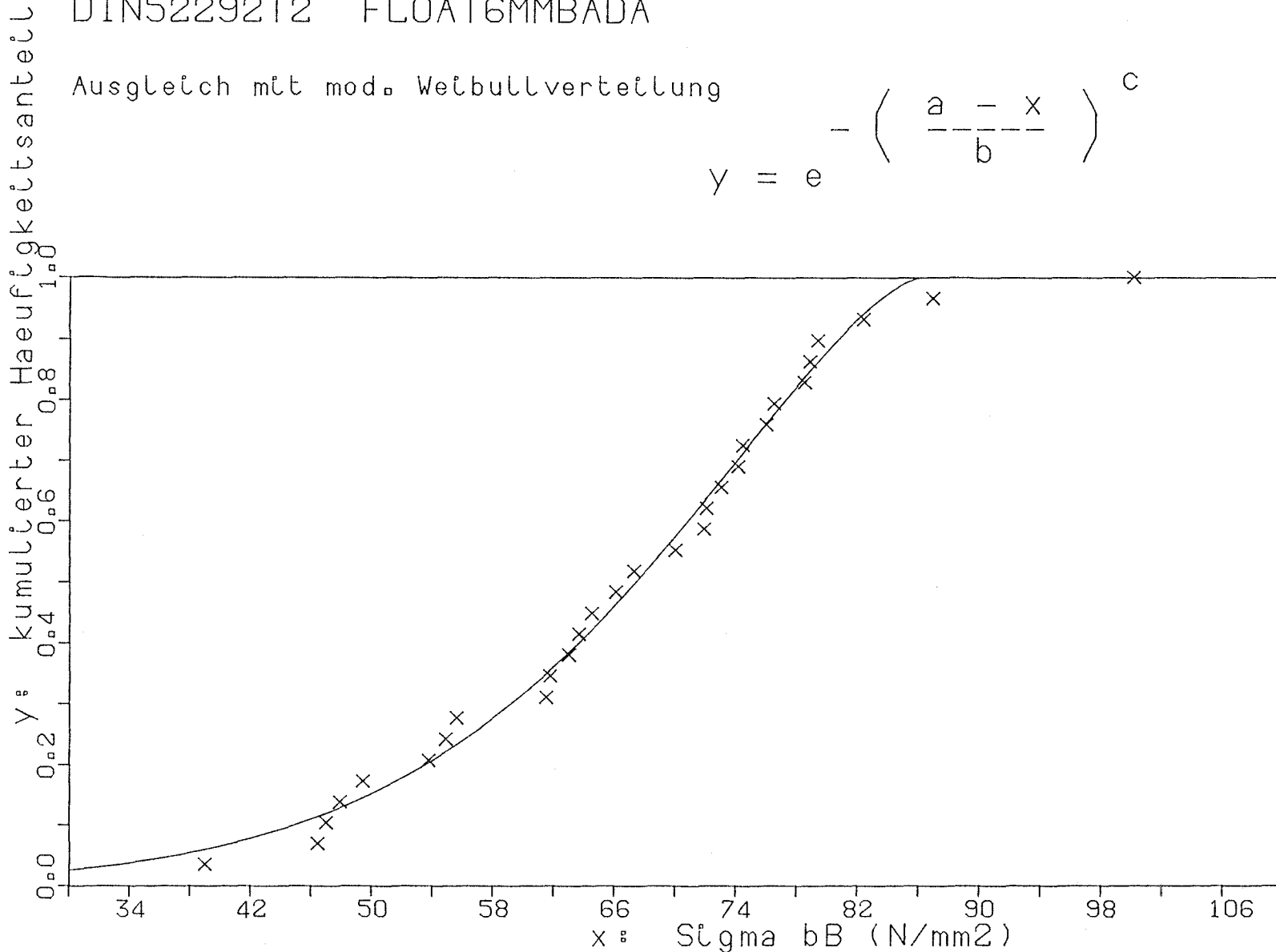
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 86.247
 Verzerrung (b) 23.943
 Exponent (c) 1.524

Summe Abst. quad. 0.016
 mittlerer Fehler 0.024

Korrelationskoeff. 0.997
 Bestimmtheitsmass 0.993

Mittelwert 66.77
 50%-Wert 67.42
 5%-Wert 37.05
 1%-Wert 21.01
 0.1%-Wert 1.12



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMBADA

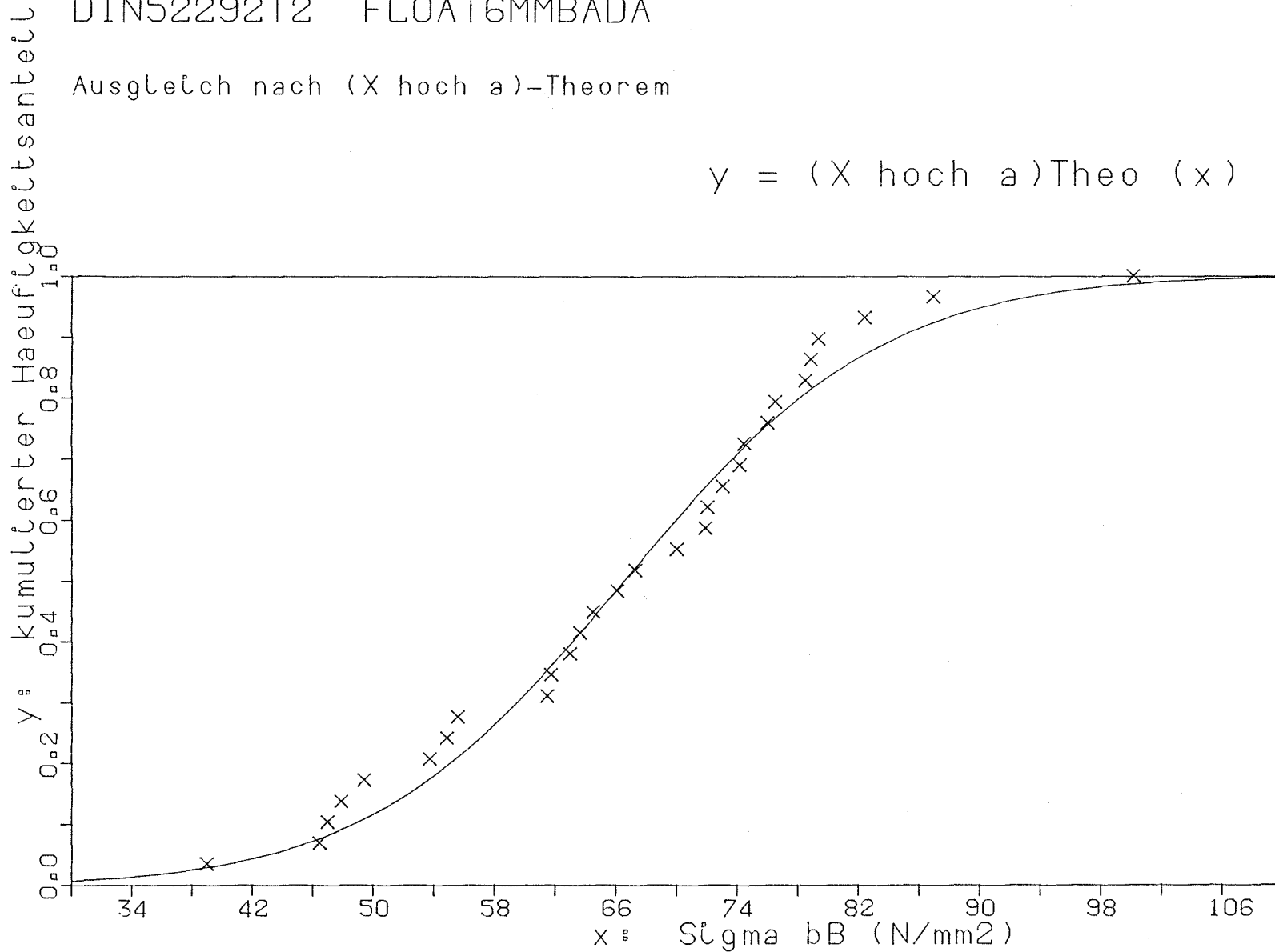
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(x _u)	0.001
X mittel	(x _m)	66.536
X oben	(x _o)	135.387
Exponent	(a)	4.028

Summe Abst. quad. 0.040
mittlerer Fehler 0.038

Korrelationskoeff. 0.992
Bestimmtheitsmass 0.983

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



Mittelwert	66.77
50%-Wert	66.54
5%-Wert	42.99
1%-Wert	31.94
0,1%-Wert	20.06

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMLUFTA

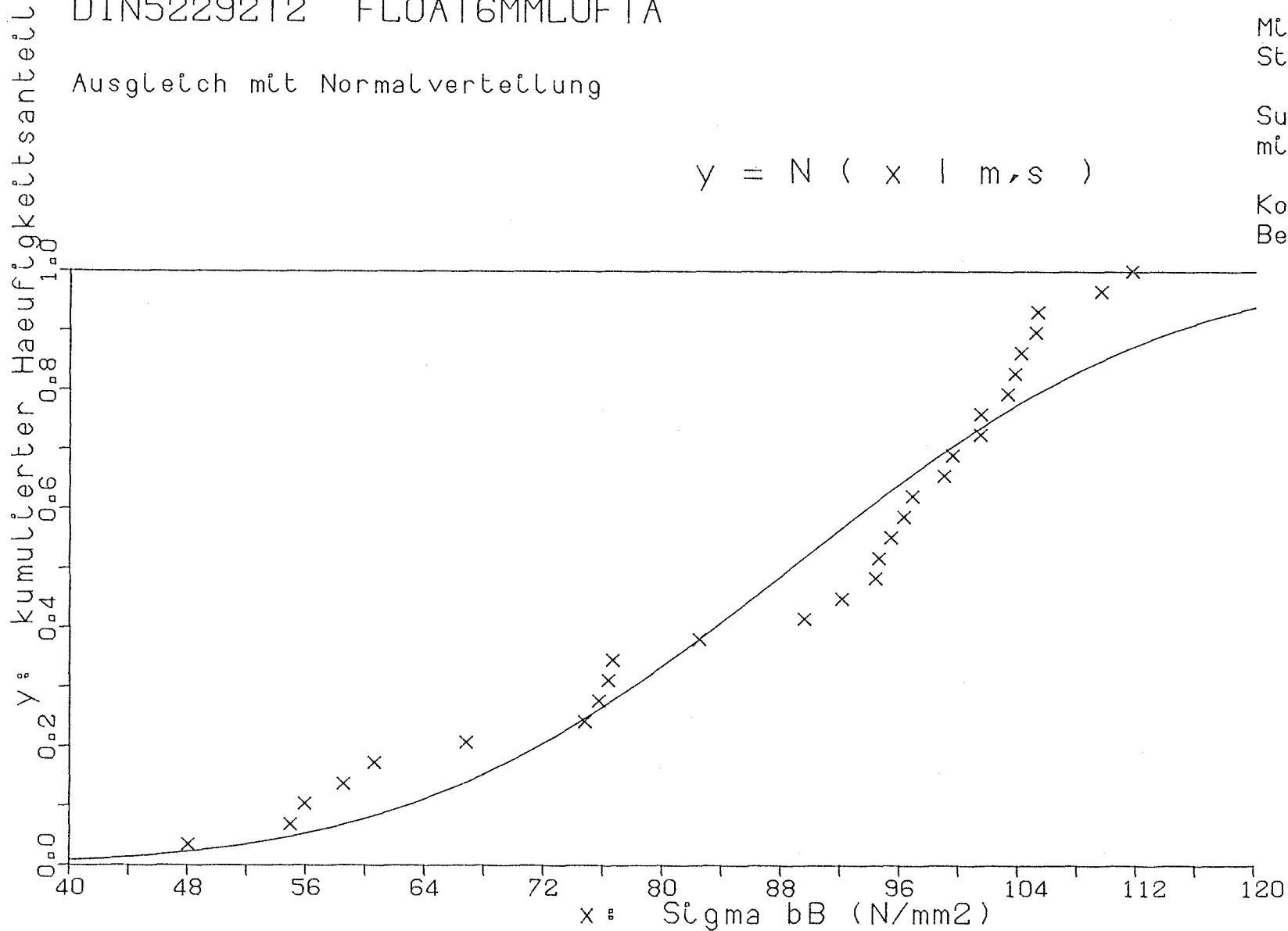
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N (x \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 88.657
Standardabw.(s) 20.240

Summe Abst. quad. 0.162
mittlerer Fehler 0.076

Korrelationskoeff. 0.966
Bestimmtheitsmass 0.933



Mittelwert 87.40
50%-Wert 88.66
5%-Wert 55.36
1%-Wert 41.56
0,1%-Wert 26.10

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMLUFTA

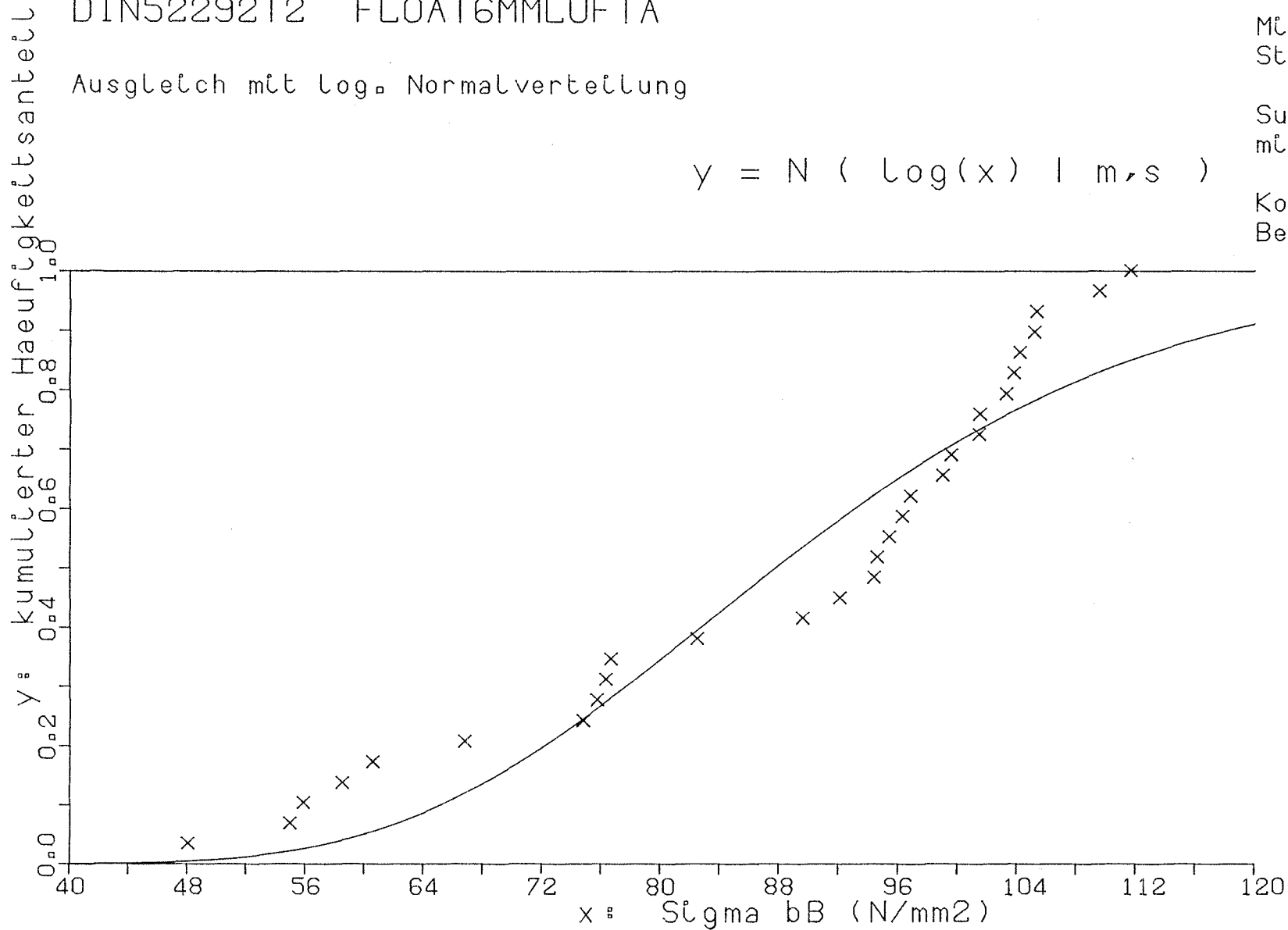
Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N (\text{Log}(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 1.943
Standardabw. (s) 0.101

Summe Abst. quad. 0.216
mittlerer Fehler 0.088

Korrelationskoeff. 0.954
Bestimmtheitsmass 0.910



Mittelwert 87.40
50%-Wert 87.78
5%-Wert 59.87
1%-Wert 51.09
0,1%-Wert 42.77

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMLUFTA

Ausgleich mit Weibullverteilung

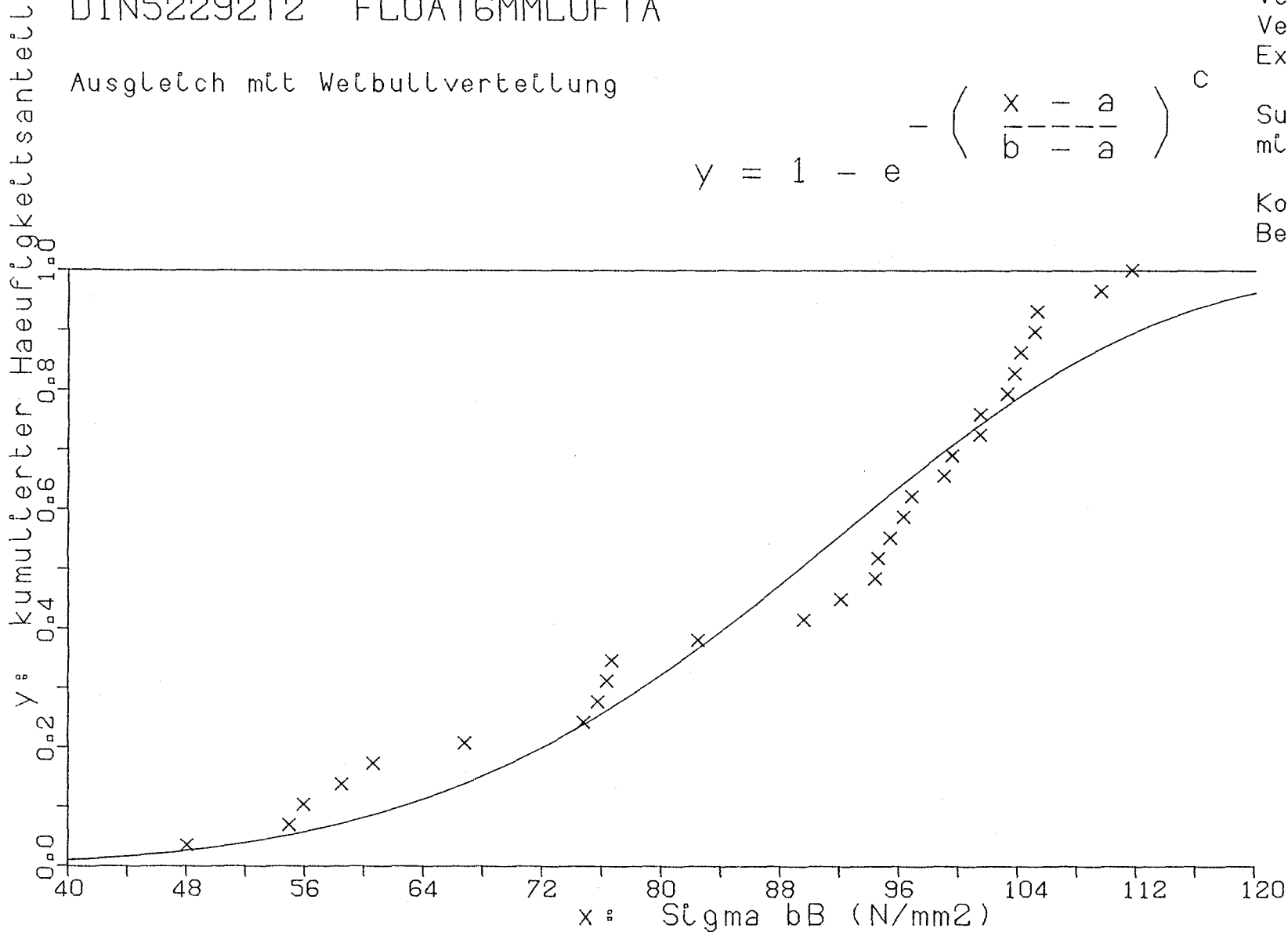
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x - a}{b - a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 0.000
 Verzerrung (b) 95.774
 Exponent (c) 5.274

Summe Abst. quad. 0.135
 mittlerer Fehler 0.069

Korrelationskoeff. 0.972
 Bestimmtheitsmass 0.944

Mittelwert 87.40
 50%-Wert 89.34
 5%-Wert 54.53
 1%-Wert 40.04
 0,1%-Wert 25.85



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMLUFTA

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

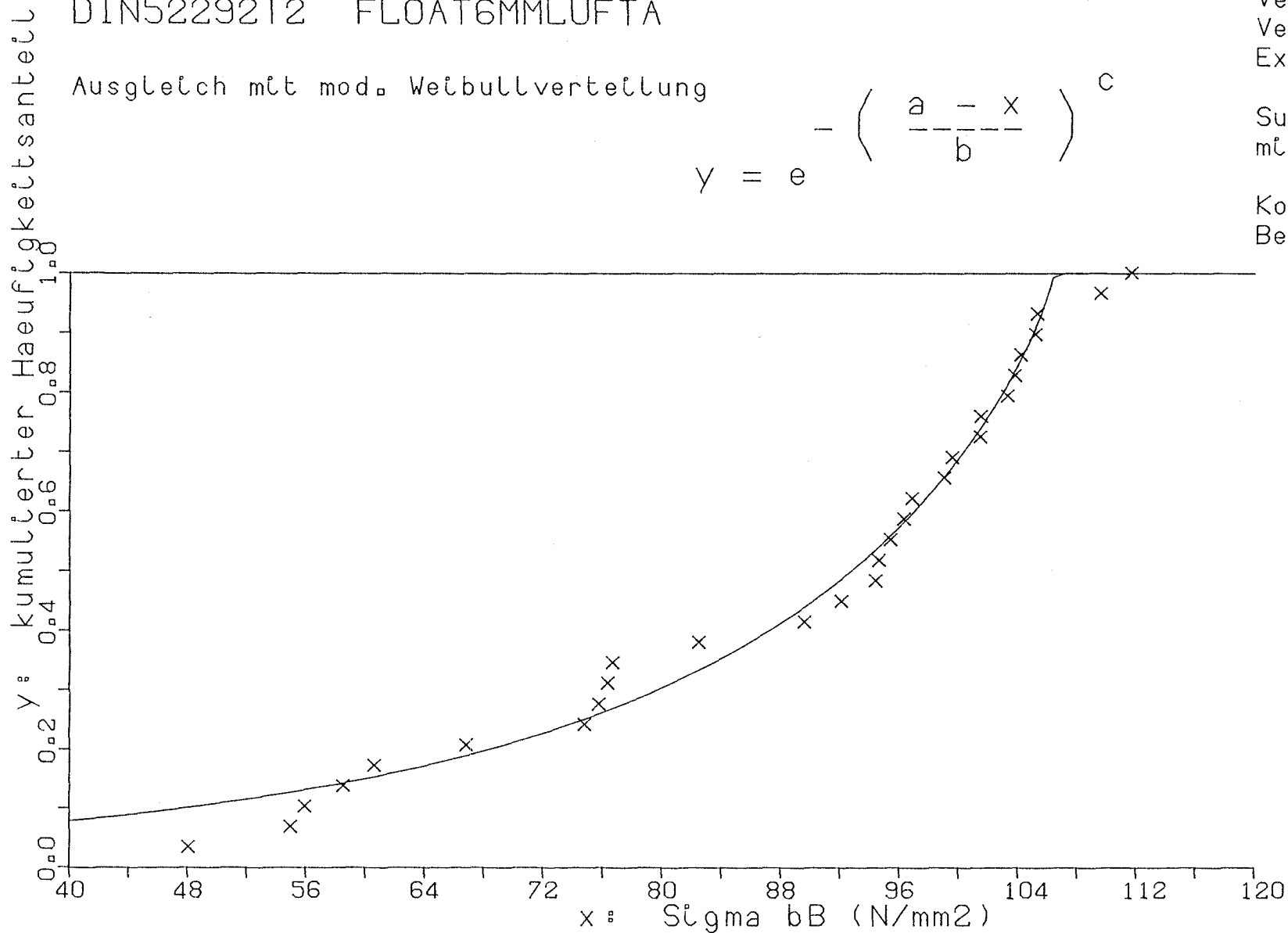
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 106.453
 Verzerrung (b) 21.310
 Exponent (c) 0.822

Summe Abst. quad. 0.029
 mittlerer Fehler 0.032

Korrelationskoeff. 0.994
 Bestimmtheitsmass 0.988

Mittelwert 87.40
 50%-Wert 92.81
 5%-Wert 25.47
 1%-Wert -30.20
 0,1%-Wert -117.35



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMLUFTA

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

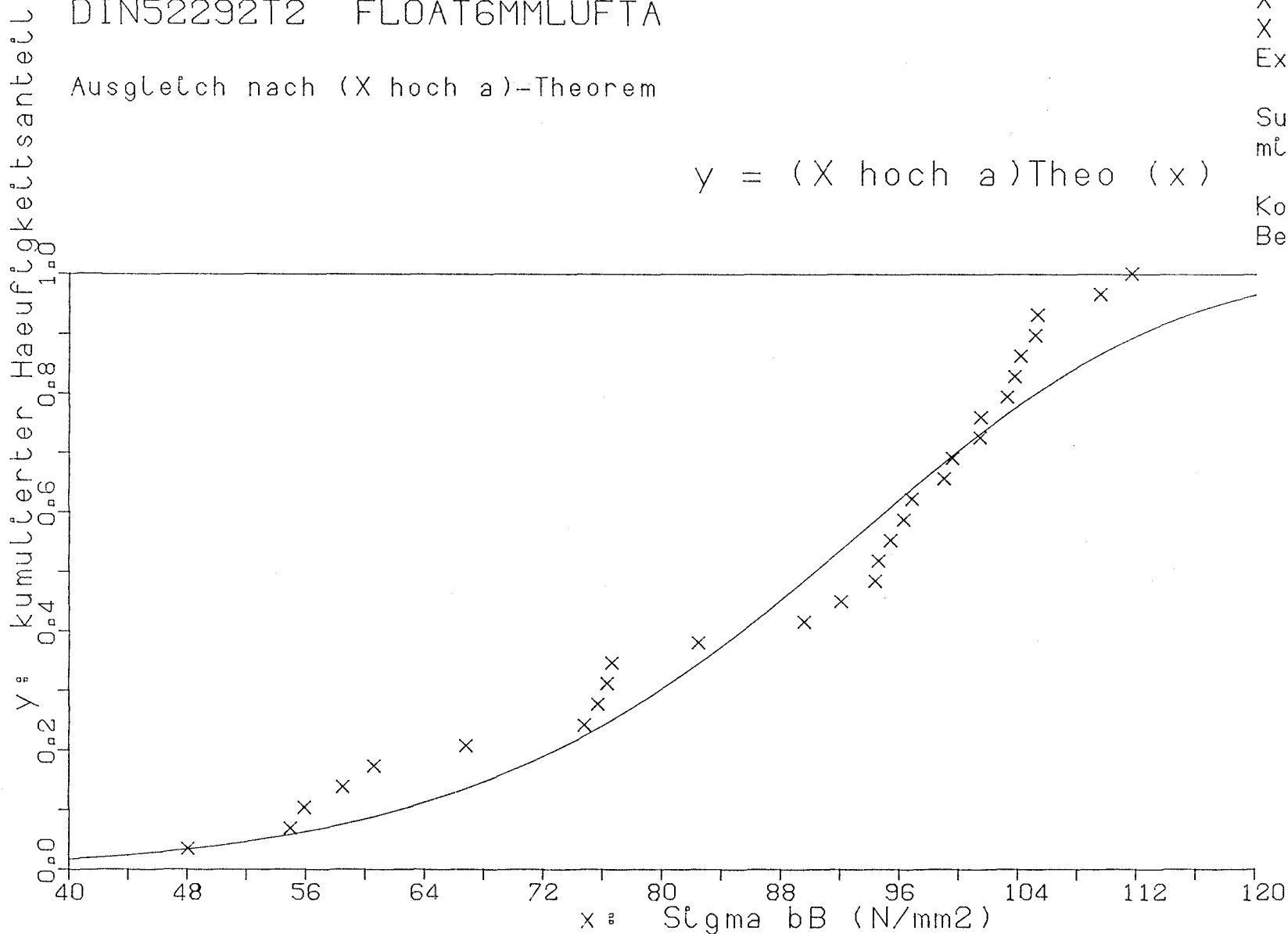
$$y = (X \text{ hoch } a) \text{Theo } (x)$$

X unten	(x _u)	0.724
X mittel	(x _m)	90.356
X oben	(x _o)	137.940
Exponent	(a)	2.624

Summe Abst. quad.	0.127
mittlerer Fehler	0.067

Korrelationskoeff.	0.973
Bestimmtheitsmass	0.947

Mittelwert	87.40
50%-Wert	90.36
5%-Wert	52.89
1%-Wert	34.53
0,1%-Wert	17.10



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMBADB

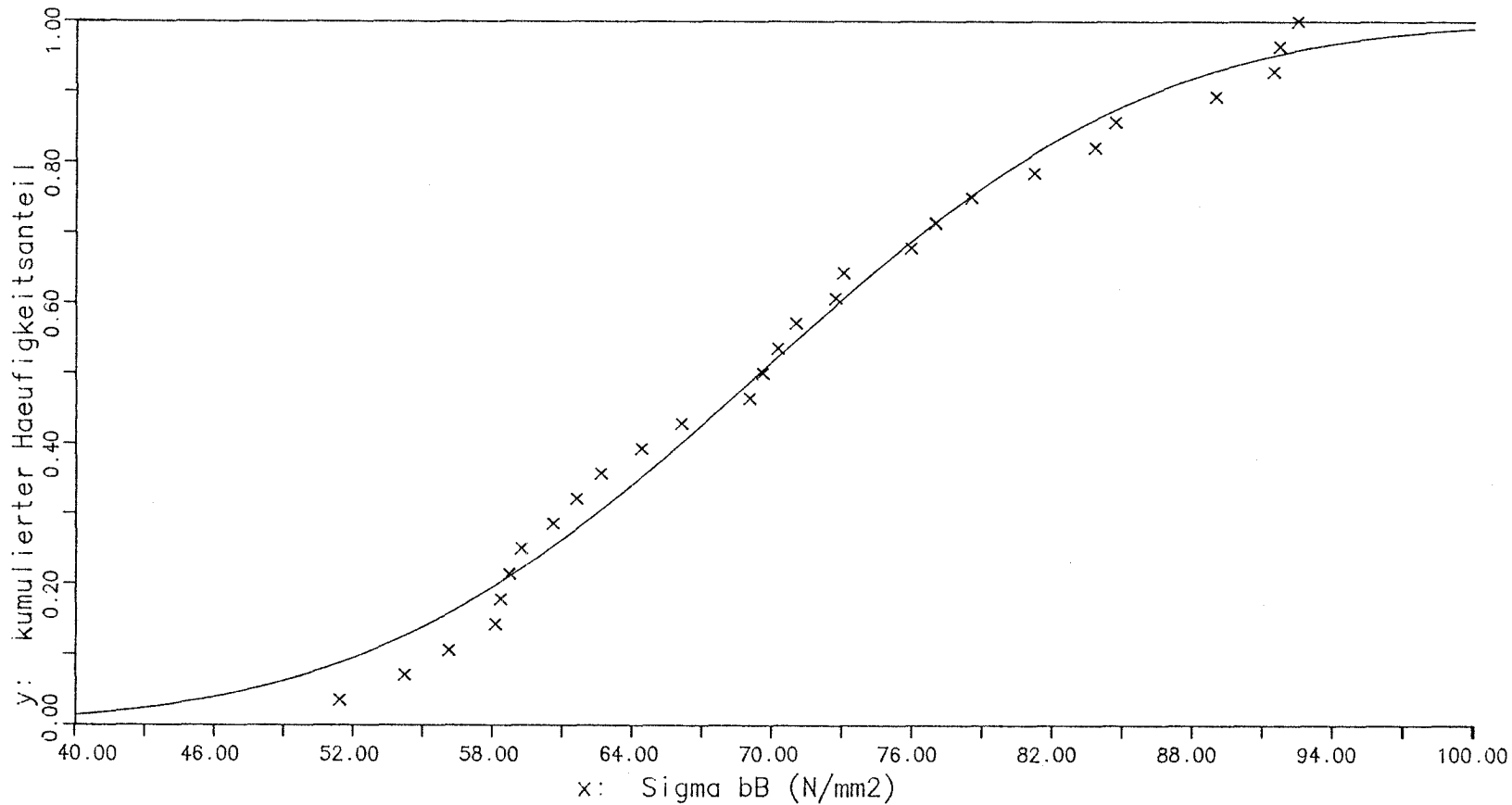
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N (x \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 69.336
Standardabw.(s) 13.329

Summe Abst.quad. 0.029
mittlerer Fehler 0.033

Korrelationskoeff. 0.993
Bestimmtheitsmass 0.987



Mittelwert 70.81
50%-Wert 69.33
5%-Wert 47.40
1%-Wert 38.32
0,1%-Wert 28.14

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMBADB

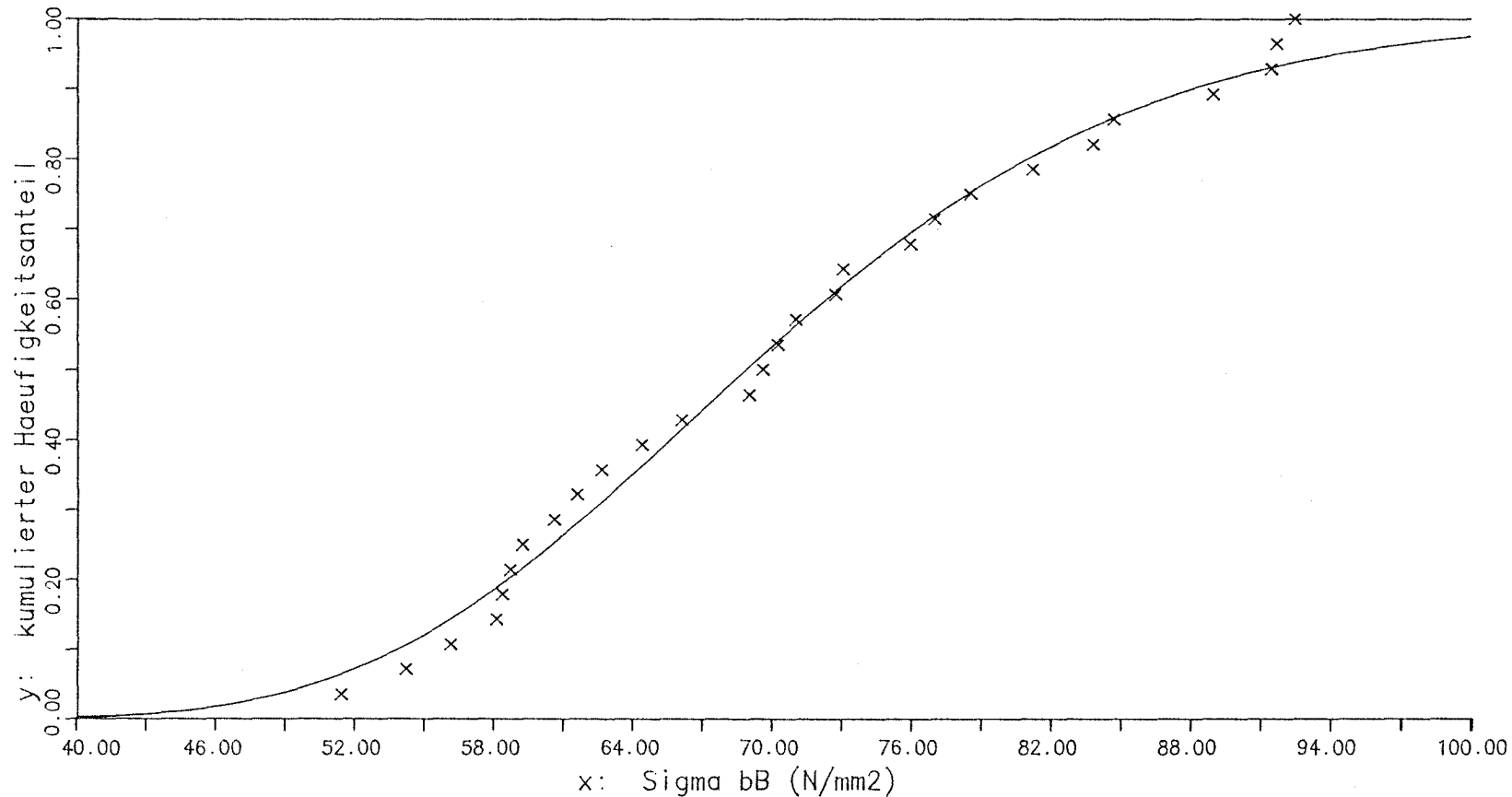
Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 1.837
Standardabw.(s) 0.083

Summe Abst.quad. 0.022
mittlerer Fehler 0.028

Korrelationskoeff. 0.995
Bestimmtheitsmass 0.990



Mittelwert 70.81
50%-Wert 68.83
5%-Wert 50.16
1%-Wert 44.00
0,1%-Wert 37.99

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMBADB

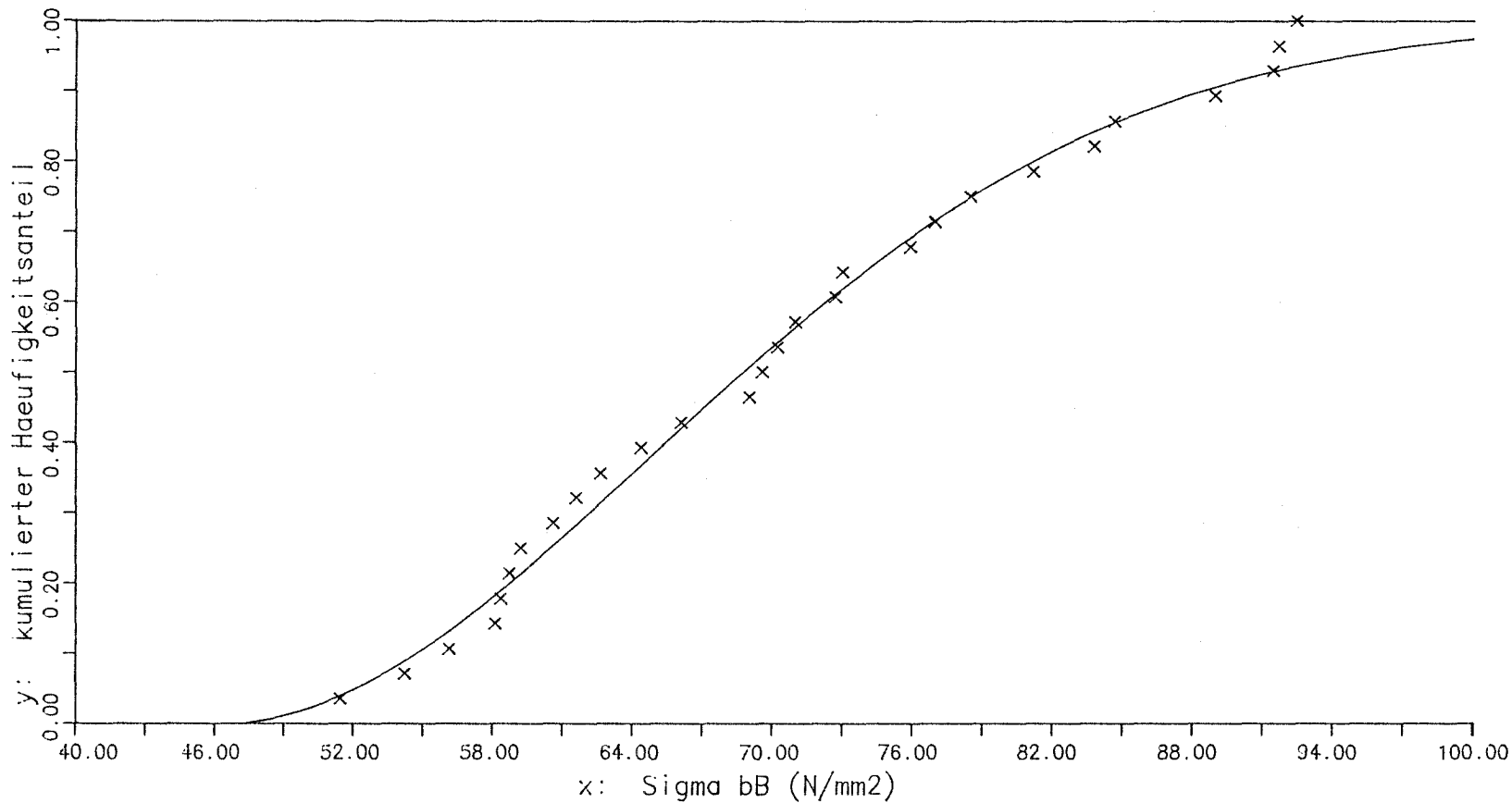
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 46.497
 Verzerrung (b) 73.405
 Exponent (c) 1.880

Summe Abst.quad. 0.018
 mittlerer Fehler 0.026

Korrelationskoeff. 0.996
 Bestimmtheitsmass 0.992



Mittelwert 70.81
 50%-Wert 68.64
 5%-Wert 52.04
 1%-Wert 48.82
 0,1%-Wert 47.18

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMBADB

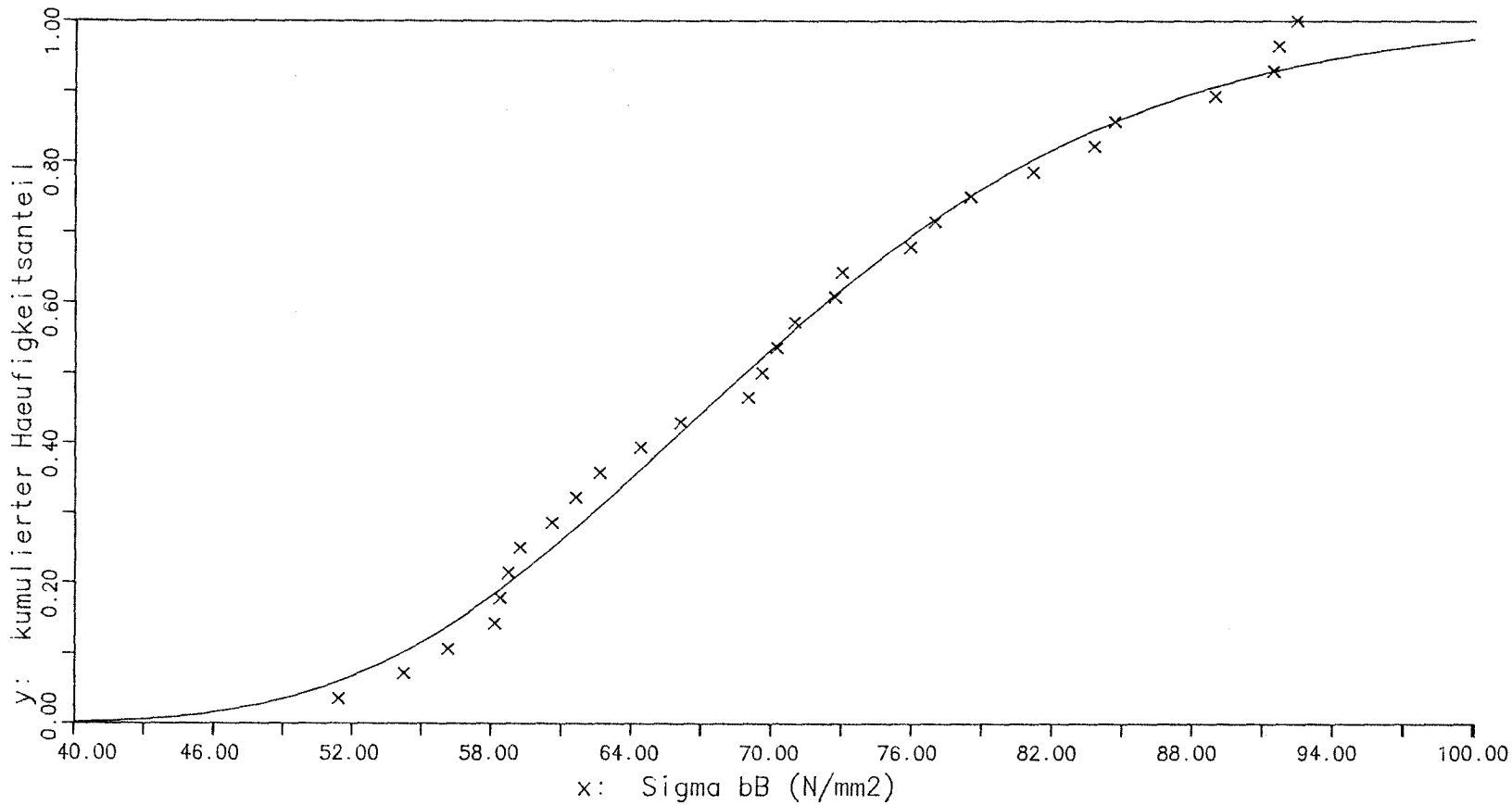
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 171.211
 Verzerrung (b) 106.756
 Exponent (c) 8.919

Summe Abst. quad. 0.021
 mittlerer Fehler 0.028

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.990



Mittelwert 70.81
 50%-Wert 68.75
 5%-Wert 50.48
 1%-Wert 44.51
 0,1%-Wert 38.62

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMBADB

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

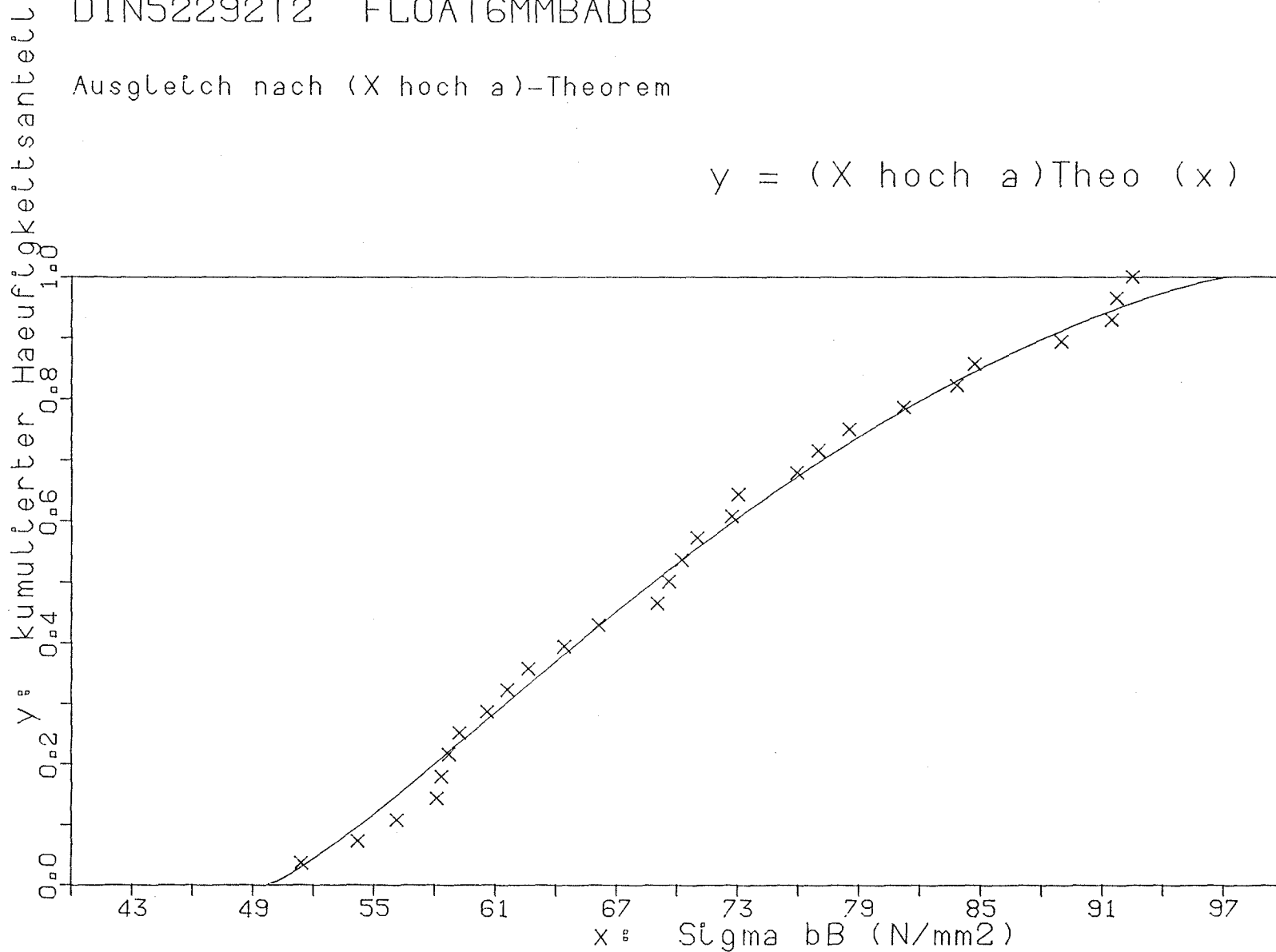
X unten	(x _u)	49.777
X mittel	(x _m)	68.831
X oben	(x _o)	97.175
Exponent	(a)	1.189

Summe Abst. quad. 0.016
mittlerer Fehler 0.025

Korrelationskoeff. 0.997
Bestimmtheitsmass 0.993

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

Mittelwert	70.82
50%-Wert	68.83
5%-Wert	52.31
1%-Wert	50.44
0.1%-Wert	49.87



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMLUFTB

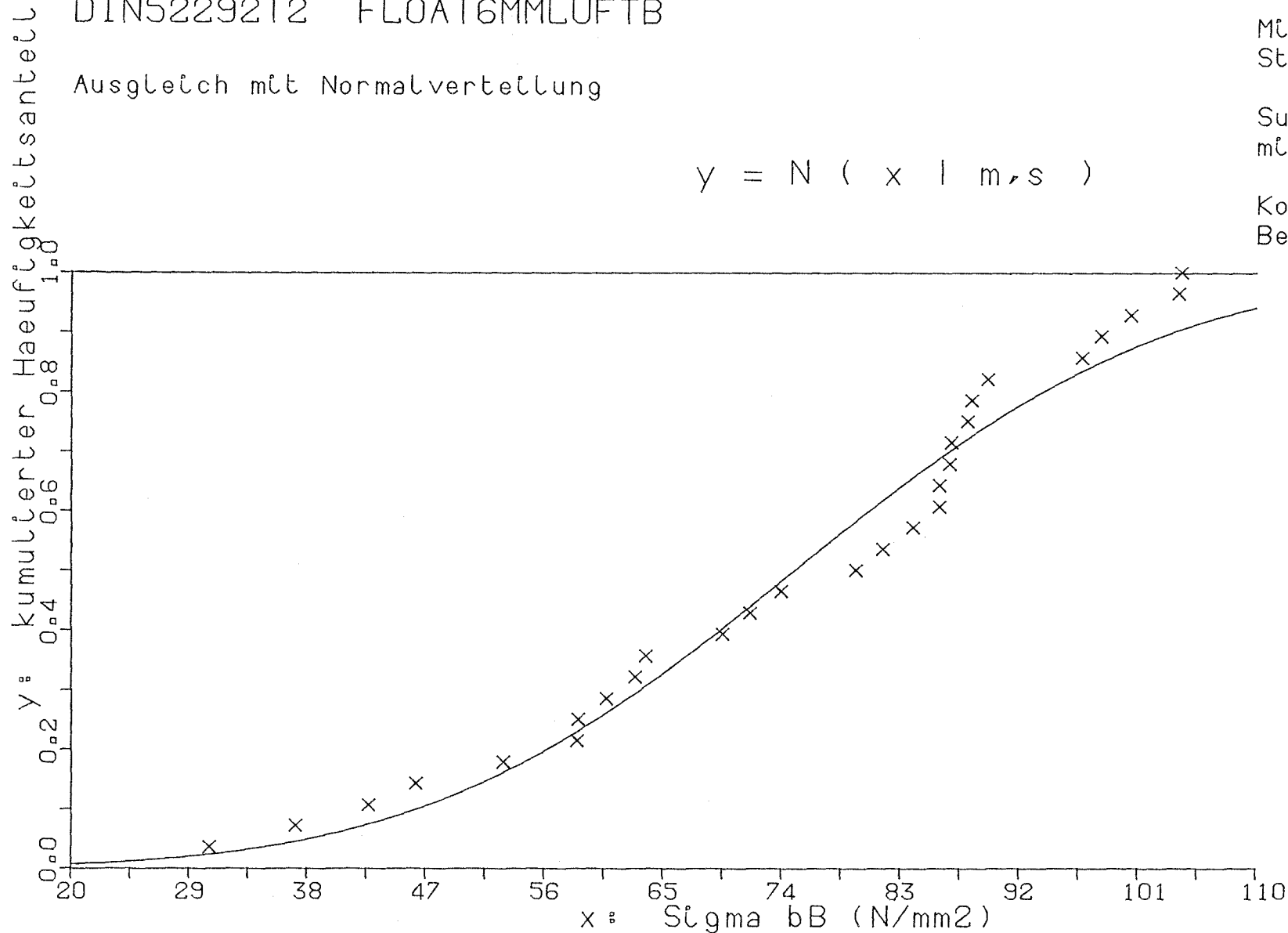
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N (x \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 74.986
Standardabw.(s) 22.379

Summe Abst. quad. 0.067
mittlerer Fehler 0.050

Korrelationskoeff. 0.985
Bestimmtheitsmass 0.971



Mittelwert 74.68
50%-Wert 74.99
5%-Wert 38.17
1%-Wert 22.92
0,1%-Wert 5.82

Anlage 70

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMLUFTB

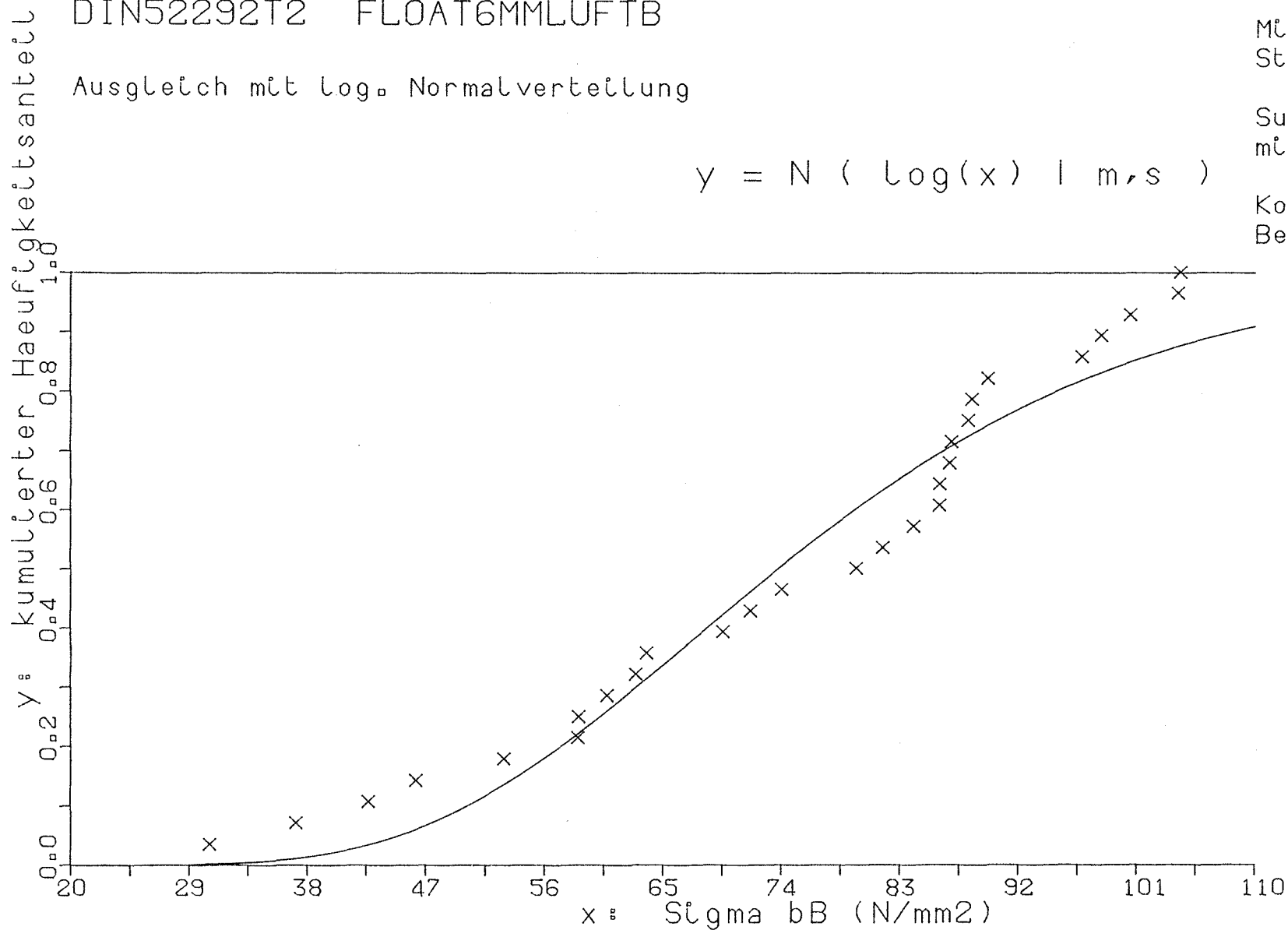
Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 1.868
Standardabw.(s) 0.130

Summe Abst. quad. 0.112
mittlerer Fehler 0.065

Korrelationskoeff. 0.976
Bestimmtheitsmass 0.952

$$y = N (\text{Log}(x) \mid m, s)$$



Mittelwert 74.68
50%-Wert 73.76
5%-Wert 45.02
1%-Wert 36.69
0,1%-Wert 29.18

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMLUFTB

Ausgleich mit Weibullverteilung

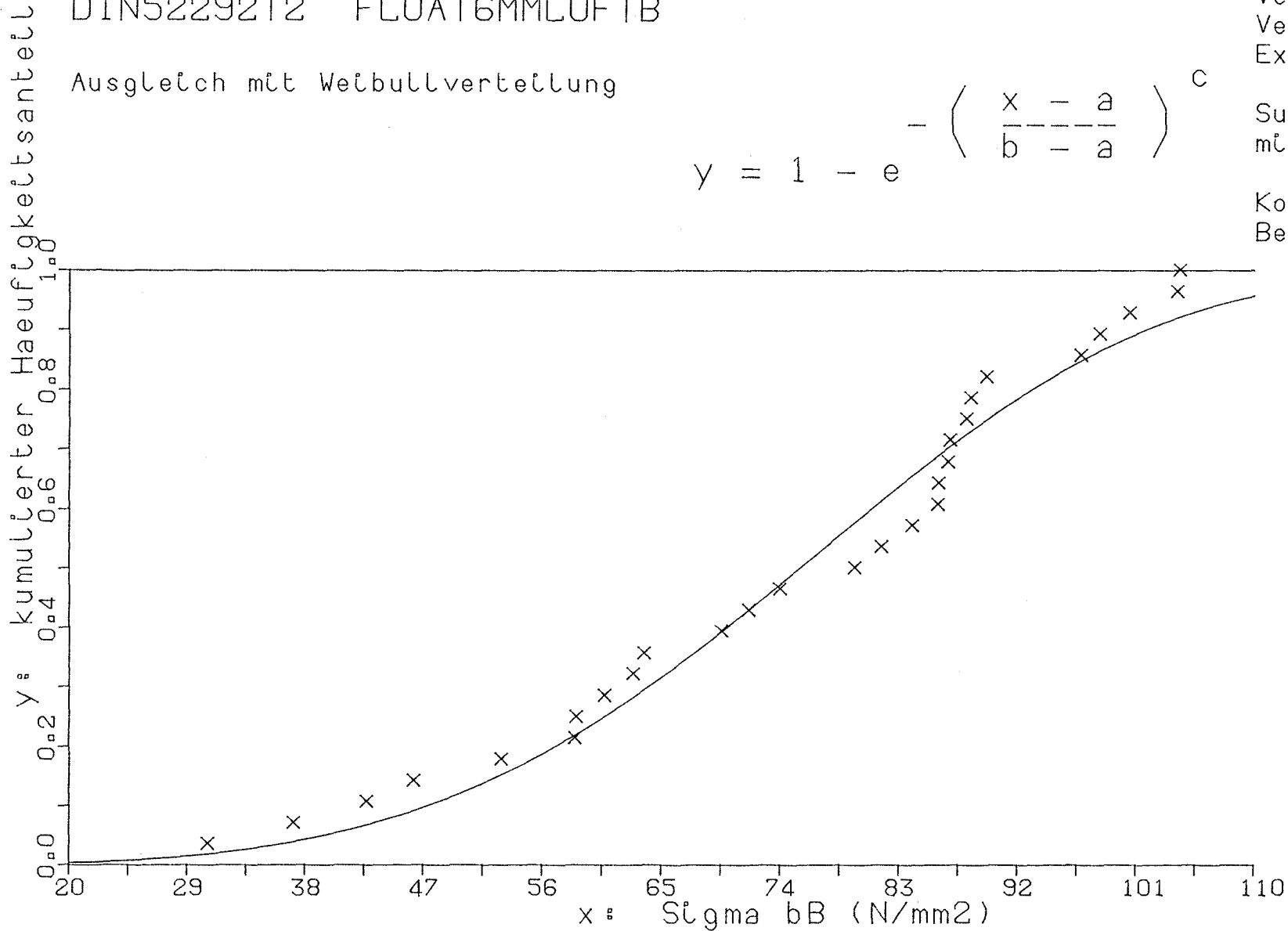
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x - a}{b - a}\right)^c}$$

Verschlebung (a) 0.001
 Verzerrung (b) 82.763
 Exponent (c) 4.021

Summe Abst. quad. 0.062
 mittlerer Fehler 0.048

Korrelationskoeff. 0.987
 Bestimmtheitsmass 0.974

Mittelwert 74.68
 50%-Wert 75.55
 5%-Wert 39.54
 1%-Wert 26.36
 0.1%-Wert 14.85



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMLUFTB

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

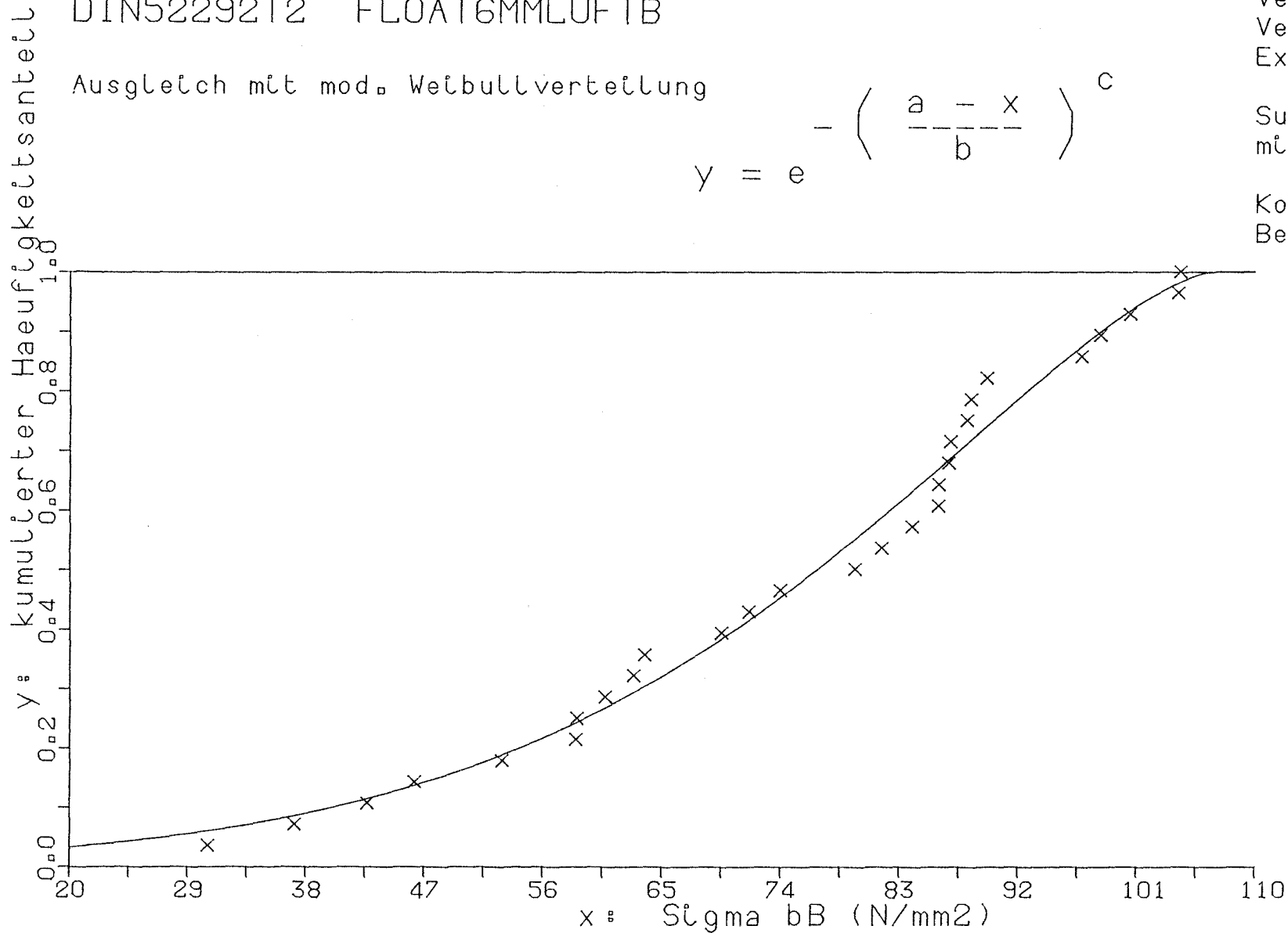
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 106.954
 Verzerrung (b) 38.477
 Exponent (c) 1.503

Summe Abst. quad. 0.034
 mittlerer Fehler 0.036

Korrelationskoeff. 0.993
 Bestimmtheitsmass 0.985

Mittelwert 74.68
 50%-Wert 76.80
 5%-Wert 27.12
 1%-Wert 0.69
 0.1%-Wert -32.21



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT6MMLUFTB

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

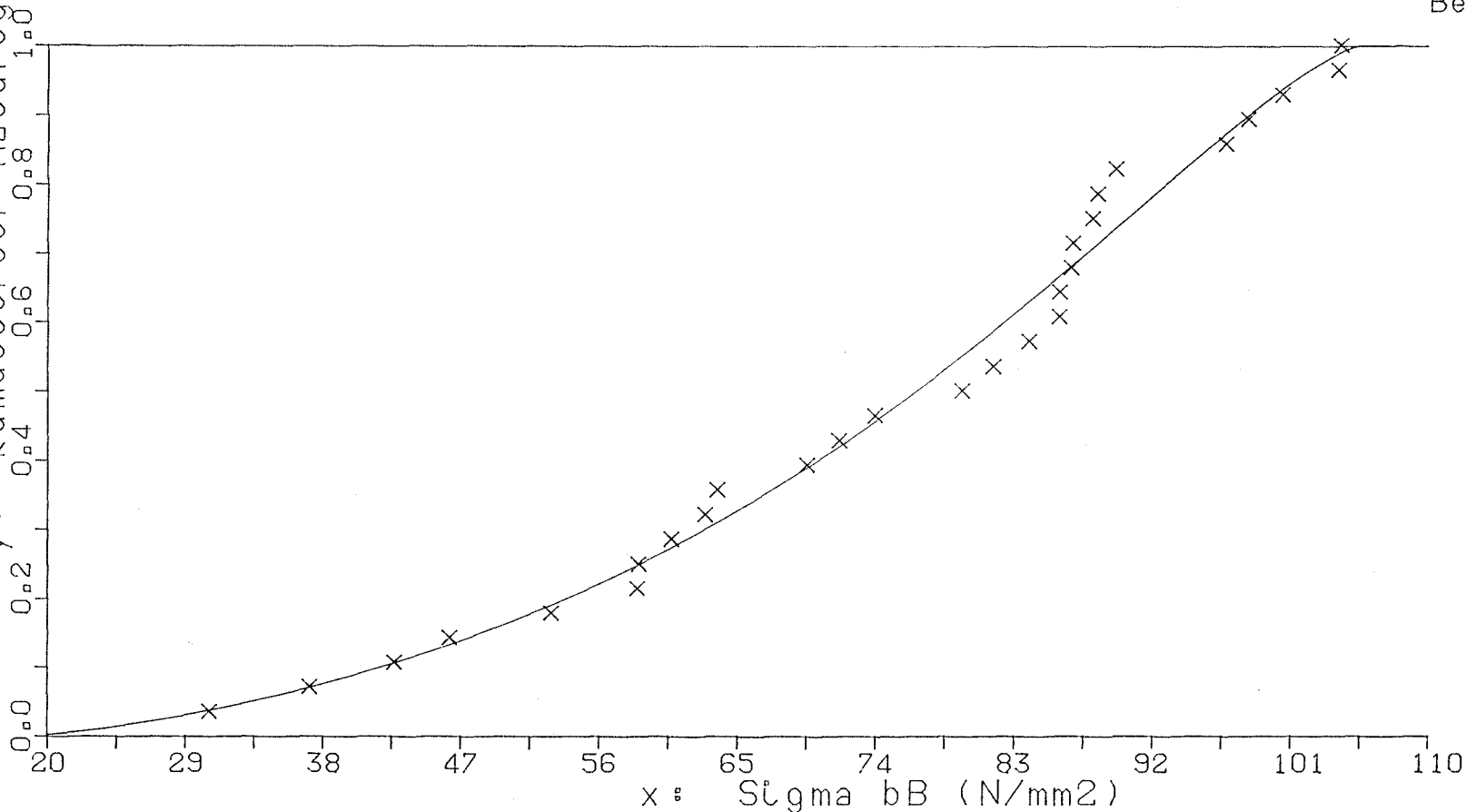
$$y = (X \text{ hoch } a) \text{Theo } (x)$$

X unten	(x _u)	18.381
X mittel	(x _m)	76.649
X oben	(x _o)	105.465
Exponent	(a)	1.284

Summe Abst. quad.	0.033
mittlerer Fehler	0.035

Korrelationskoeff.	0.993
Bestimmtheitsmass	0.986

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert	74.68
50%-Wert	76.65
5%-Wert	33.15
1%-Wert	23.04
0.1%-Wert	19.19

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

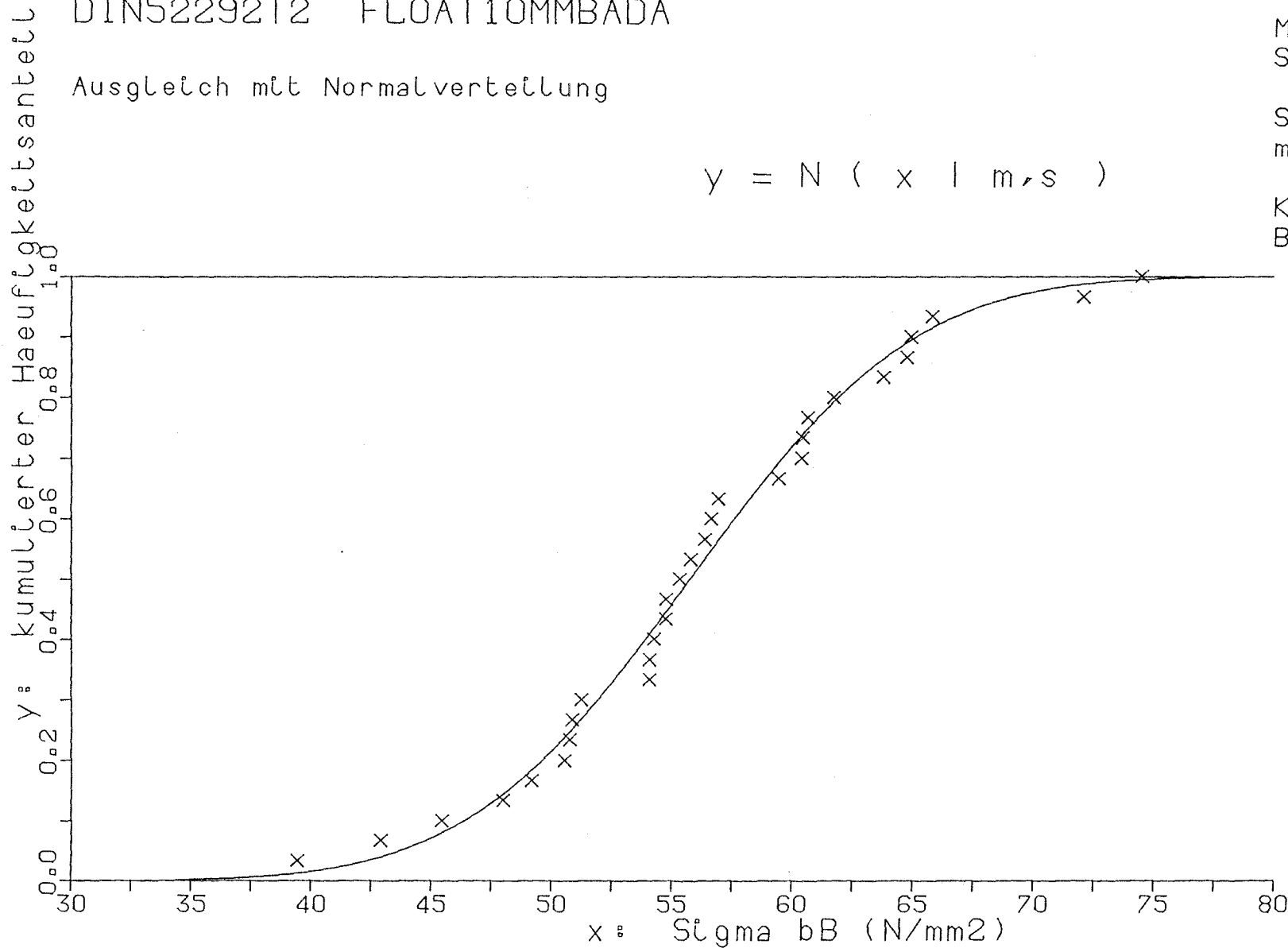
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$

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

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

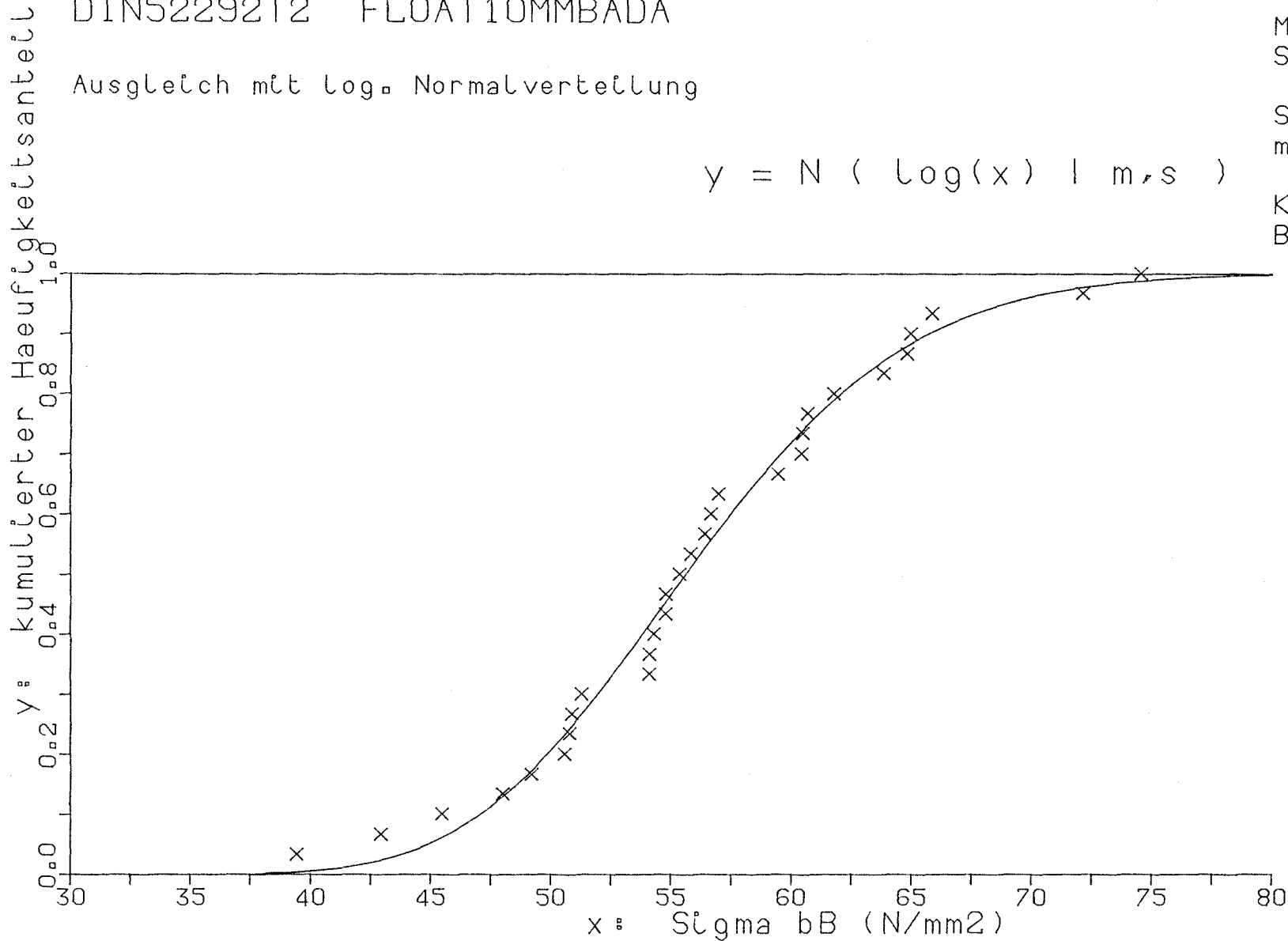
Ausgleich mit Log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 1.745
Standardabw.(s) 0.057

Summe Abst. quad. 0.029
mittlerer Fehler 0.032

Korrelationskoeff. 0.994
Bestimmtheitsmass 0.988

$$y = N (\log(x) | m, s)$$



Mittelwert 56.36
50%-Wert 55.62
5%-Wert 44.90
1%-Wert 41.09
0.1%-Wert 37.20

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

Ausgleich mit Weibullverteilung

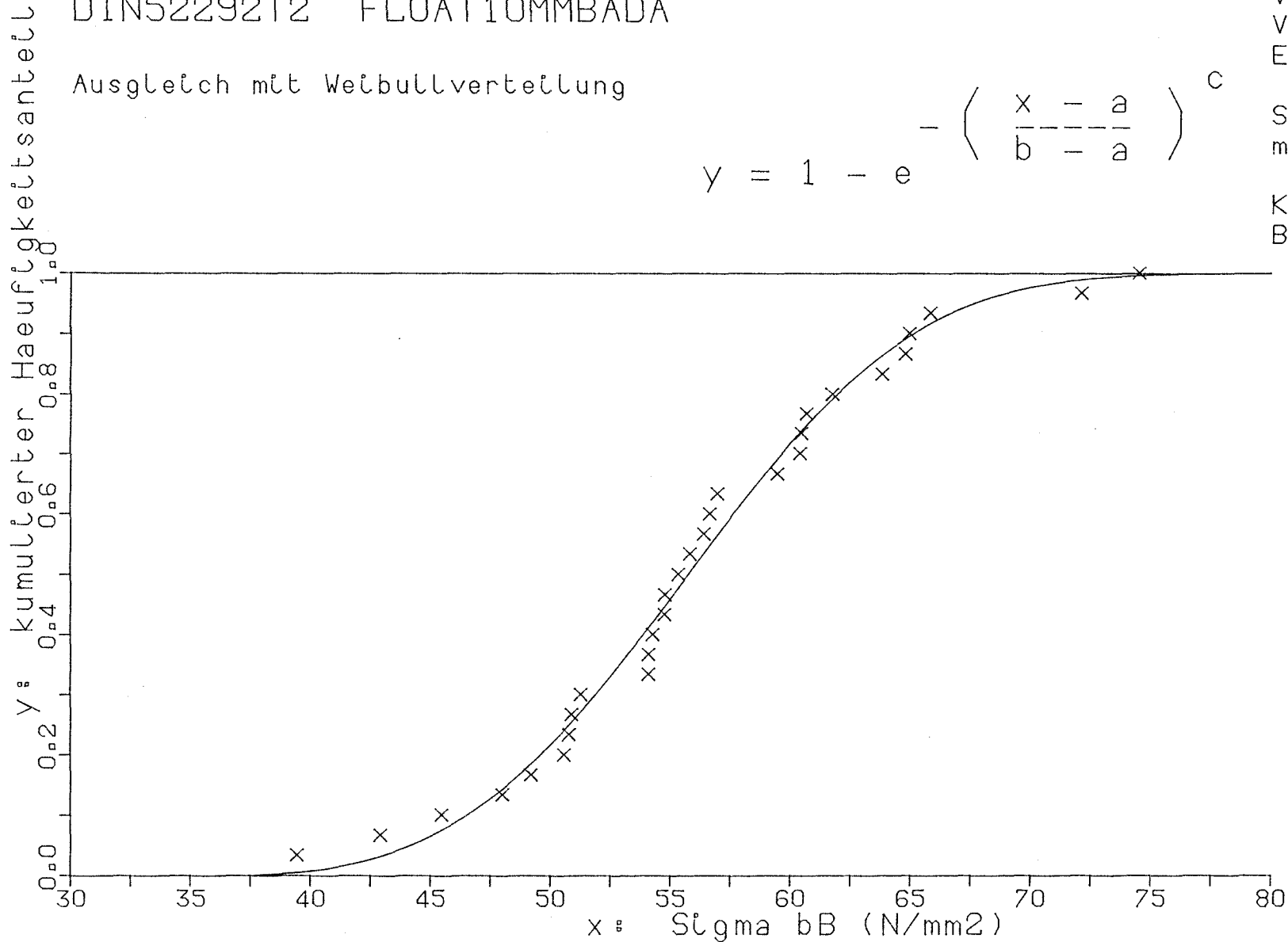
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c}$$

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



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

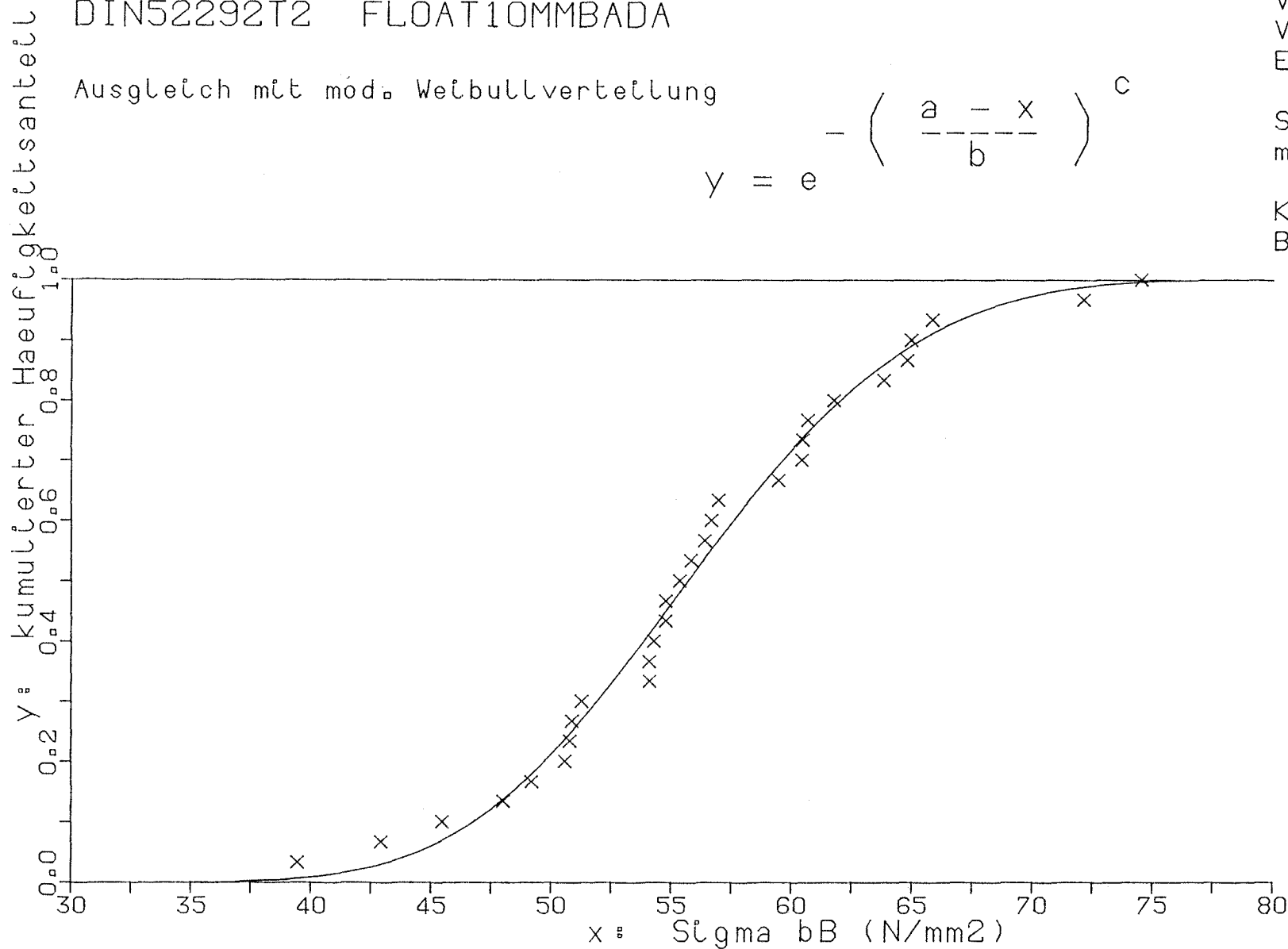
$$y = e - \left(\frac{a - x}{b} \right)^c$$

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



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADA

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	32.011
X mittel	(xm)	55.677
X oben	(xo)	85.316
Exponent	(a)	2.931

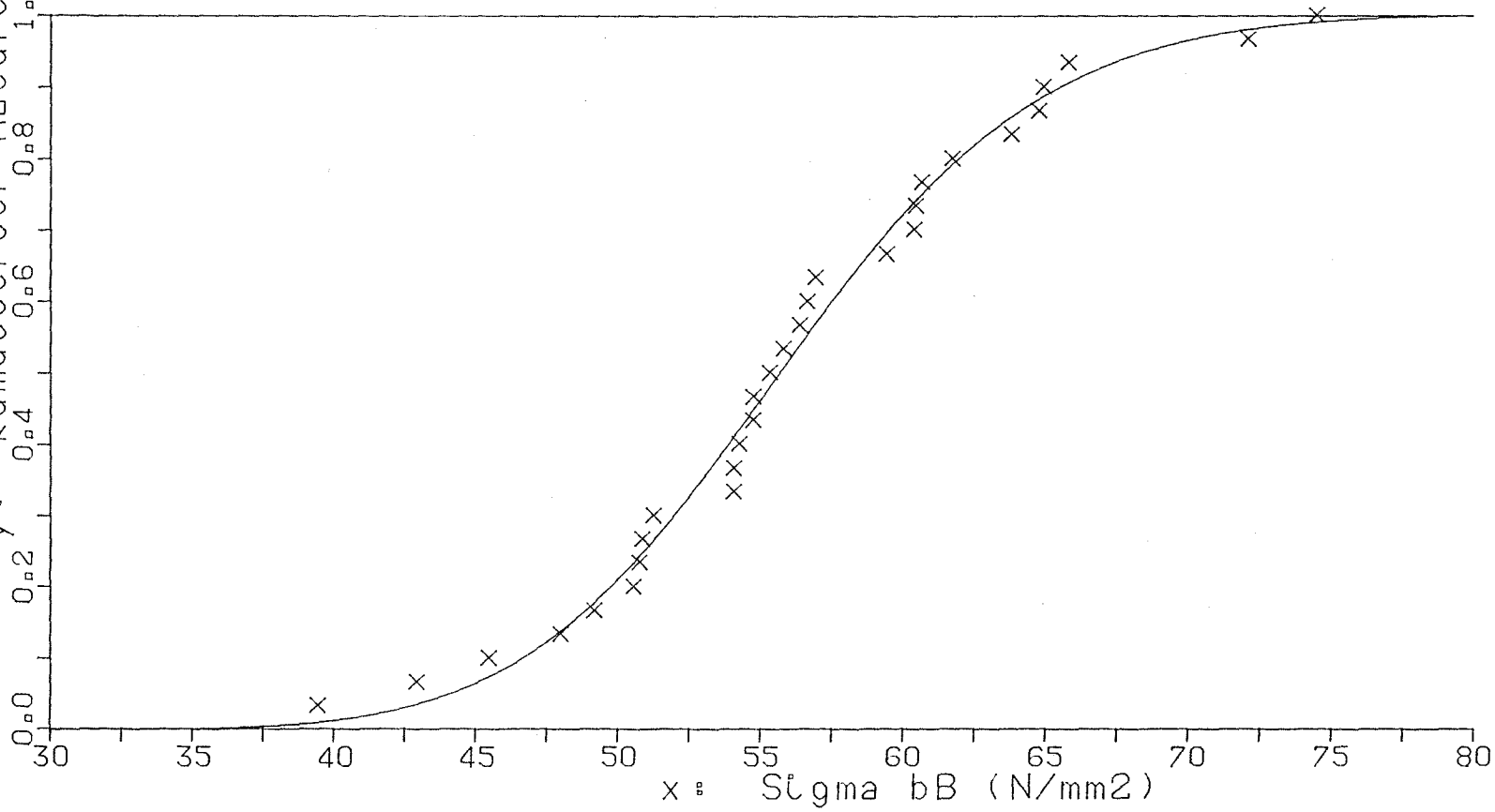
Summe Abst. quad.	0.027
mittlerer Fehler	0.031

Korrelationskoeff.	0.995
Bestimmtheitsmass	0.989

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

Mittelwert	56.36
50%-Wert	55.68
5%-Wert	44.07
1%-Wert	39.62
0.1%-Wert	35.76

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMLUFTA

Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$

Mittelwert (m) 108.099

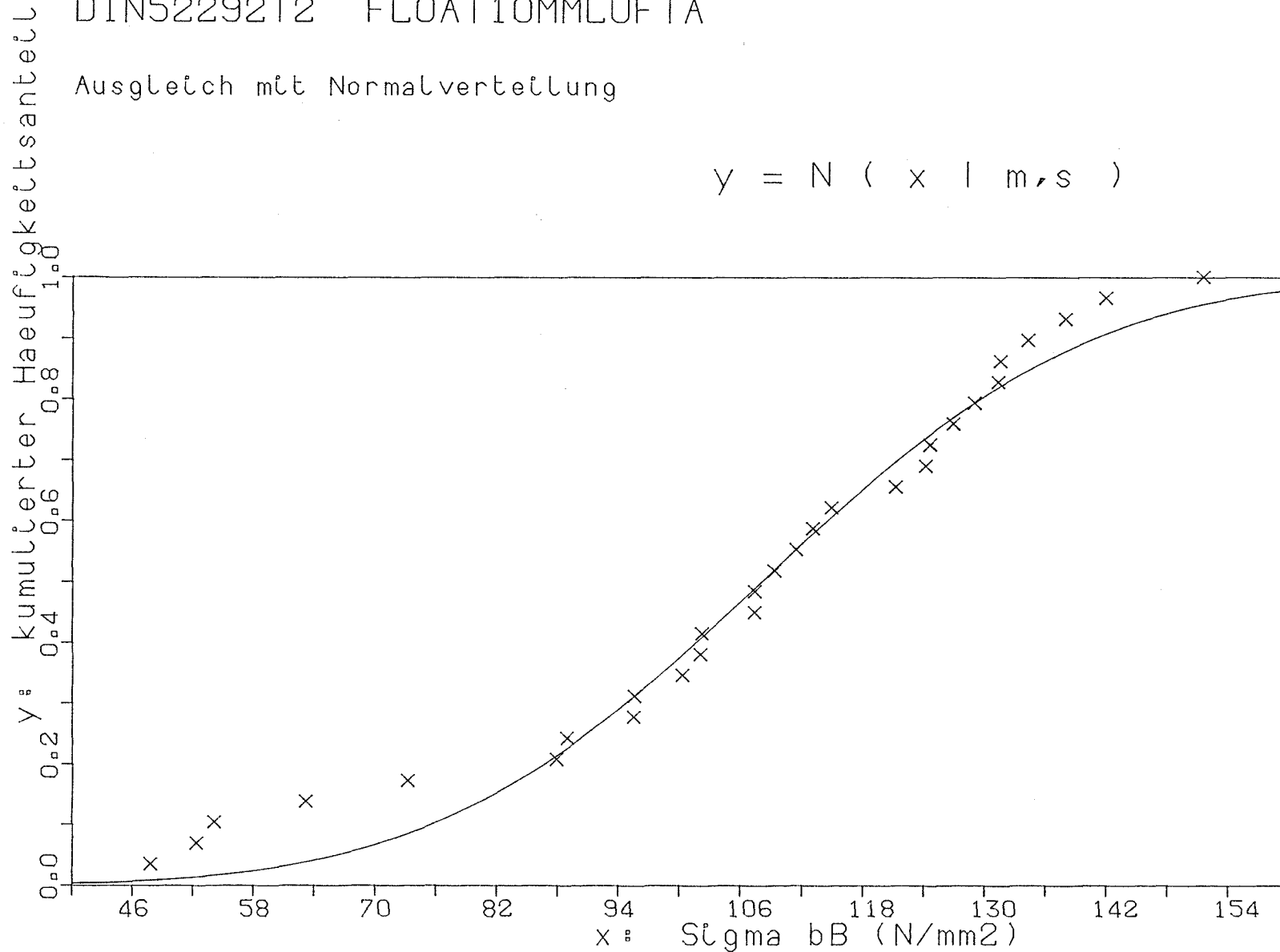
Standardabw.(s) 25.493

Summe Abst. quad. 0.050

mittlerer Fehler 0.042

Korrelationskoeff. 0.990

Bestimmtheitsmass 0.979



Mittelwert 106.21
 50%-Wert 108.10
 5%-Wert 66.16
 1%-Wert 48.78
 0,1%-Wert 29.31

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMLUFTA

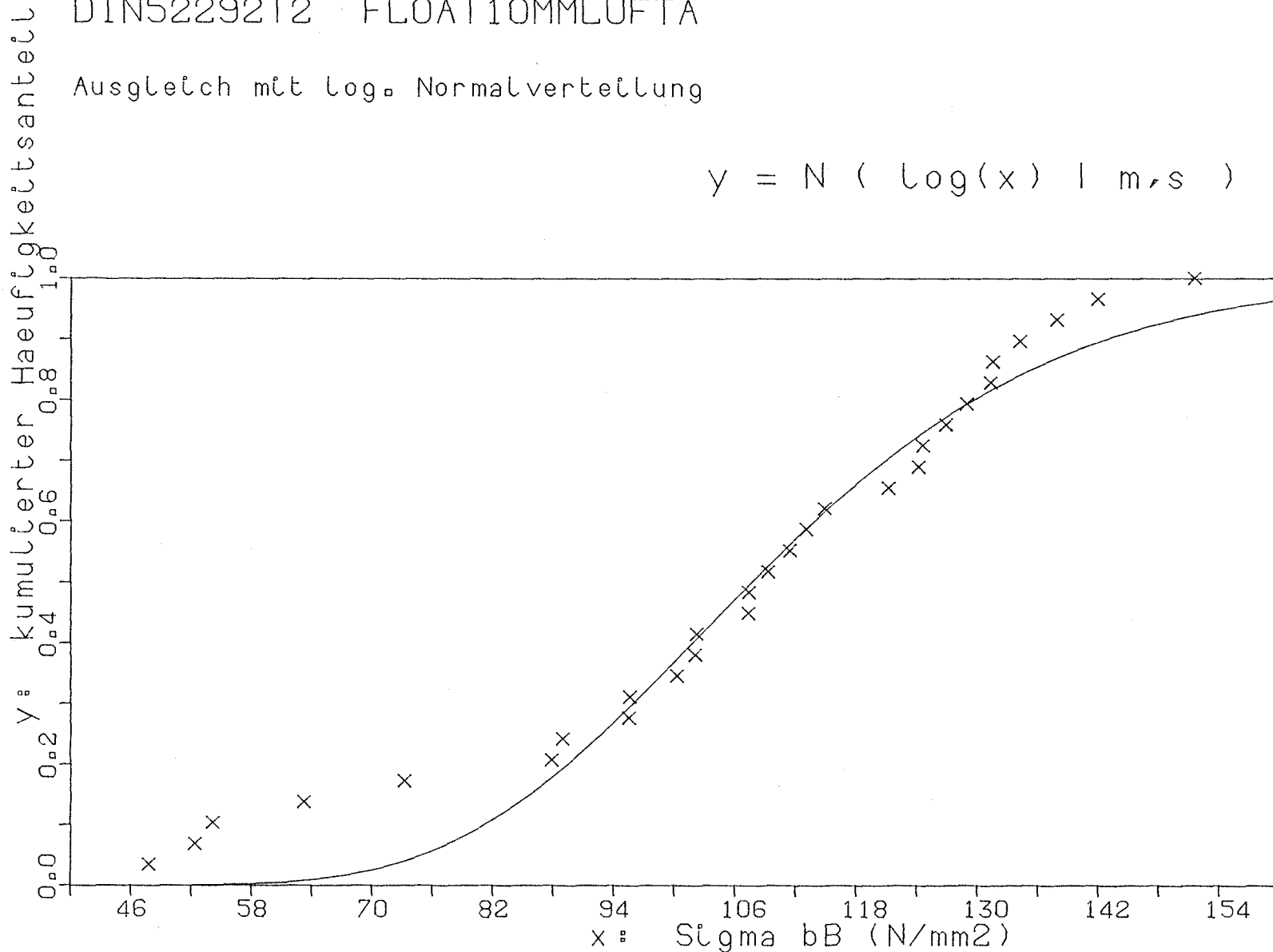
Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 2.032
Standardabw.(s) 0.096

Summe Abst. quad. 0.082
mittlerer Fehler 0.054

Korrelationskoeff. 0.983
Bestimmtheitsmass 0.966

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$



Mittelwert 106.21
50%-Wert 107.61
5%-Wert 74.84
1%-Wert 64.39
0,1%-Wert 54.40

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMLUFTA

Ausgleich mit Weibullverteilung

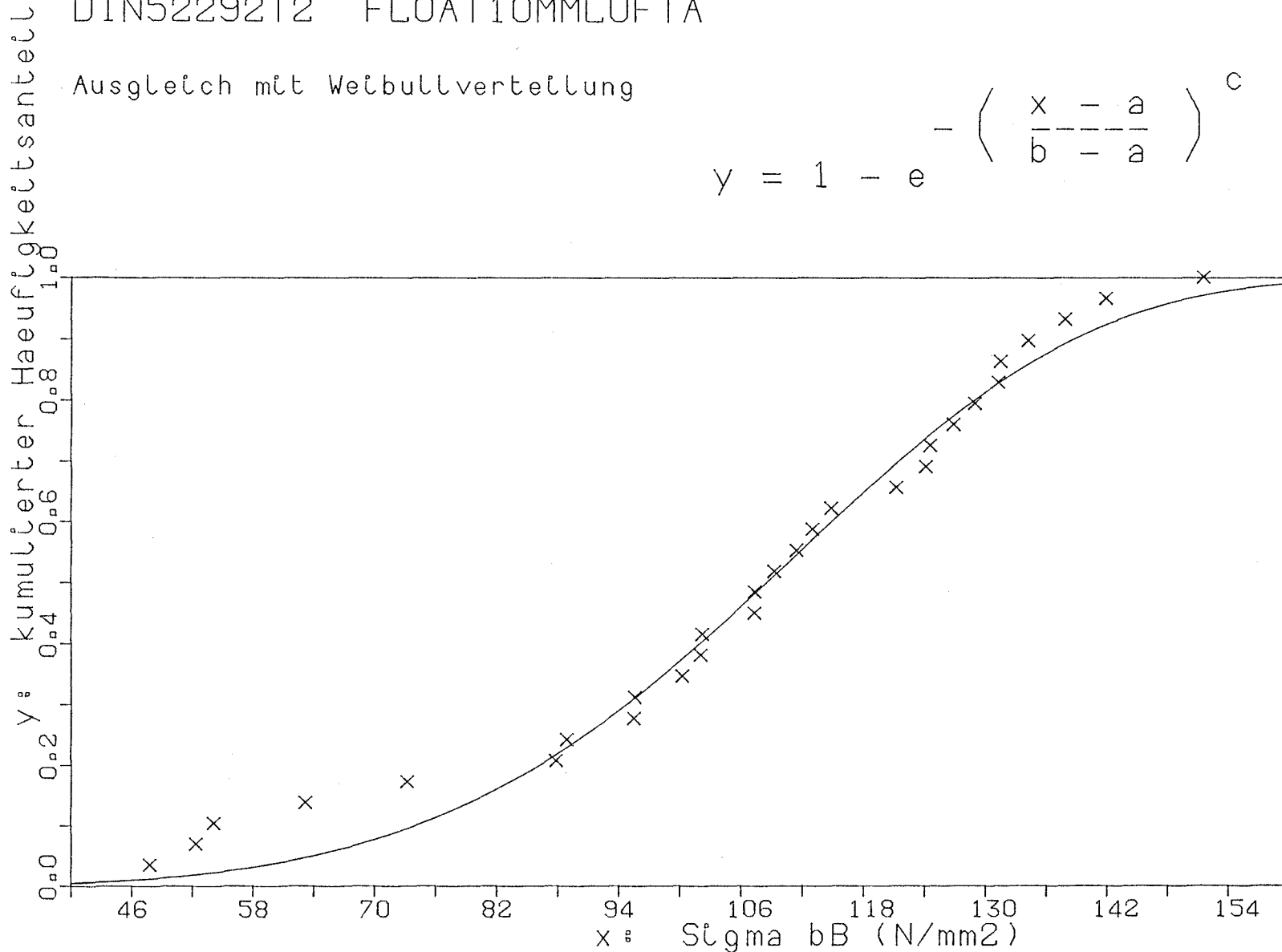
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 0.000
 Verzerrung (b) 117.060
 Exponent (c) 4.897

Summe Abst. quad. 0.039
 mittlerer Fehler 0.037

Korrelationskoeff. 0.992
 Bestimmtheitsmass 0.984

Mittelwert 106.21
 50%-Wert 108.62
 5%-Wert 63.83
 1%-Wert 45.75
 0,1%-Wert 28.56



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMLUFTA

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

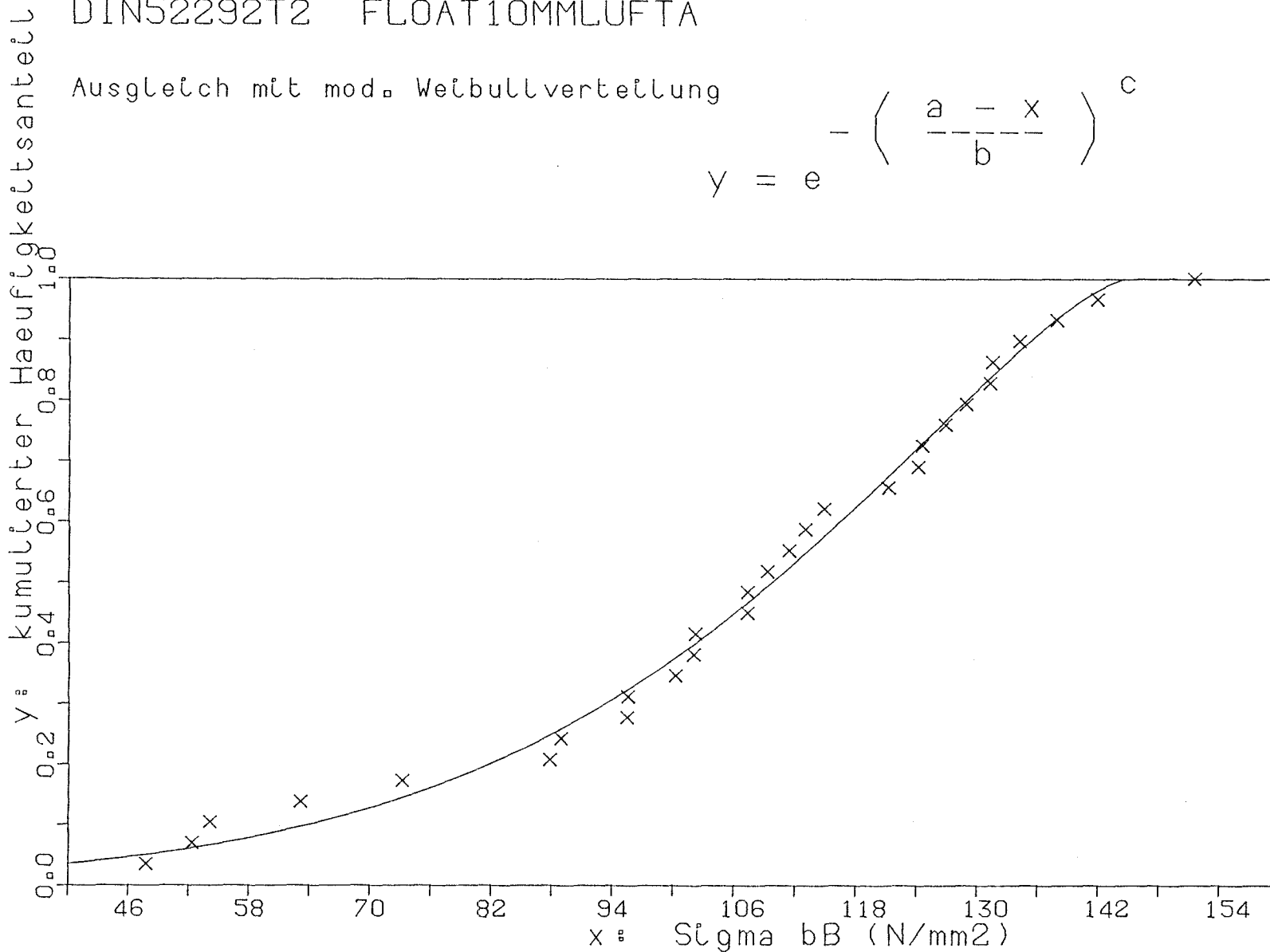
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 144.817
 Verzerrung (b) 45.230
 Exponent (c) 1.432

Summe Abst. quad. 0.018
 mittlerer Fehler 0.025

Korrelationskoeff. 0.996
 Bestimmtheitsmass 0.993

Mittelwert 106.21
 50%-Wert 109.80
 5%-Wert 47.49
 1%-Wert 13.40
 0,1%-Wert -29.62



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMLUFTA

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

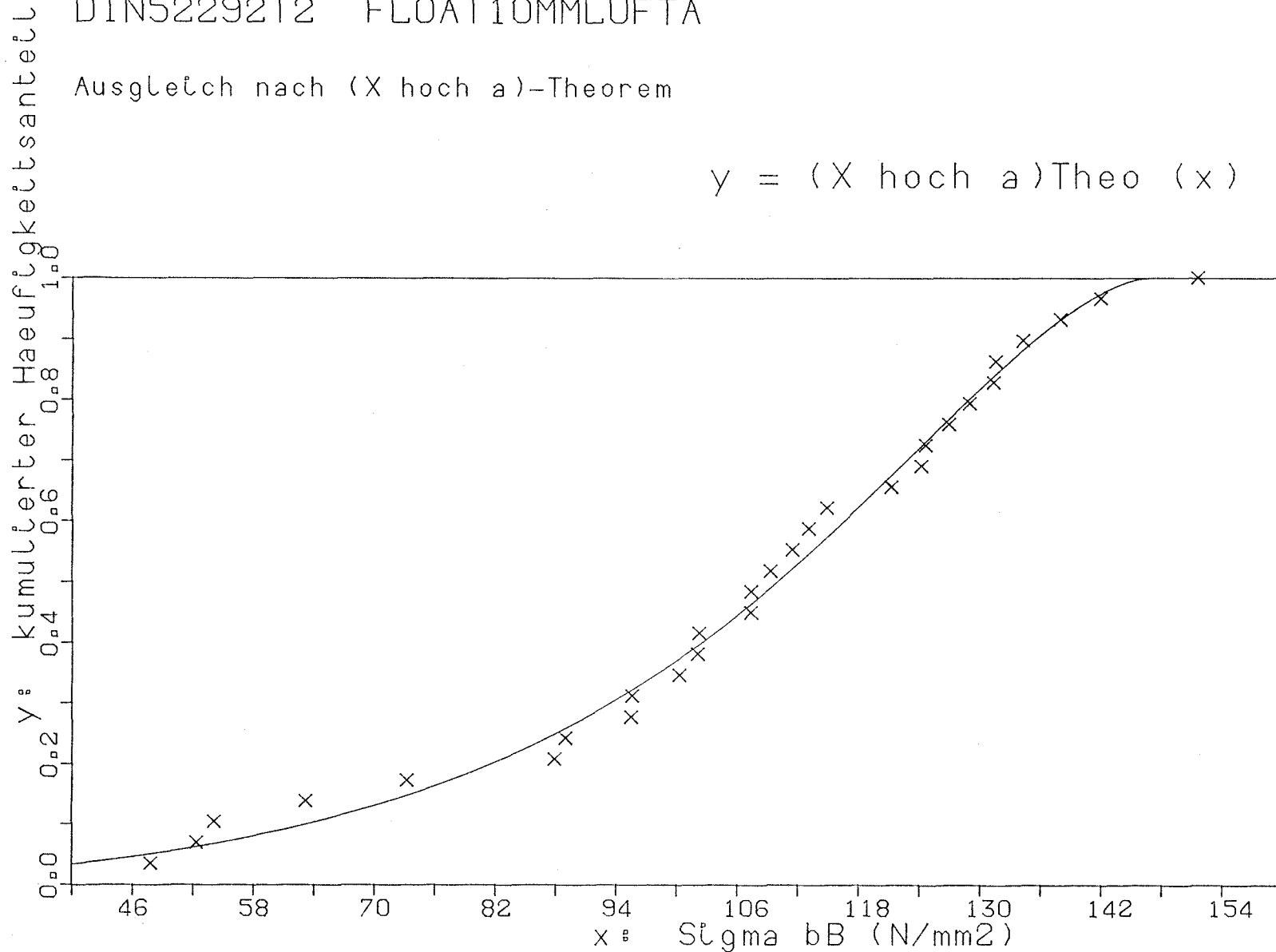
$$y = (X \text{ hoch } a) \text{Theo } (x)$$

X unten (xu) 4.561
 X mittel (xm) 109.881
 X oben (xo) 146.575
 Exponent (a) 1.562

Summe Abst. quad. 0.018
 mittlerer Fehler 0.025

Korrelationskoeff. 0.996
 Bestimmtheitsmass 0.993

Mittelwert 106.21
 50%-Wert 109.88
 5%-Wert 47.64
 1%-Wert 23.23
 0.1%-Wert 9.29



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADB

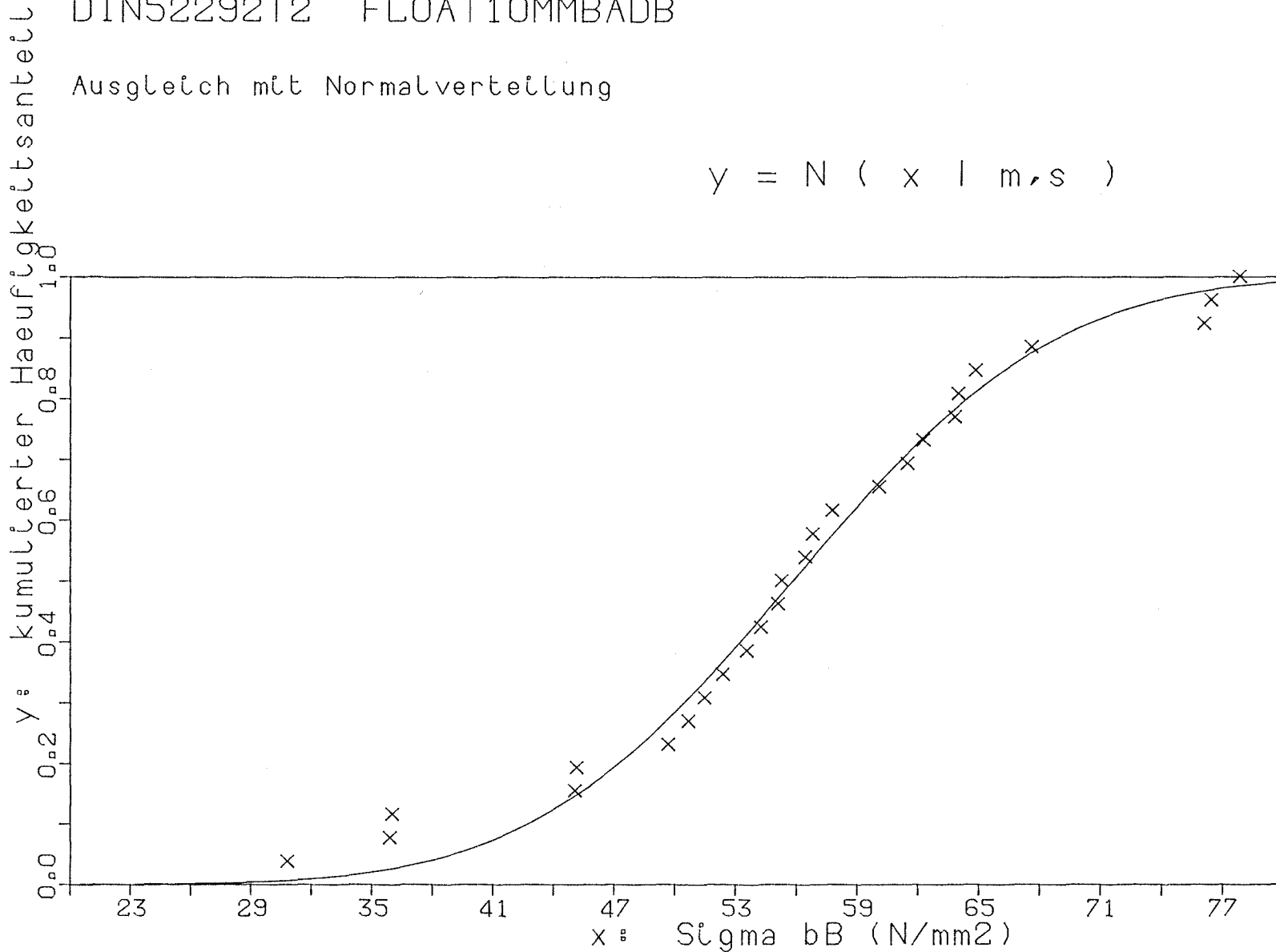
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N (x \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 55.816
Standardabw. (s) 10.224

Summe Abst. quad. 0.029
mittlerer Fehler 0.034

Korrelationskoeff. 0.993
Bestimmtheitsmass 0.987



Mittelwert 56.17
50%-Wert 55.82
5%-Wert 39.00
1%-Wert 32.03
0.1%-Wert 24.22

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADB

Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 1.745

Standardabw. (s) 0.077

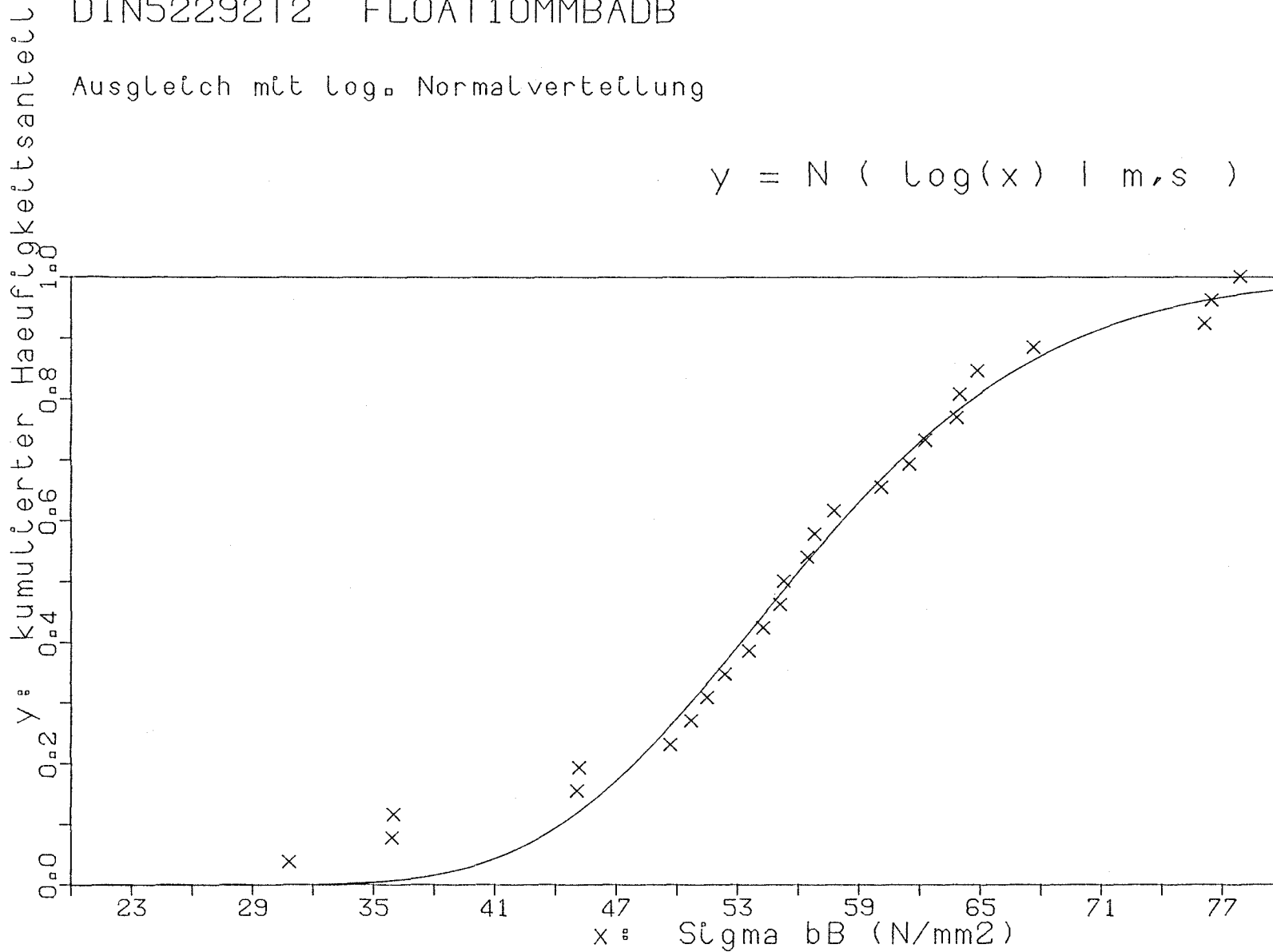
Summe Abst. quad. 0.037

mittlerer Fehler 0.038

Korrelationskoeff. 0.991

Bestimmtheitsmass 0.983

$$y = N(\log(x) | m, s)$$



Mittelwert 56.17

50%-Wert 55.63

5%-Wert 41.53

1%-Wert 36.80

0.1%-Wert 32.13

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADB

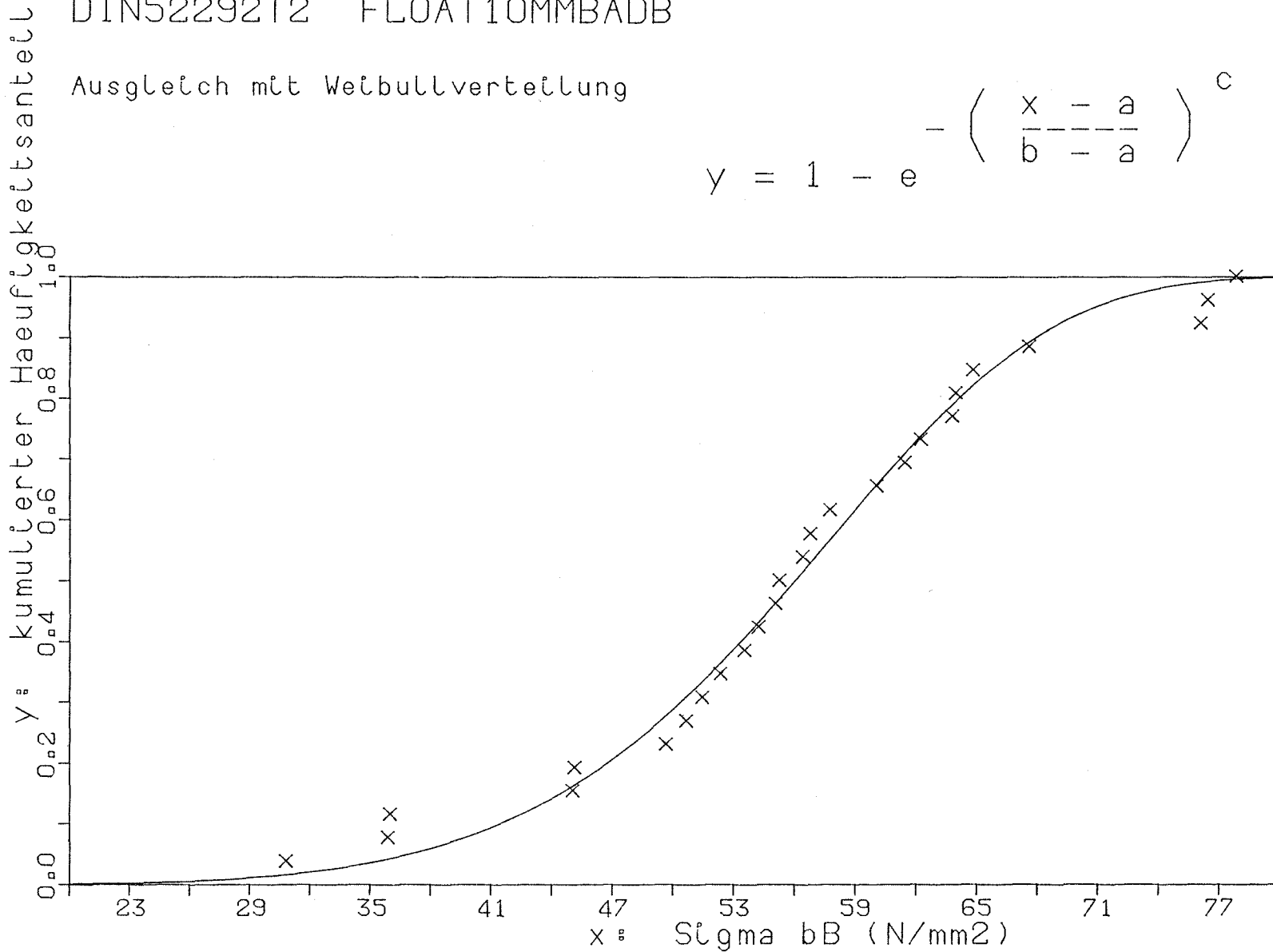
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 0.000
 Verzerrung (b) 59.433
 Exponent (c) 6.238

Summe Abst. quad. 0.026
 mittlerer Fehler 0.033

Korrelationskoeff. 0.994
 Bestimmtheitsmass 0.988



Mittelwert 56.17
 50%-Wert 56.04
 5%-Wert 36.92
 1%-Wert 28.43
 0,1%-Wert 19.64

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADB

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

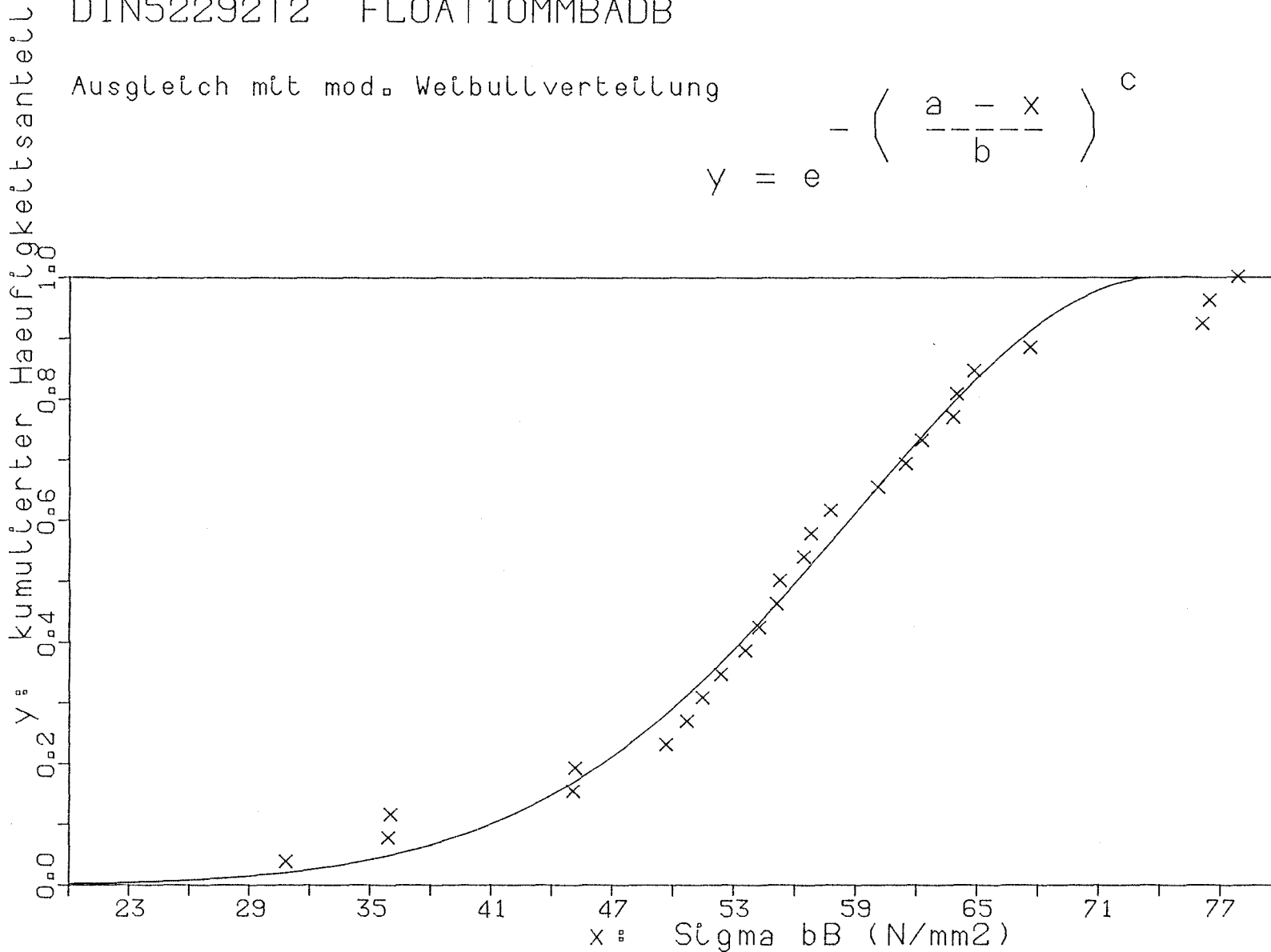
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 73.944
 Verzerrung (b) 21.528
 Exponent (c) 1.949

Summe Abst. quad. 0.029
 mittlerer Fehler 0.034

Korrelationskoeff. 0.993
 Bestimmtheitsmass 0.987

Mittelwert 56.17
 50%-Wert 56.11
 5%-Wert 36.14
 1%-Wert 26.81
 0,1%-Wert 15.90



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMBADB

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

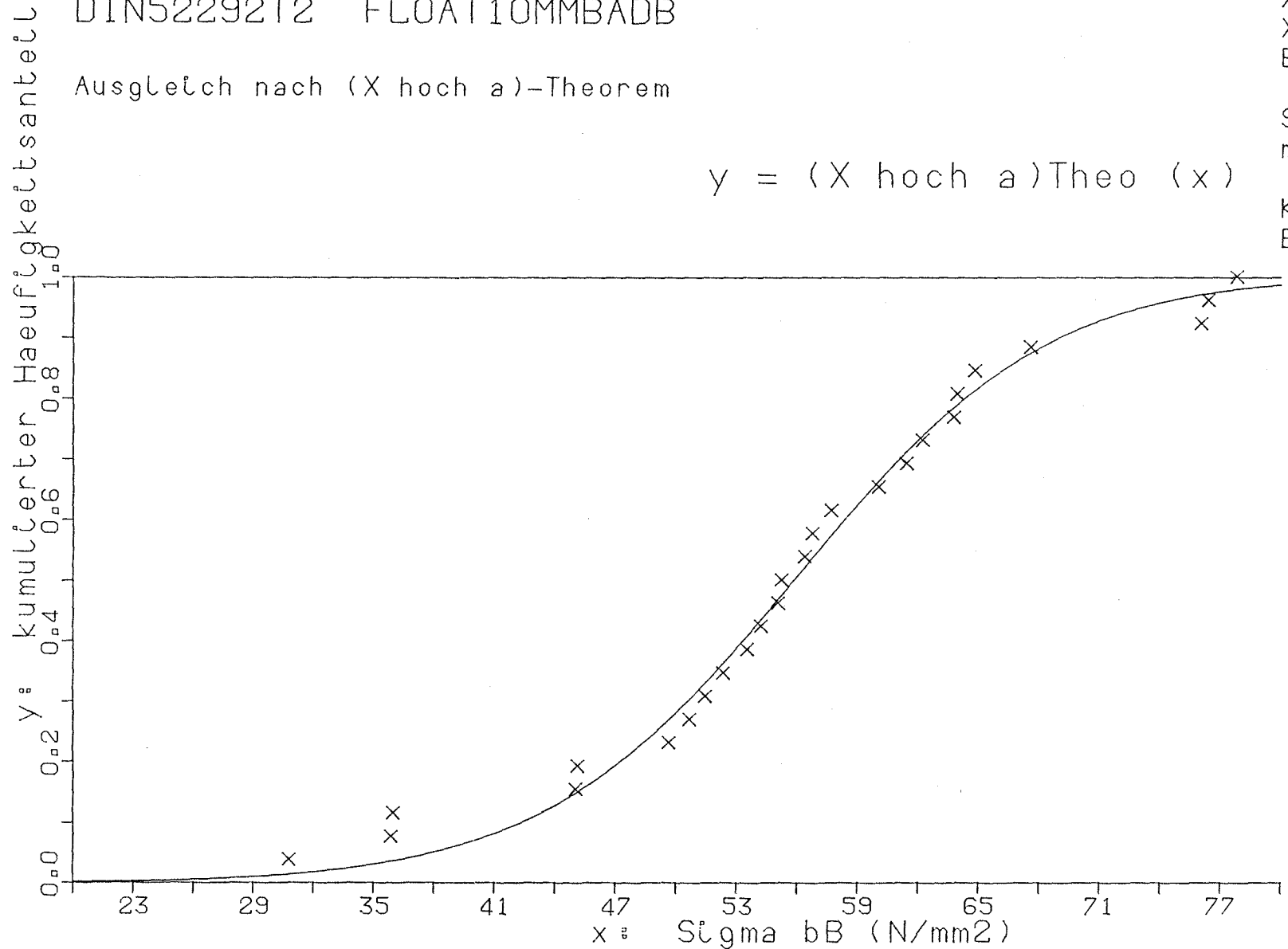
X unten	(x _u)	0.021
X mittel	(x _m)	55.839
X oben	(x _o)	105.460
Exponent	(a)	4.230

Summe Abst. quad.	0.024
mittlerer Fehler	0.031

Korrelationskoeff.	0.995
Bestimmtheitsmass	0.989

Mittelwert	56.17
50%-Wert	55.84
5%-Wert	37.90
1%-Wert	29.03
0,1%-Wert	19.02

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



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMLUFTB

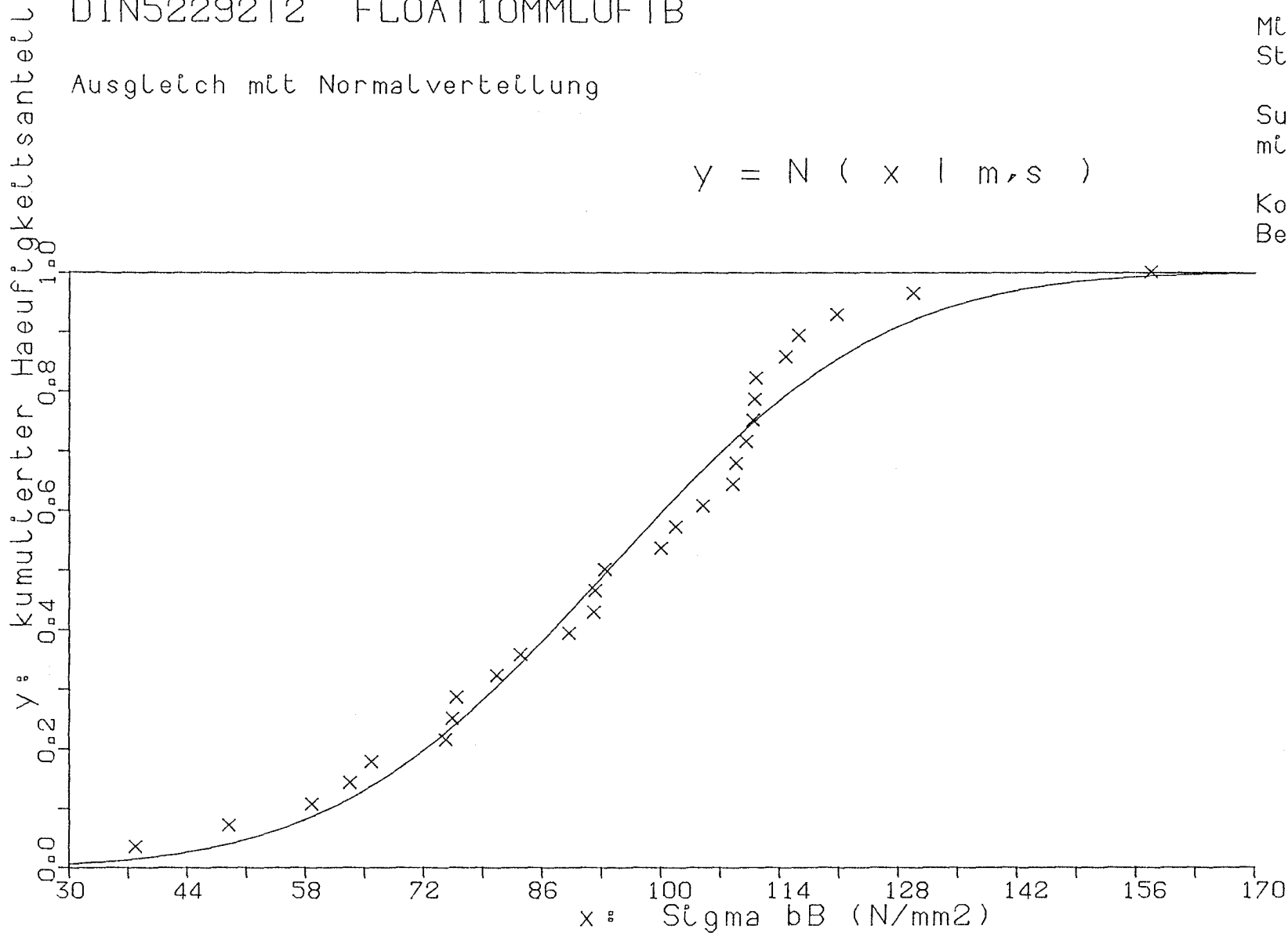
Ausgleich mit Normalverteilung

Mittelwert (m) 93.766
Standardabw. (s) 25.673

Summe Abst. quad. 0.053
mittlerer Fehler 0.044

Korrelationskoeff. 0.989
Bestimmtheitsmass 0.977

$$y = N(x | m, s)$$



Mittelwert 94.20
50%-Wert 93.77
5%-Wert 51.53
1%-Wert 34.03
0,1%-Wert 14.42

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMLUFTB

Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 1.966

Standardabw. (s) 0.120

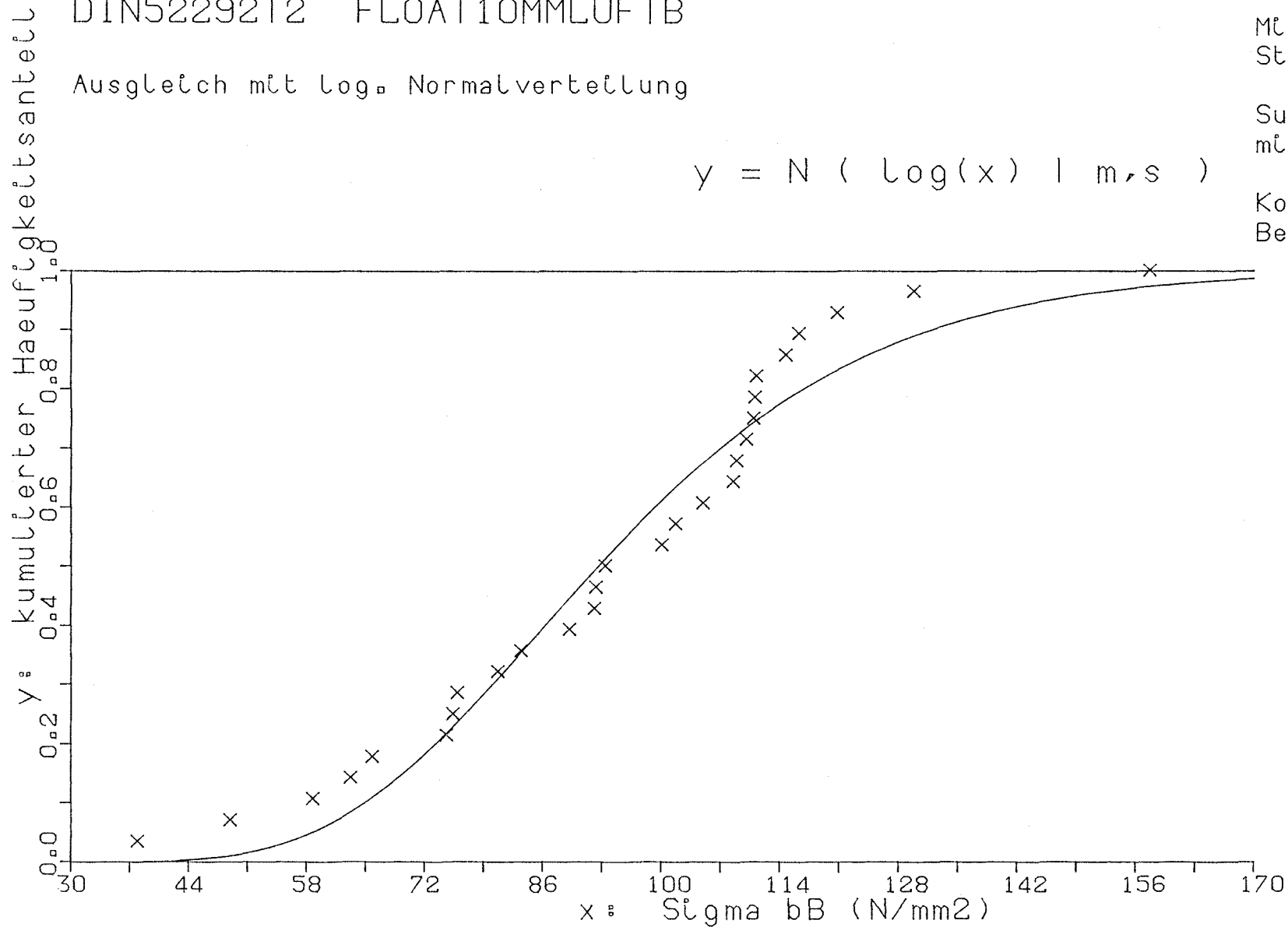
Summe Abst. quad. 0.088

mittlerer Fehler 0.057

Korrelationskoeff. 0.981

Bestimmtheitsmass 0.962

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$



Mittelwert 94.20

50%-Wert 92.54

5%-Wert 58.68

1%-Wert 48.59

0,1%-Wert 39.33

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMLUFTB

Ausgleich mit Weibullverteilung

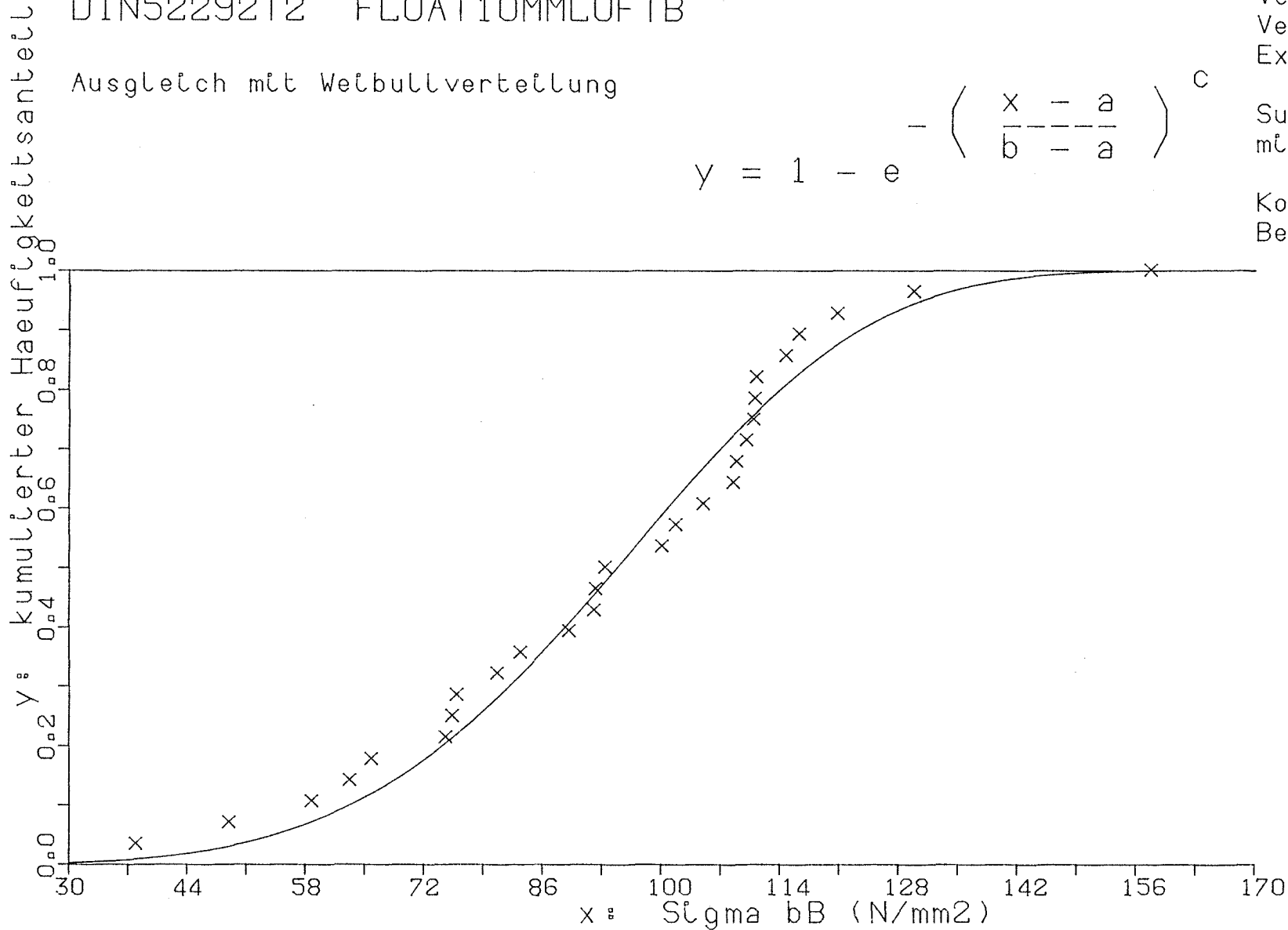
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x - a}{b - a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 4.850
 Verzerrung (b) 102.660
 Exponent (c) 4.344

Summe Abst. quad. 0.051
 mittlerer Fehler 0.044

Korrelationskoeff. 0.989
 Bestimmtheitsmass 0.978

Mittelwert 94.20
 50%-Wert 94.75
 5%-Wert 54.22
 1%-Wert 38.77
 0,1%-Wert 24.80



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMLUFTB

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

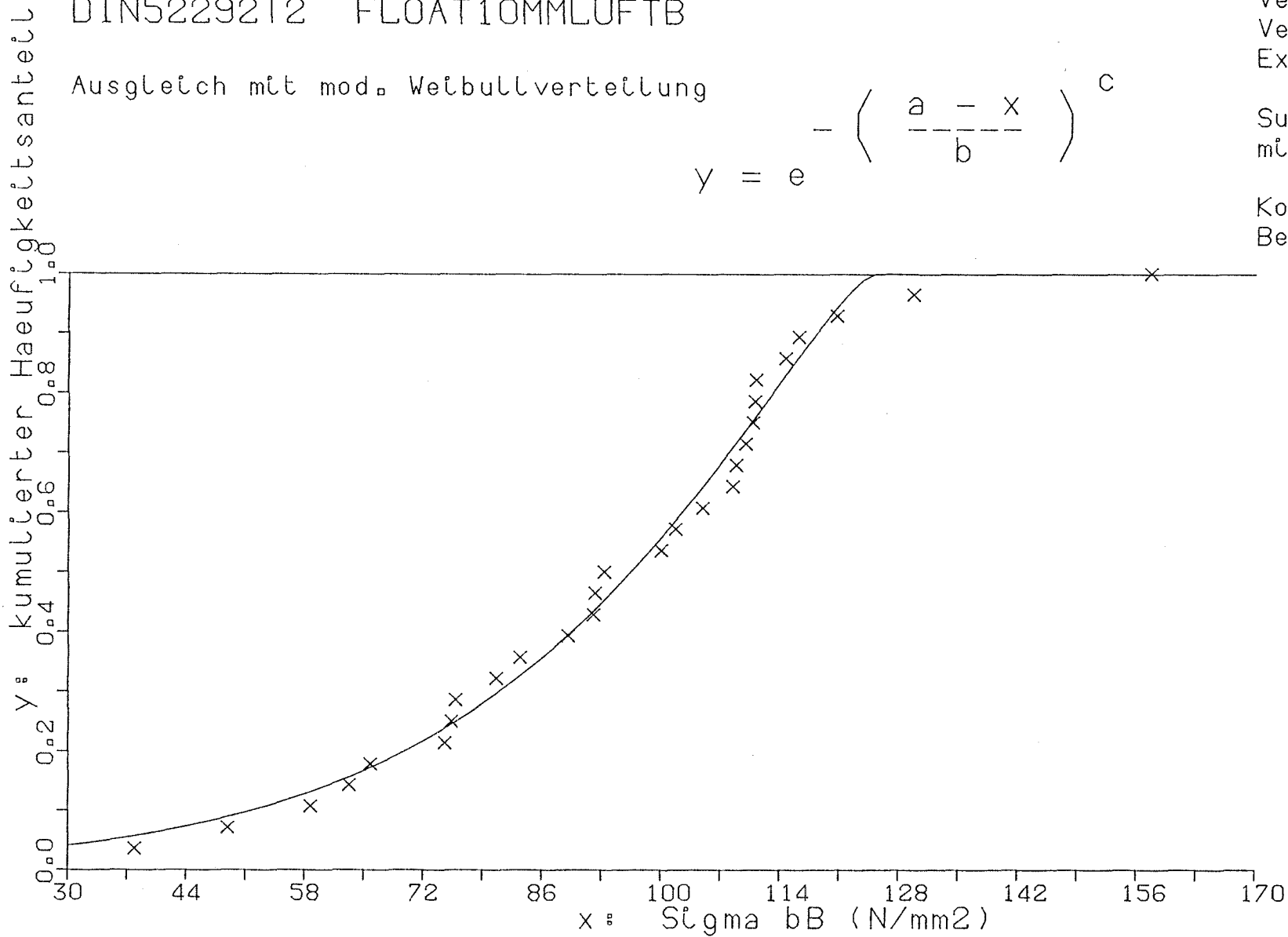
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 124.794
 Verzerrung (b) 37.923
 Exponent (c) 1.268

Summe Abst. quad. 0.024
 mittlerer Fehler 0.030

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.990

Mittelwert 94.20
 50%-Wert 96.39
 5%-Wert 34.70
 1%-Wert -1.66
 0,1%-Wert -49.31



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 FLOAT10MMLUFTB

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

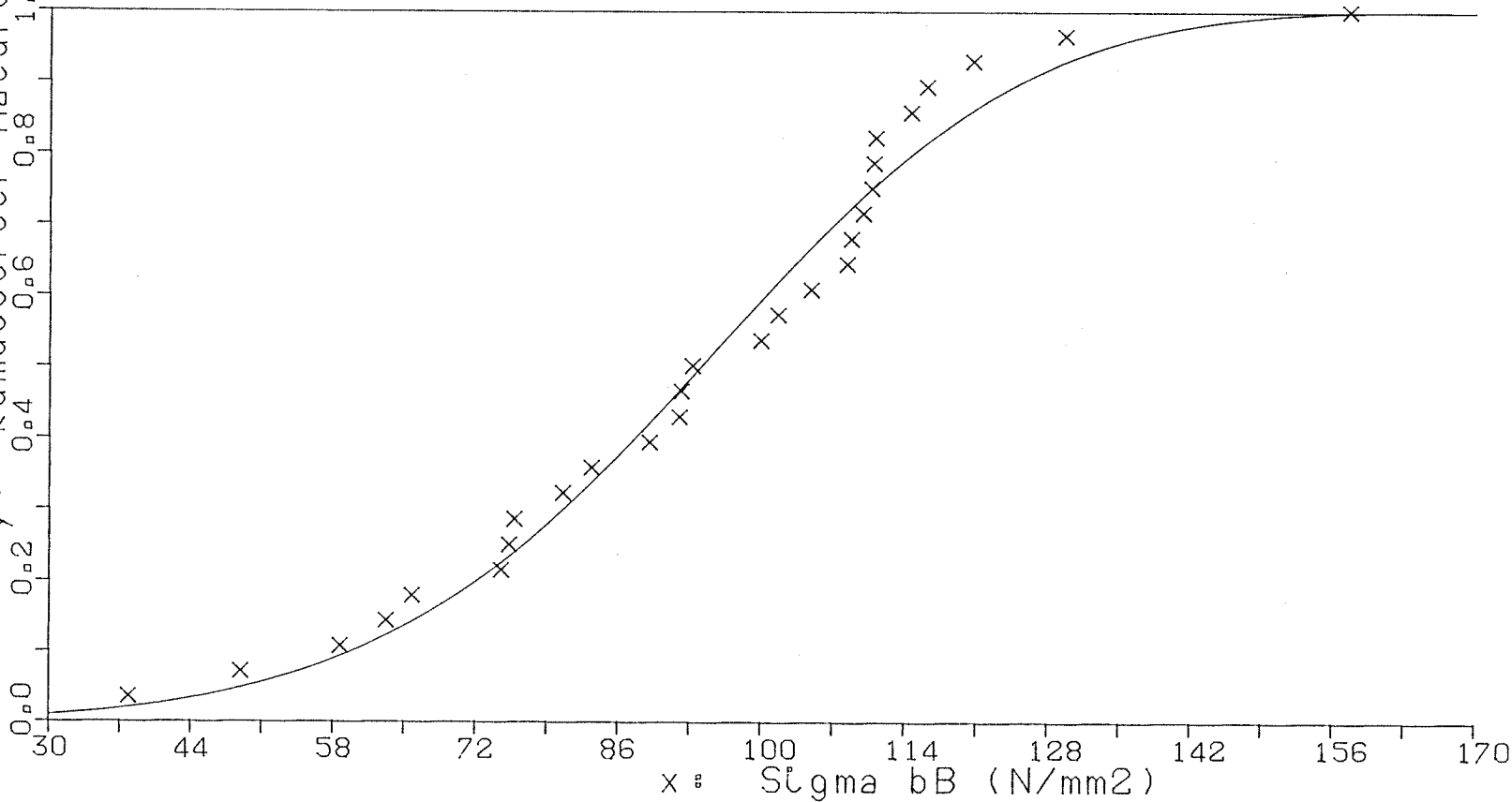
X unten	(x _u)	0.000
X mittel	(x _m)	94.200
X oben	(x _o)	167.769
Exponent	(a)	2.616

Summe Abst. quad. 0.047
mittlerer Fehler 0.042

Korrelationskoeff. 0.990
Bestimmtheitsmass 0.980

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

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert	94.20
50%-Wert	94.20
5%-Wert	49.25
1%-Wert	30.38
0.1%-Wert	14.05

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMBADA

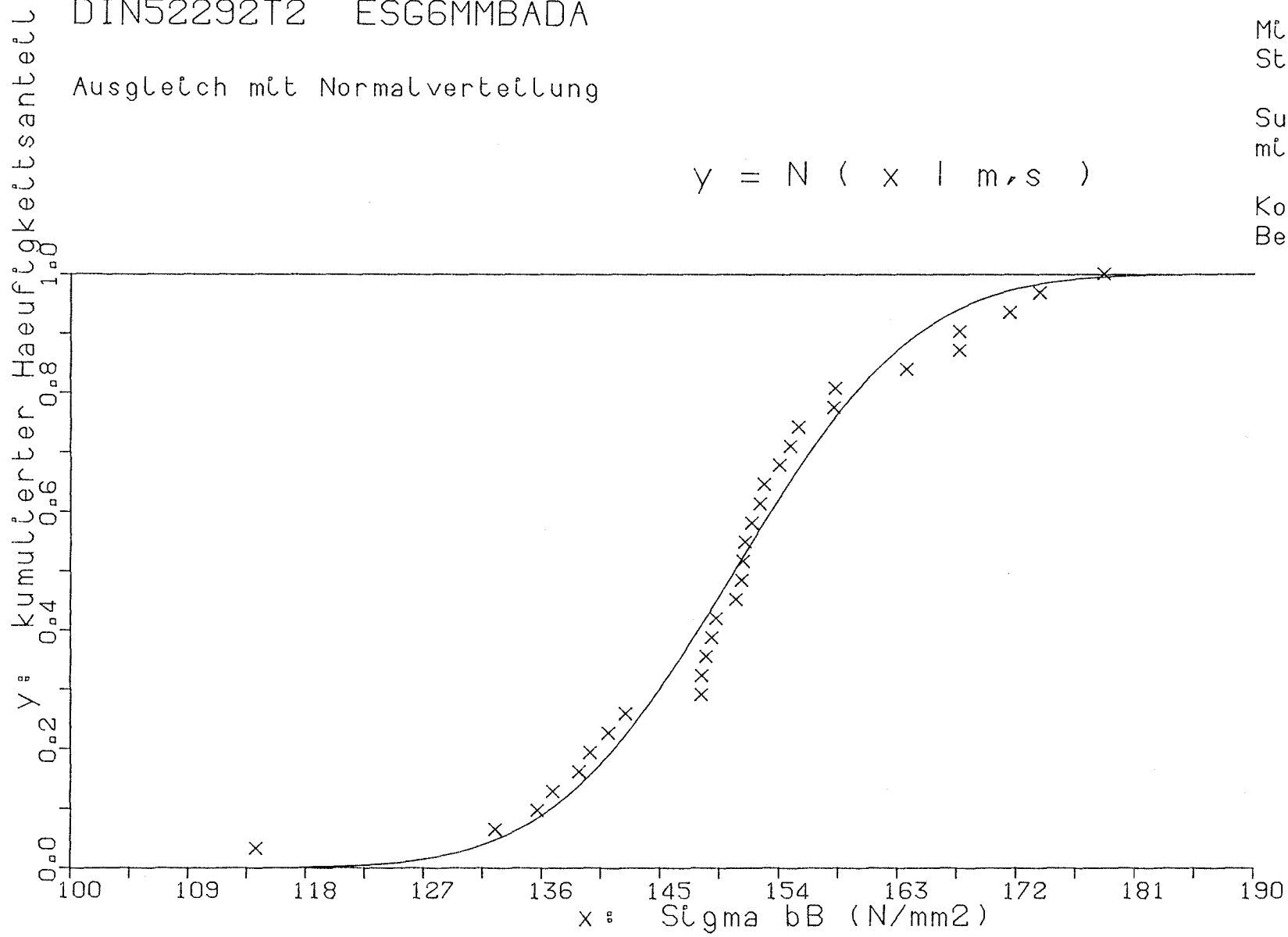
Ausgleich mit Normalverteilung

Mittelwert (m) 150.628
 Standardabw.(s) 10.877

Summe Abst. quad. 0.071
 mittlerer Fehler 0.049

Korrelationskoeff. 0.986
 Bestimmtheitsmass 0.972

$$y = N(x | m, s)$$



Mittelwert 151.26
 50%-Wert 150.63
 5%-Wert 132.73
 1%-Wert 125.32
 0,1%-Wert 117.01

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMBADA

Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N (\text{Log}(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 2.178

Standardabw. (s) 0.032

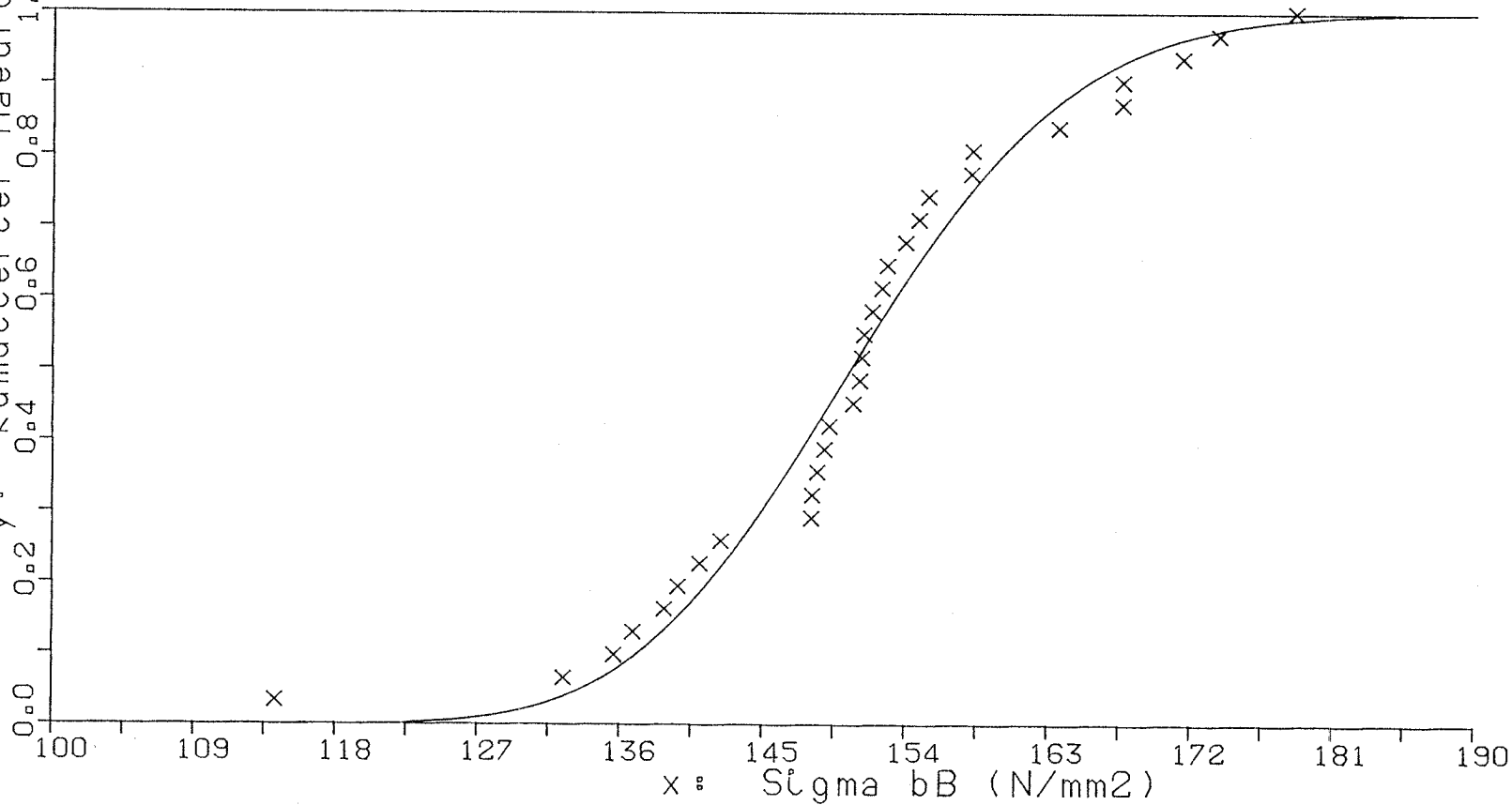
Summe Abst. quad. 0.073

mittlerer Fehler 0.049

Korrelationskoeff. 0.986

Bestimmtheitsmass 0.972

y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert 151.26
 50%-Wert 150.55
 5%-Wert 133.54
 1%-Wert 127.06
 0,1%-Wert 120.18

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMBADA

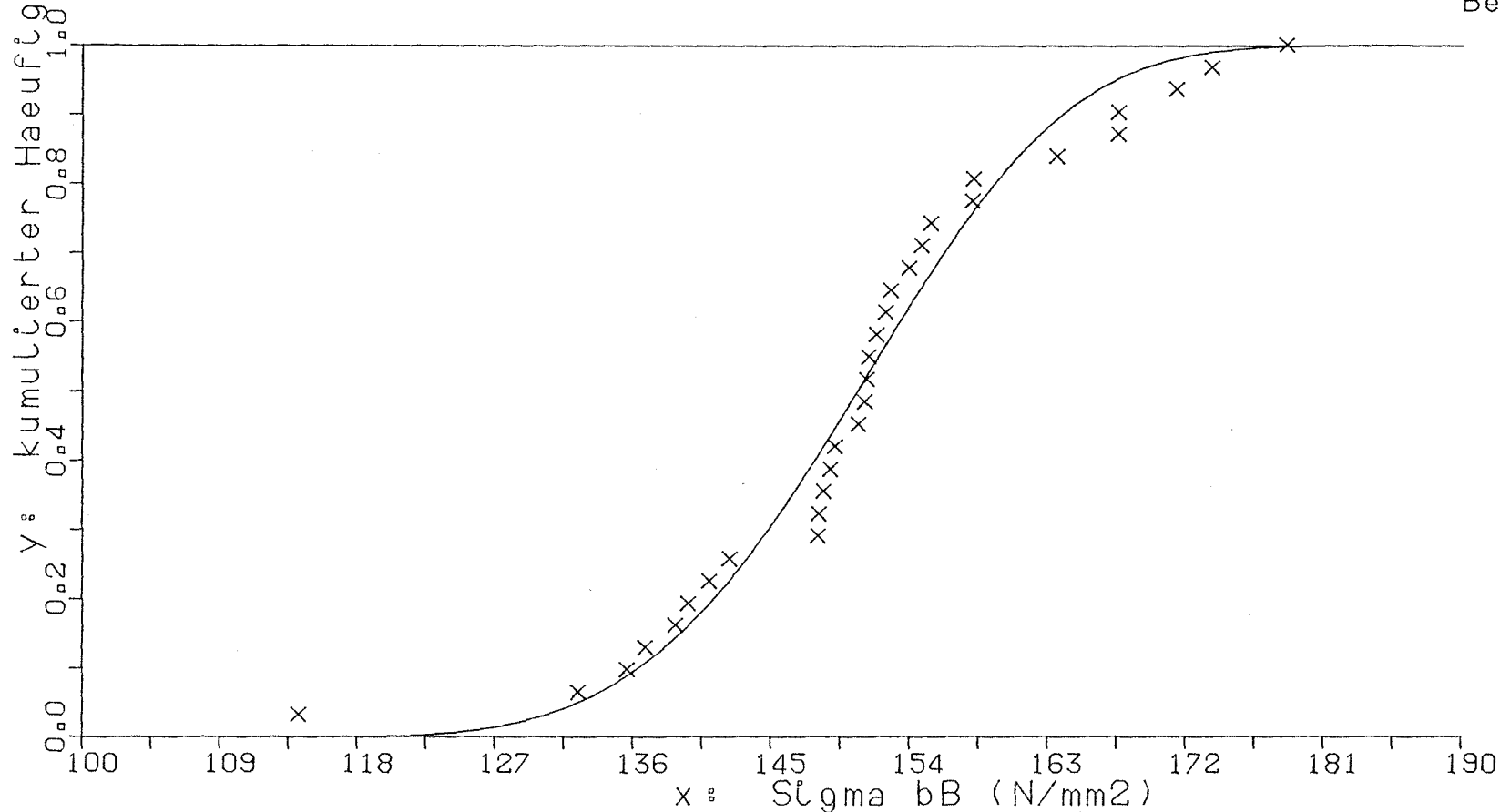
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 112.527
 Verzerrung (b) 154.331
 Exponent (c) 4.012

Summe Abst. quad. 0.074
 mittlerer Fehler 0.050

Korrelationskoeff. 0.986
 Bestimmtheitsmass 0.971



Mittelwert 151.26
 50%-Wert 150.68
 5%-Wert 132.47
 1%-Wert 125.81
 0,1%-Wert 120.00

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMBADA

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

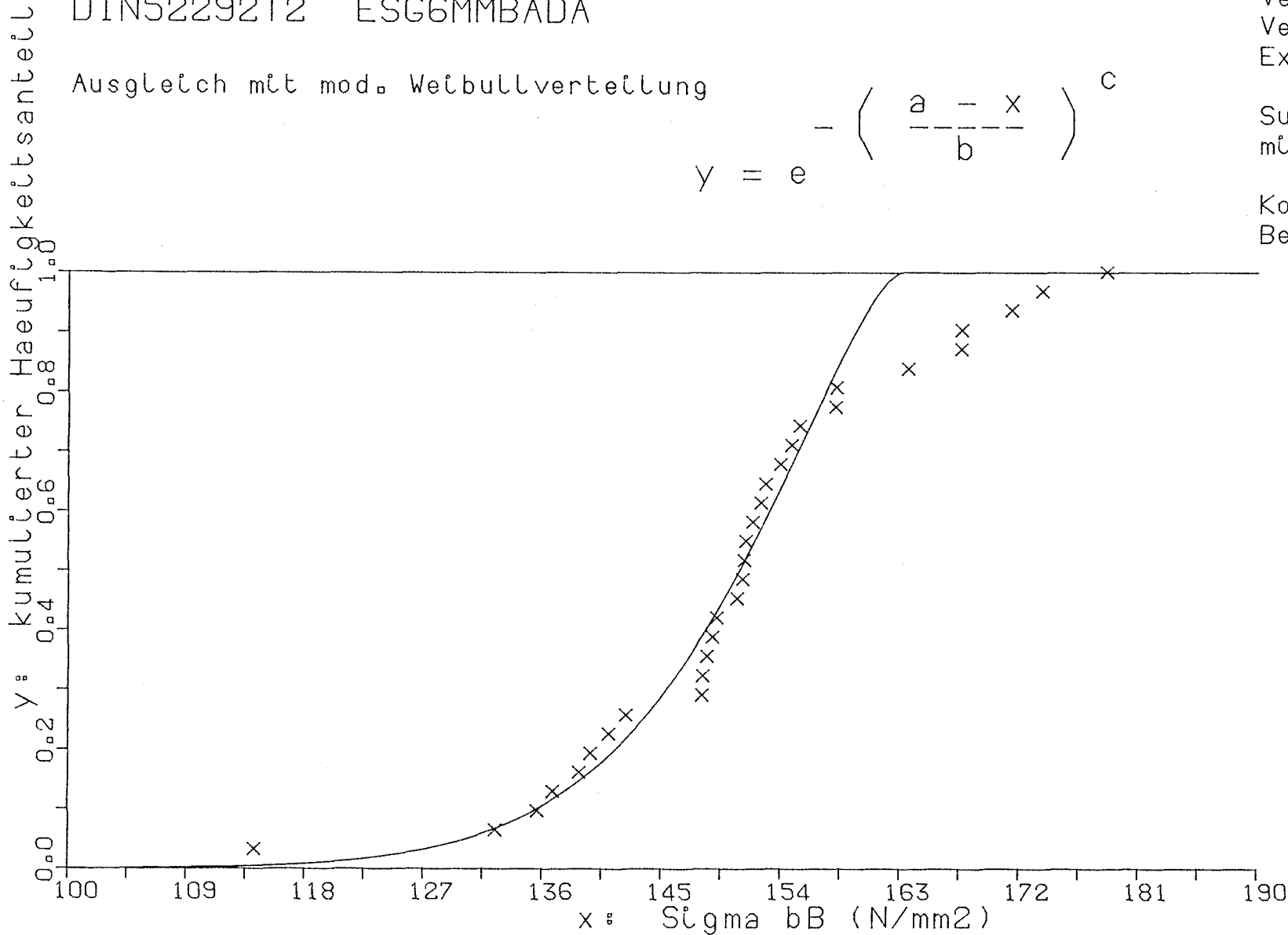
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 162.991
 Verzerrung (b) 15.491
 Exponent (c) 1.459

Summe Abst. quad. 0.098
 mittlerer Fehler 0.057

Korrelationskoeff. 0.981
 Bestimmtheitsmass 0.962

Mittelwert 151.26
 50%-Wert 150.94
 5%-Wert 130.14
 1%-Wert 118.88
 0.1%-Wert 104.75



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMBADA

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

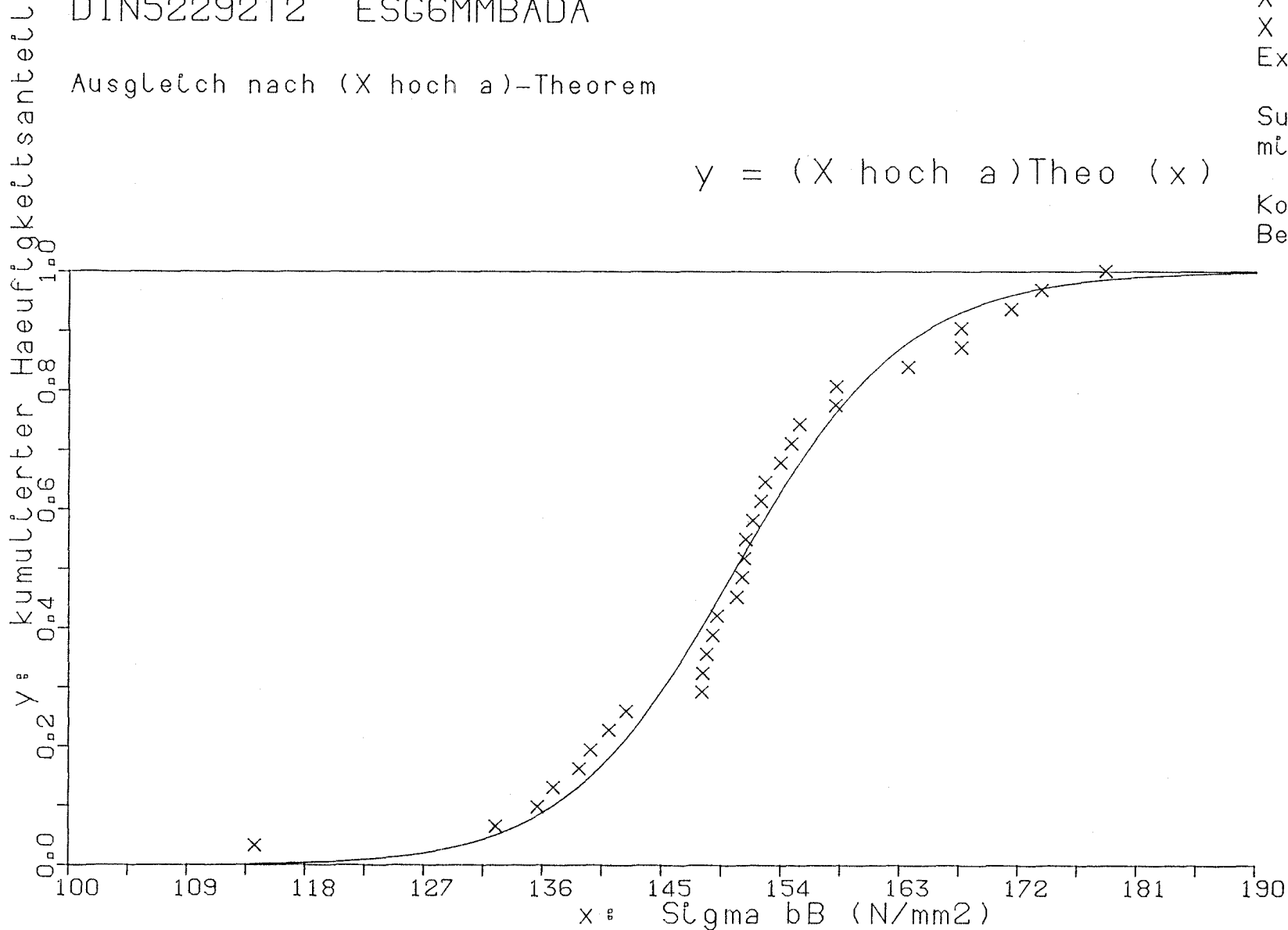
$$y = (X \text{ hoch } a) \text{Theo } (x)$$

X unten	(x _u)	0.007
X mittel	(x _m)	150.633
X oben	(x _o)	413.337
Exponent	(a)	14.939

Summe Abst. quad. 0.063
mittlerer Fehler 0.046

Korrelationskoeff. 0.988
Bestimmtheitsmass 0.976

Mittelwert	151.26
50%-Wert	150.63
5%-Wert	132.31
1%-Wert	122.58
0.1%-Wert	109.67



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMLUFTA

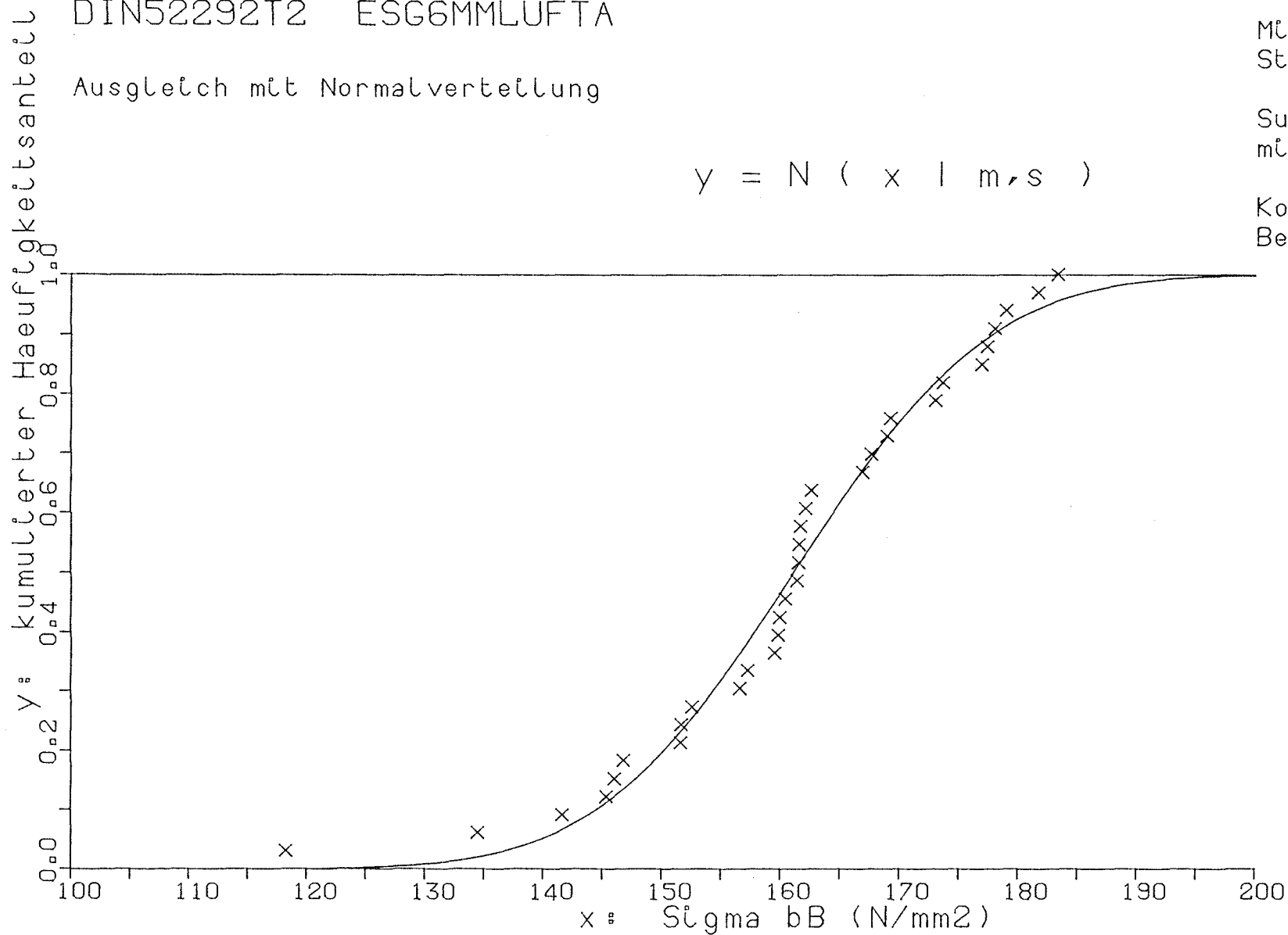
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N (x \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 161.171
Standardabw.(s) 13.015

Summe Abst. quad. 0.053
mittlerer Fehler 0.041

Korrelationskoeff. 0.990
Bestimmtheitsmass 0.981



Mittelwert 160.87
50%-Wert 161.17
5%-Wert 139.76
1%-Wert 130.89
0,1%-Wert 120.95

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMLUFTA

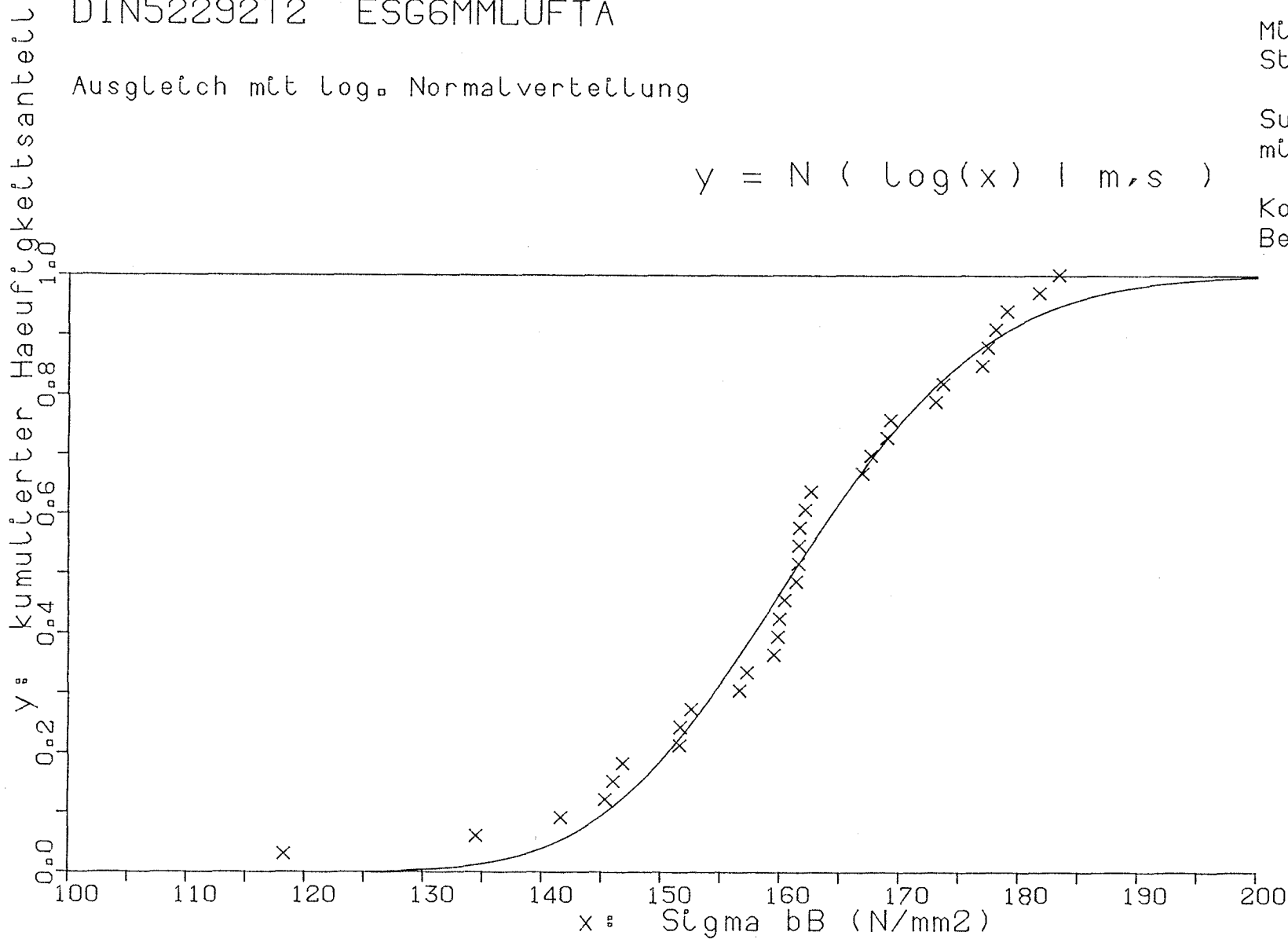
Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N(\log(x) | m, s)$$

Mittelwert (m) 2.207
Standardabw. (s) 0.035

Summe Abst. quad. 0.058
mittlerer Fehler 0.042

Korrelationskoeff. 0.989
Bestimmtheitsmass 0.979



Mittelwert 160.87
50%-Wert 161.03
5%-Wert 141.16
1%-Wert 133.66
0,1%-Wert 125.73

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMLUFTA

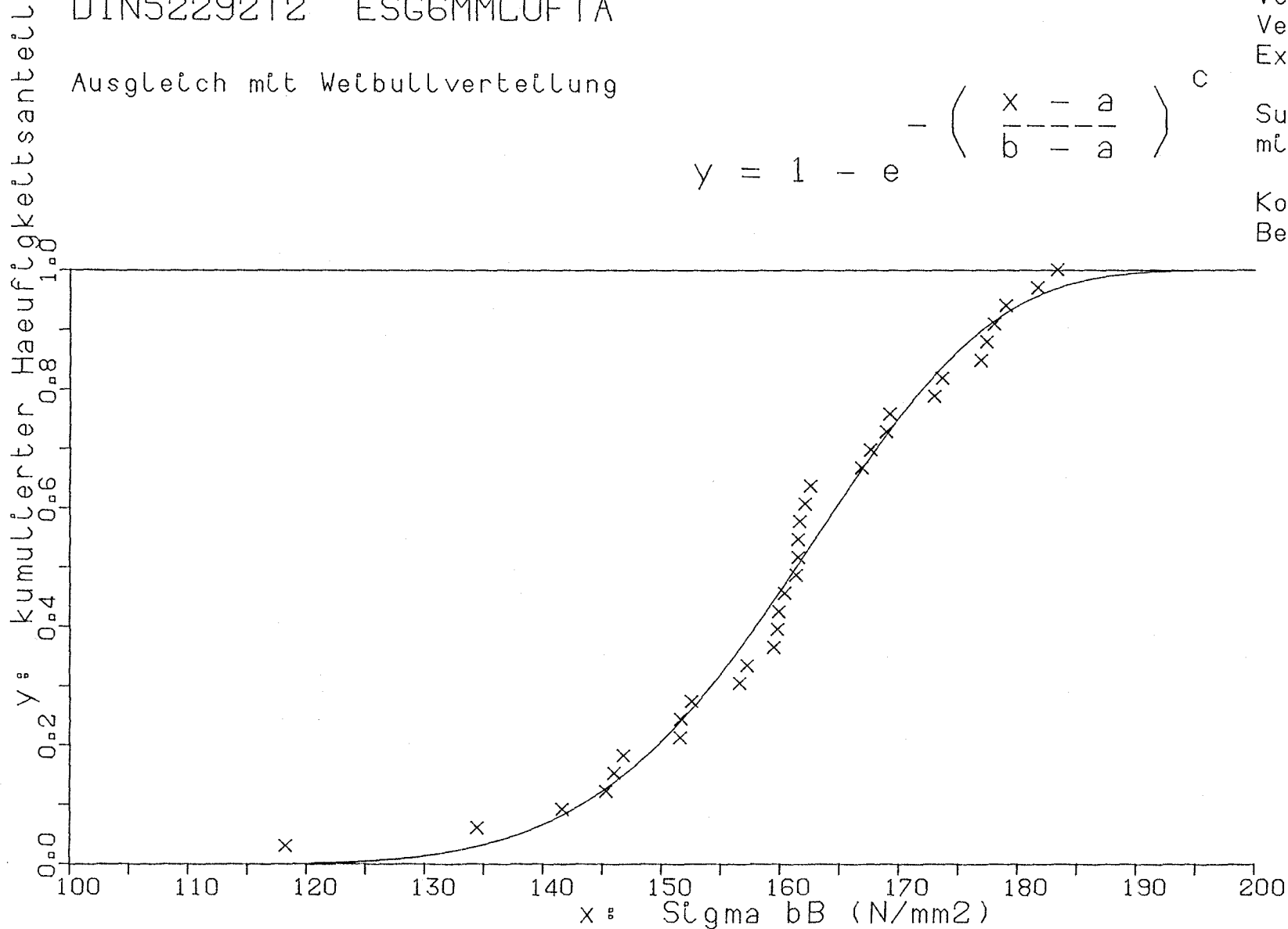
Ausgleich mit Weibullverteilung

Verschlebung (a) 102.531
 Verzerrung (b) 165.784
 Exponent (c) 5.097

Summe Abst. quad. 0.051
 mittlerer Fehler 0.040

Korrelationskoeff. 0.991
 Bestimmtheitsmass 0.981

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



Mittelwert 160.87
 50%-Wert 161.39
 5%-Wert 137.85
 1%-Wert 128.18
 0,1%-Wert 118.84

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMLUFTA

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

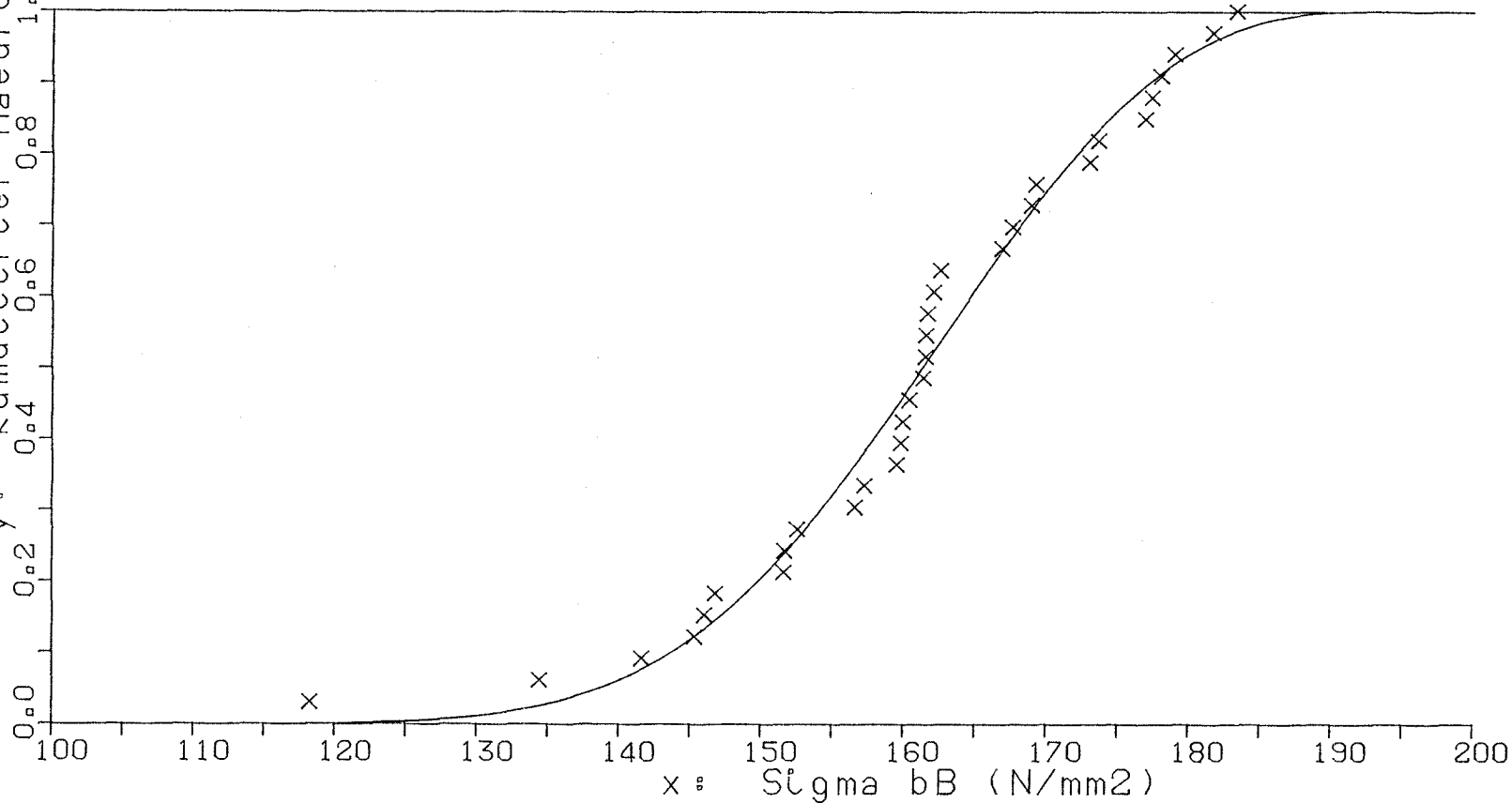
$$y = e - \left(\frac{a - x}{b} \right)^c$$

Verschiebung (a) 192.813
 Verzerrung (b) 36.068
 Exponent (c) 2.690

Summe Abst. quad. 0.052
 mittlerer Fehler 0.040

Korrelationskoeff. 0.991
 Bestimmtheitsmass 0.981

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert 160.87
 50%-Wert 161.34
 5%-Wert 138.58
 1%-Wert 129.18
 0,1%-Wert 118.83

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMLUFTA

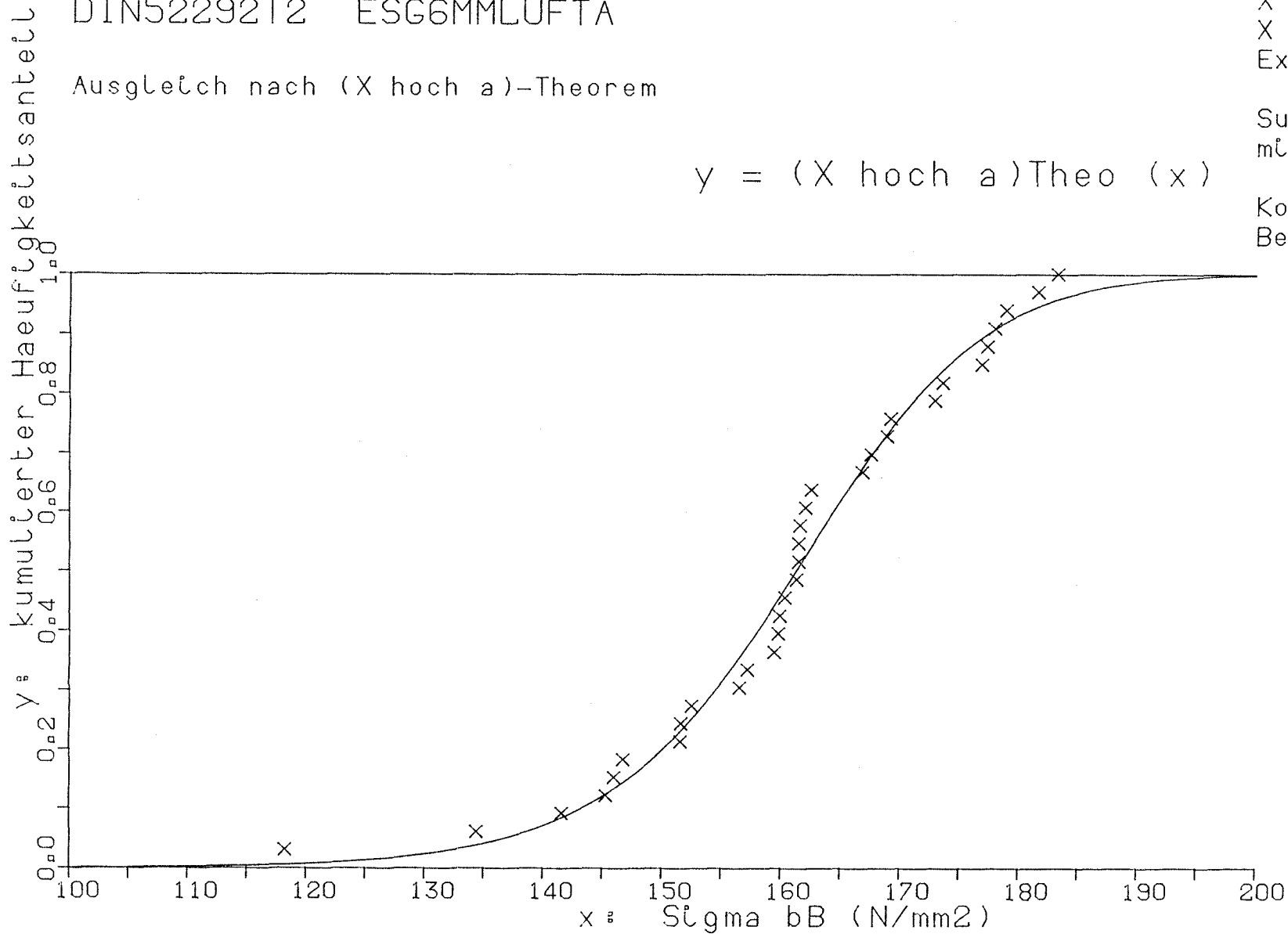
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(x _u)	29.788
X mittel	(x _m)	161.336
X oben	(x _o)	229.169
Exponent	(a)	5.720

Summe Abst. quad.	0.048
mittlerer Fehler	0.039

Korrelationskoeff.	0.991
Bestimmtheitsmass	0.982

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



Mittelwert	160.87
50%-Wert	161.34
5%-Wert	136.82
1%-Wert	122.46
0,1%-Wert	102.96

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMBADB

Ausgleich mit Normalverteilung

Mittelwert (m) 136.939

Standardabw. (s) 10.198

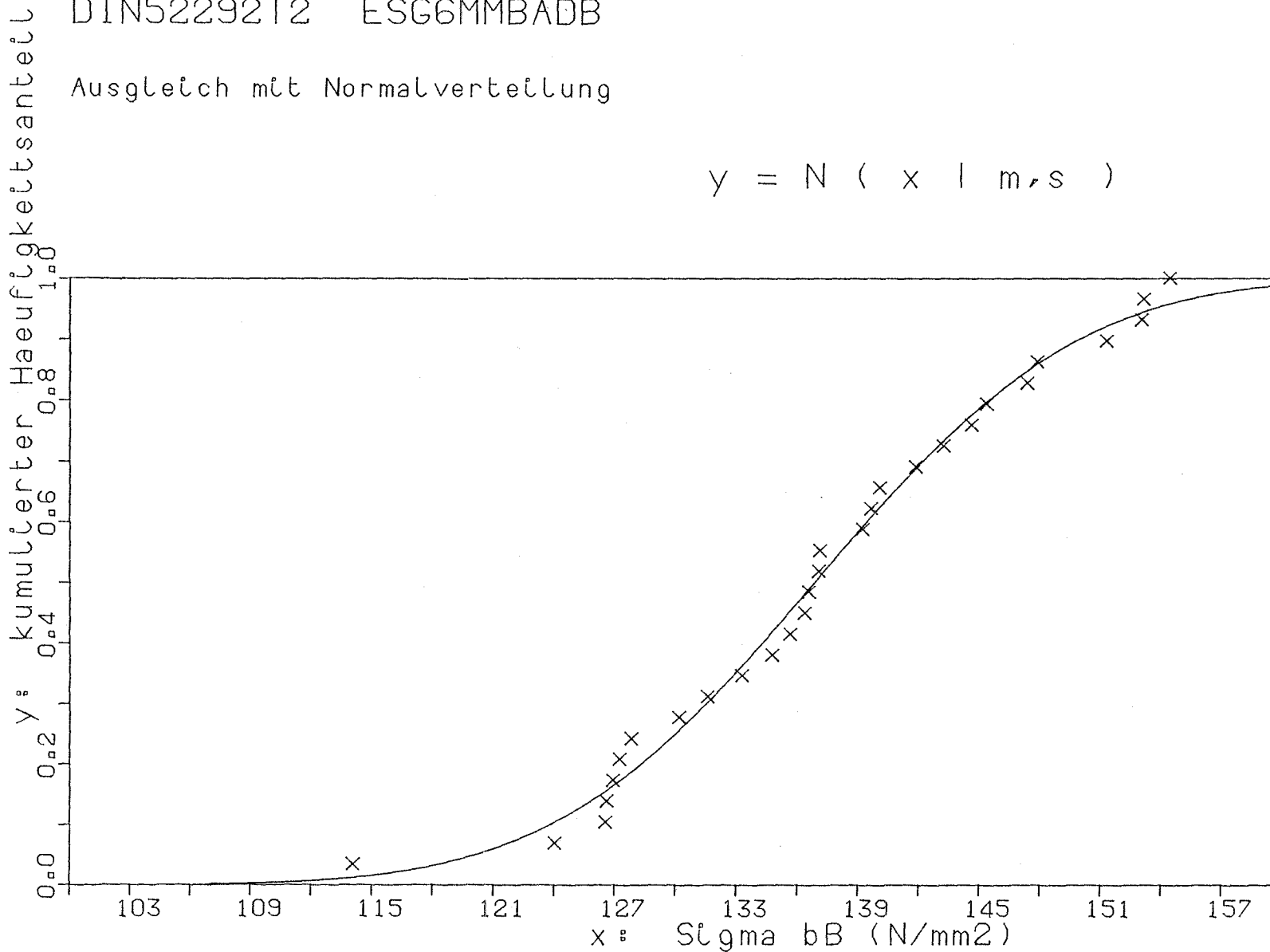
Summe Abst. quad. 0.021

mittlerer Fehler 0.027

Korrelationskoeff. 0.996

Bestimmtheitsmass 0.991

$$y = N(x | m, s)$$



Mittelwert 137.49

50%-Wert 136.94

5%-Wert 120.16

1%-Wert 113.21

0,1%-Wert 105.42

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMBADB

Ausgleich mit log. Normalverteilung

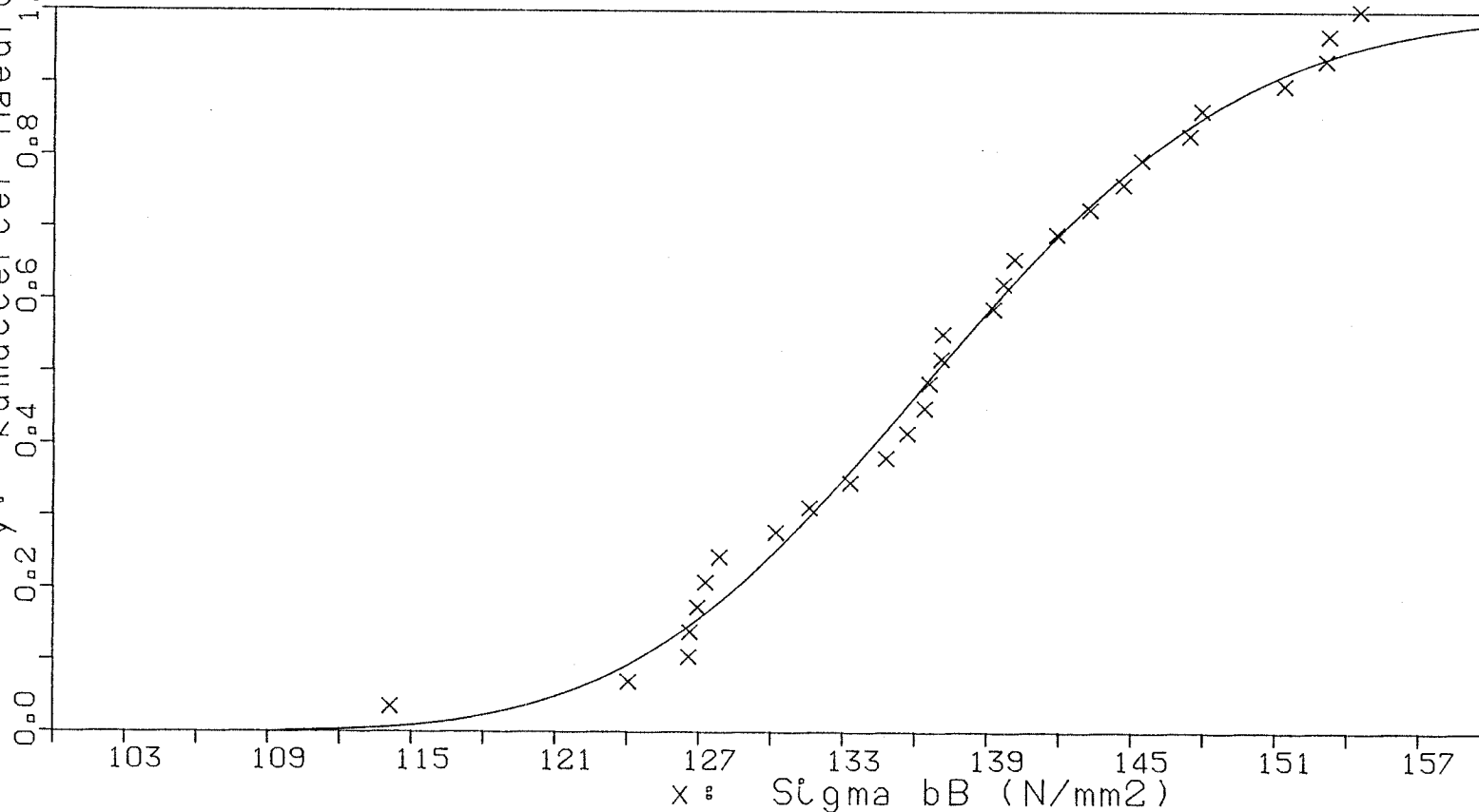
$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 2.136
Standardabw.(s) 0.032

Summe Abst. quad. 0.022
mittlerer Fehler 0.028

Korrelationskoeff. 0.996
Bestimmtheitsmass 0.991

y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert 137.49
50%-Wert 136.81
5%-Wert 121.06
1%-Wert 115.08
0,1%-Wert 108.73

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMBADB

Ausgleich mit Weibullverteilung

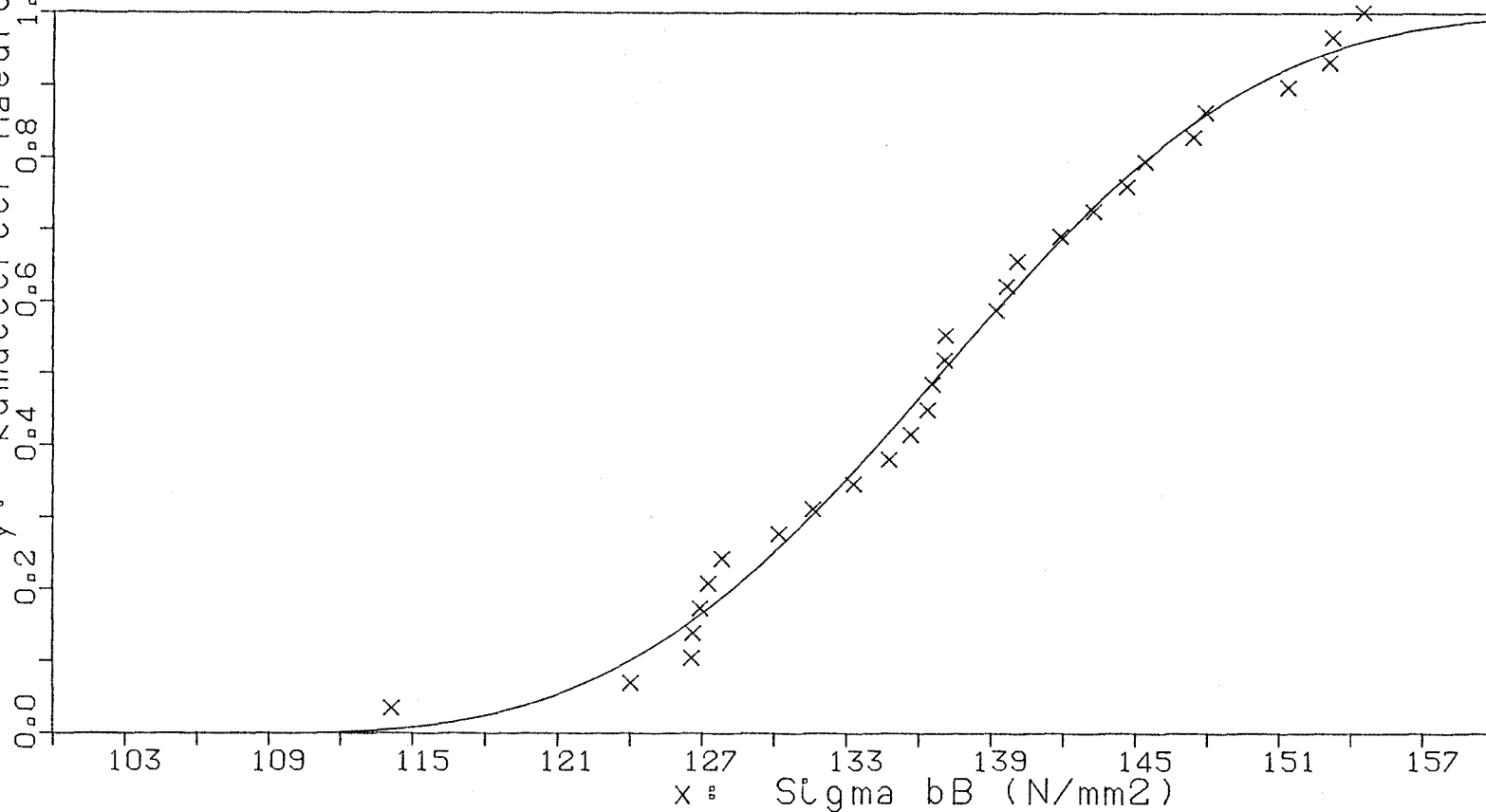
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x - a}{b - a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 106.916
 Verzerrung (b) 140.425
 Exponent (c) 3.345

Summe Abst. quad. 0.021
 mittlerer Fehler 0.027

Korrelationskoeff. 0.996
 Bestimmtheitsmass 0.991

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert 137.49
 50%-Wert 136.95
 5%-Wert 120.70
 1%-Wert 115.39
 0,1%-Wert 111.16

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMBADB

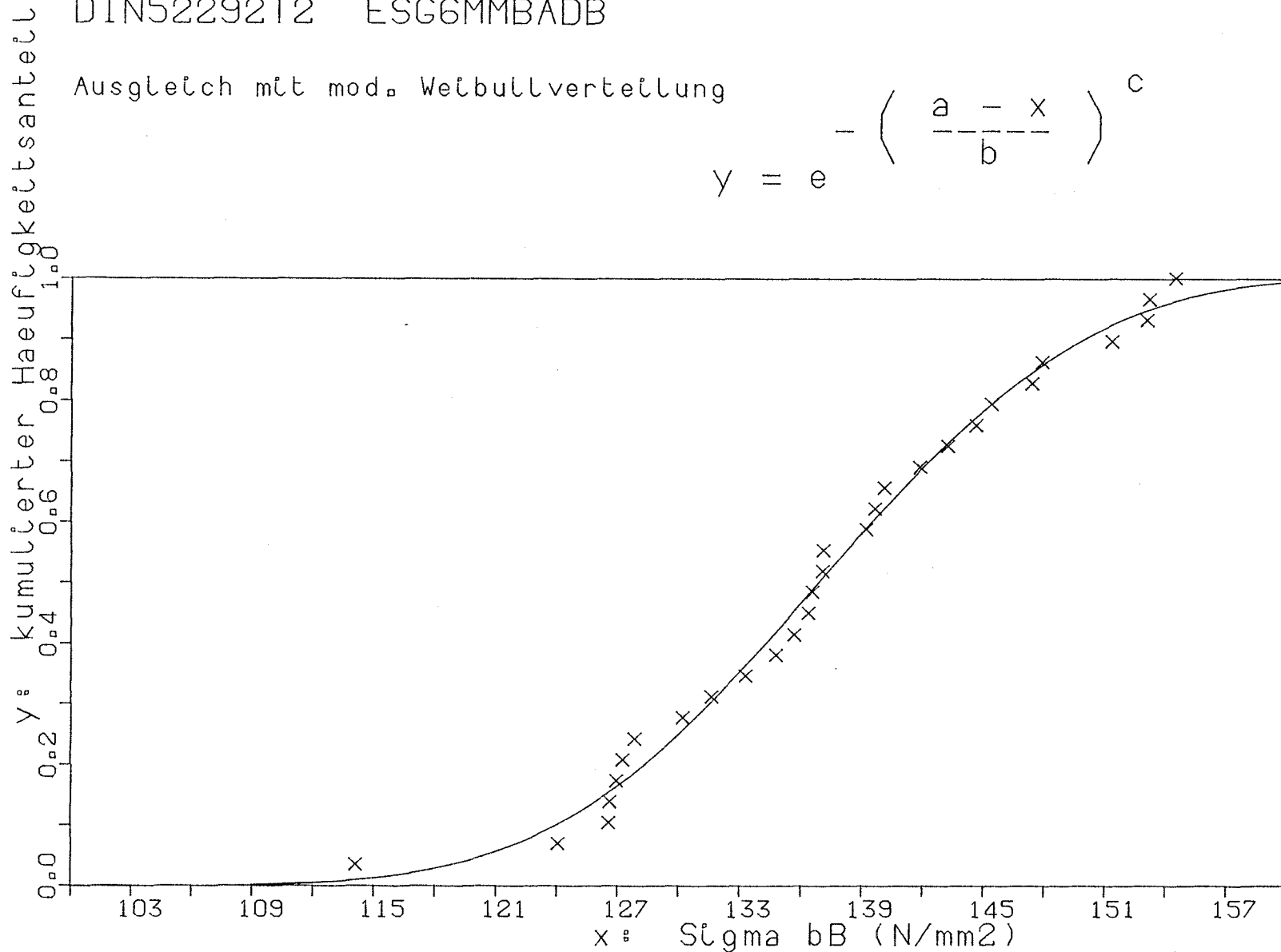
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 167.375
 Verzerrung (b) 33.923
 Exponent (c) 3.385

Summe Abst. quad. 0.020
 mittlerer Fehler 0.027

Korrelationskoeff. 0.996
 Bestimmtheitsmass 0.992



Mittelwert 137.49
 50%-Wert 136.93
 5%-Wert 120.47
 1%-Wert 114.11
 0.1%-Wert 107.34

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMBADB

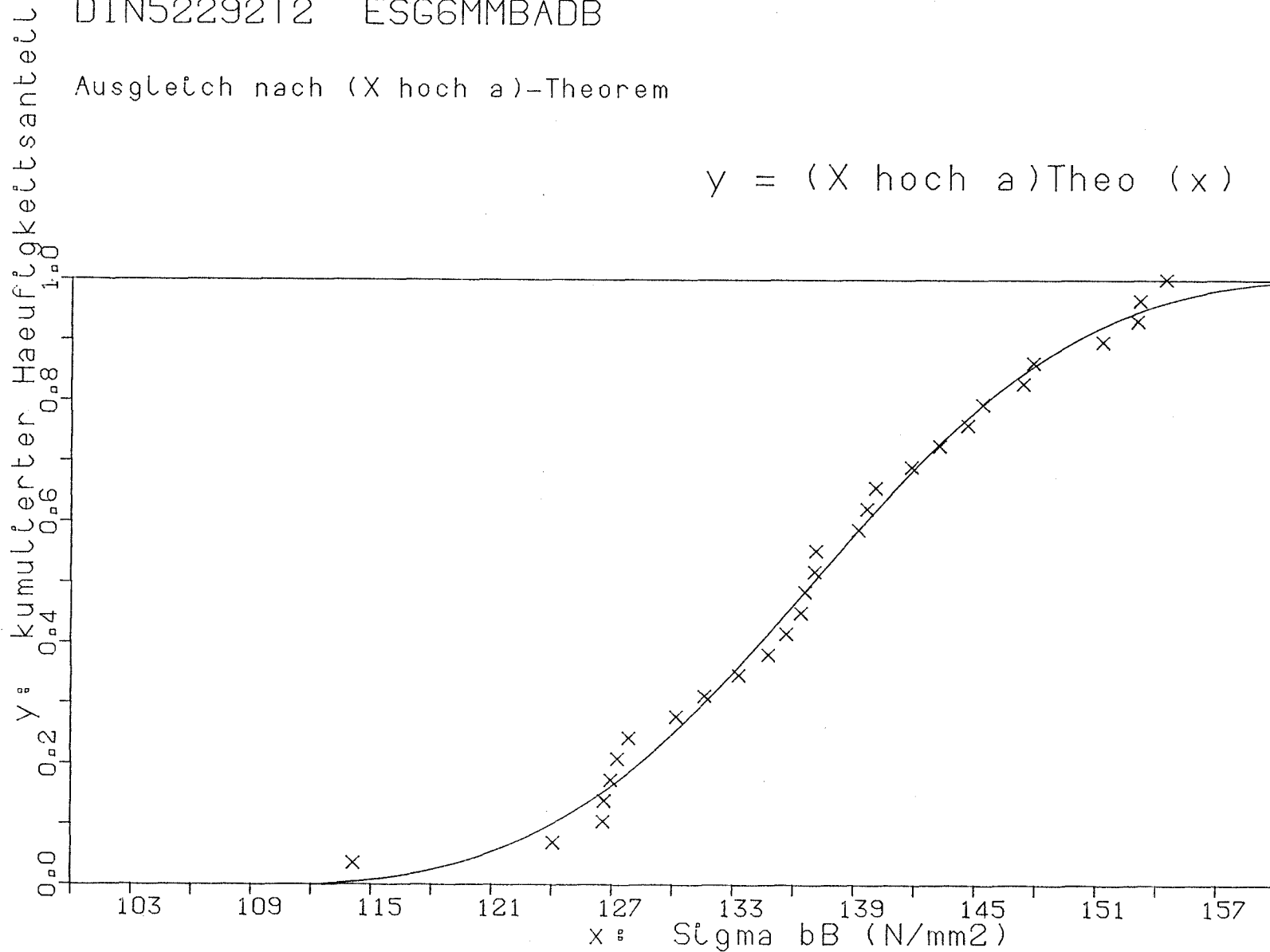
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(x _u)	110.376
X mittel	(x _m)	136.941
X oben	(x _o)	163.738
Exponent	(a)	2.066

Summe Abst. quad. 0.020
mittlerer Fehler 0.027

Korrelationskoeff. 0.996
Bestimmtheitsmass 0.992

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



Mittelwert	137.49
50%-Wert	136.94
5%-Wert	120.65
1%-Wert	115.55
0.1%-Wert	112.18

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMLUFTB

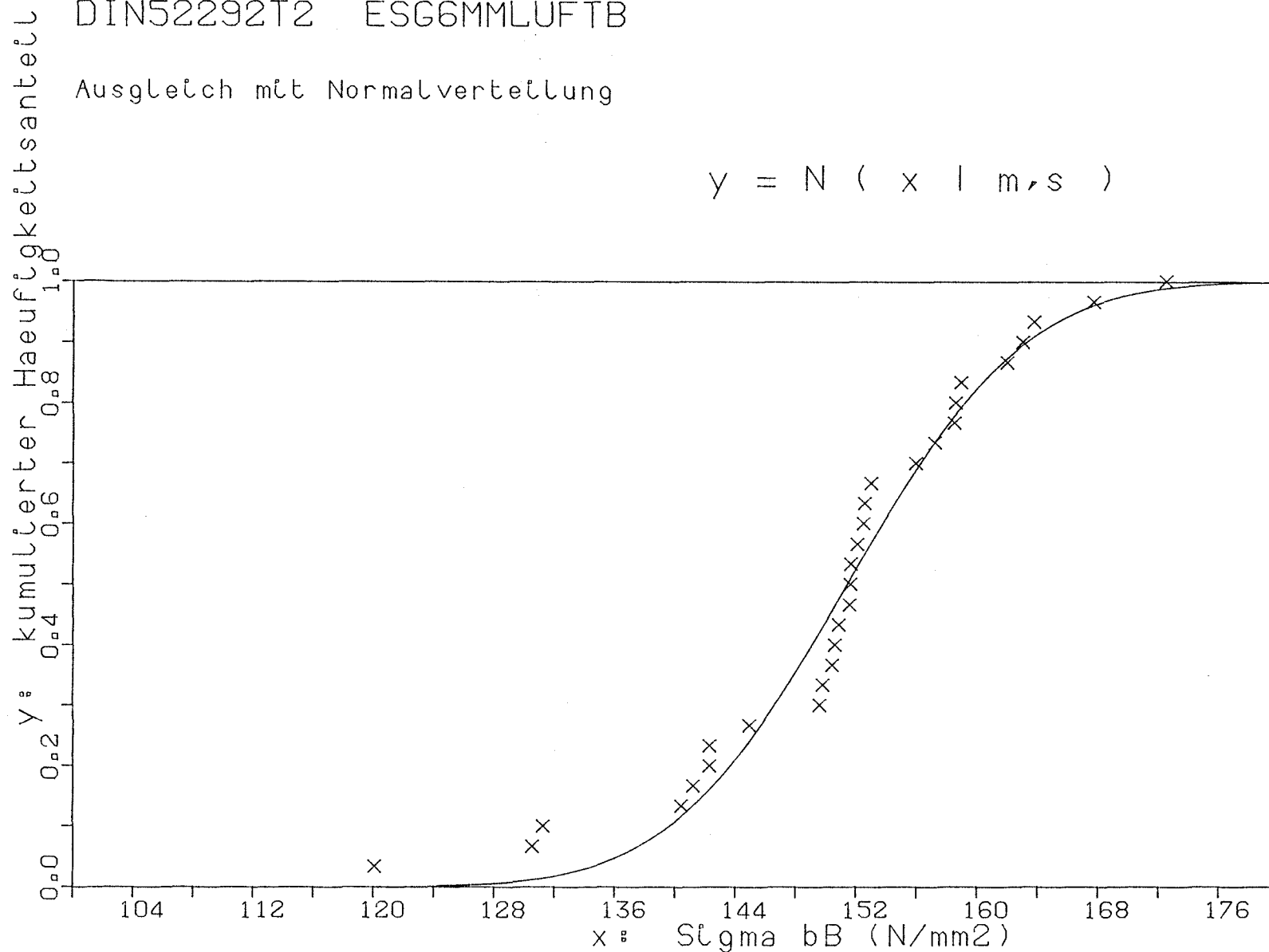
Ausgleich mit Normalverteilung

Mittelwert (m) 151.392
Standardabw.(s) 9.216

Summe Abst. quad. 0.084
mittlerer Fehler 0.054

Korrelationskoeff. 0.983
Bestimmtheitsmass 0.966

$$y = N (x \mid m, s)$$



Mittelwert 150.91
50%-Wert 151.39
5%-Wert 136.23
1%-Wert 129.95
0,1%-Wert 122.91

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMLUFTB

Ausgleich mit log_e Normalverteilung

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 2.180

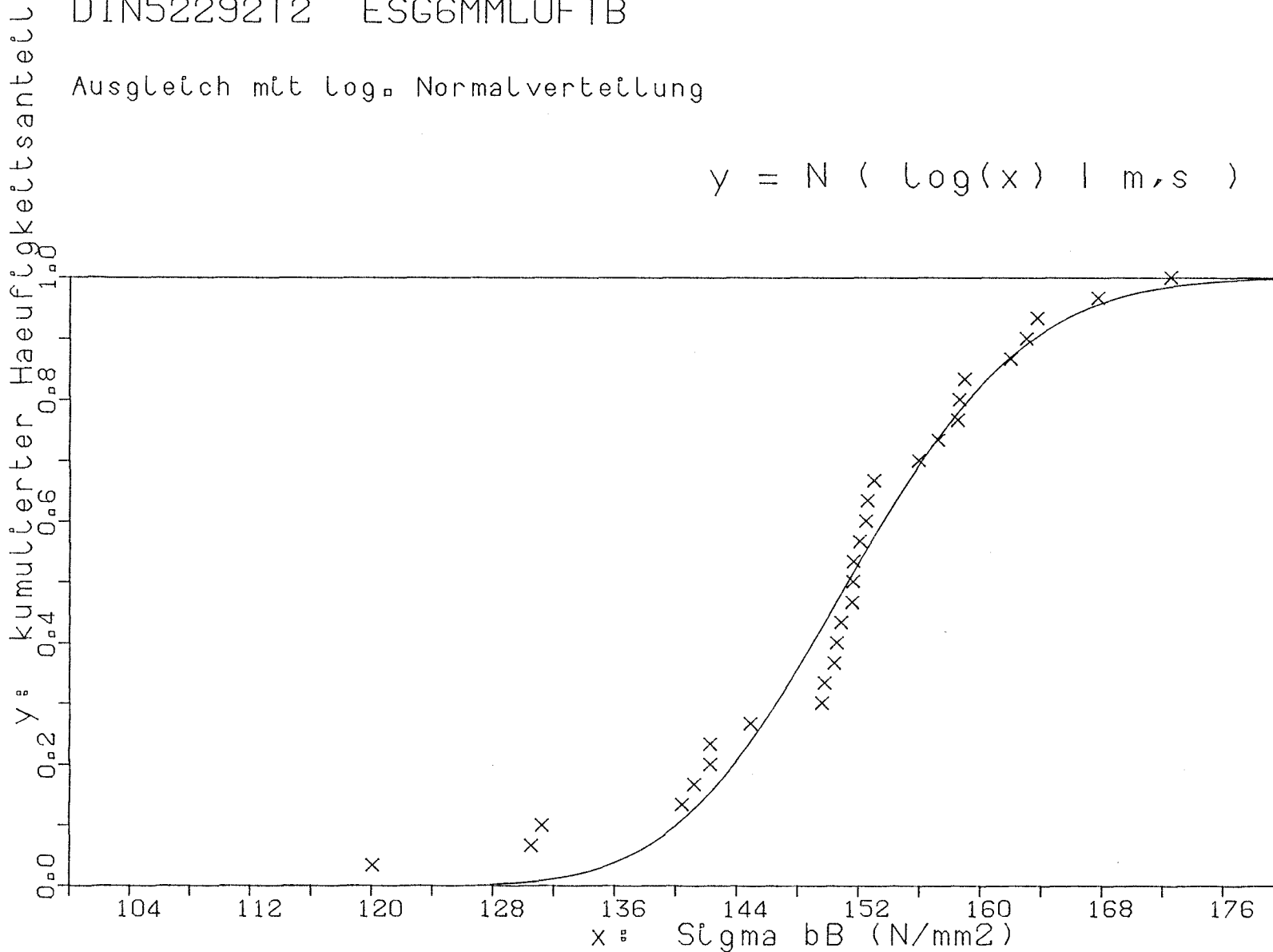
Standardabw. (s) 0.026

Summe Abst. quad. 0.090

mittlerer Fehler 0.056

Korrelationskoeff. 0.982

Bestimmtheitsmass 0.964



Mittelwert 150.91

50%-Wert 151.34

5%-Wert 137.02

1%-Wert 131.49

0,1%-Wert 125.57

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMLUFTB

Ausgleich mit Weibullverteilung

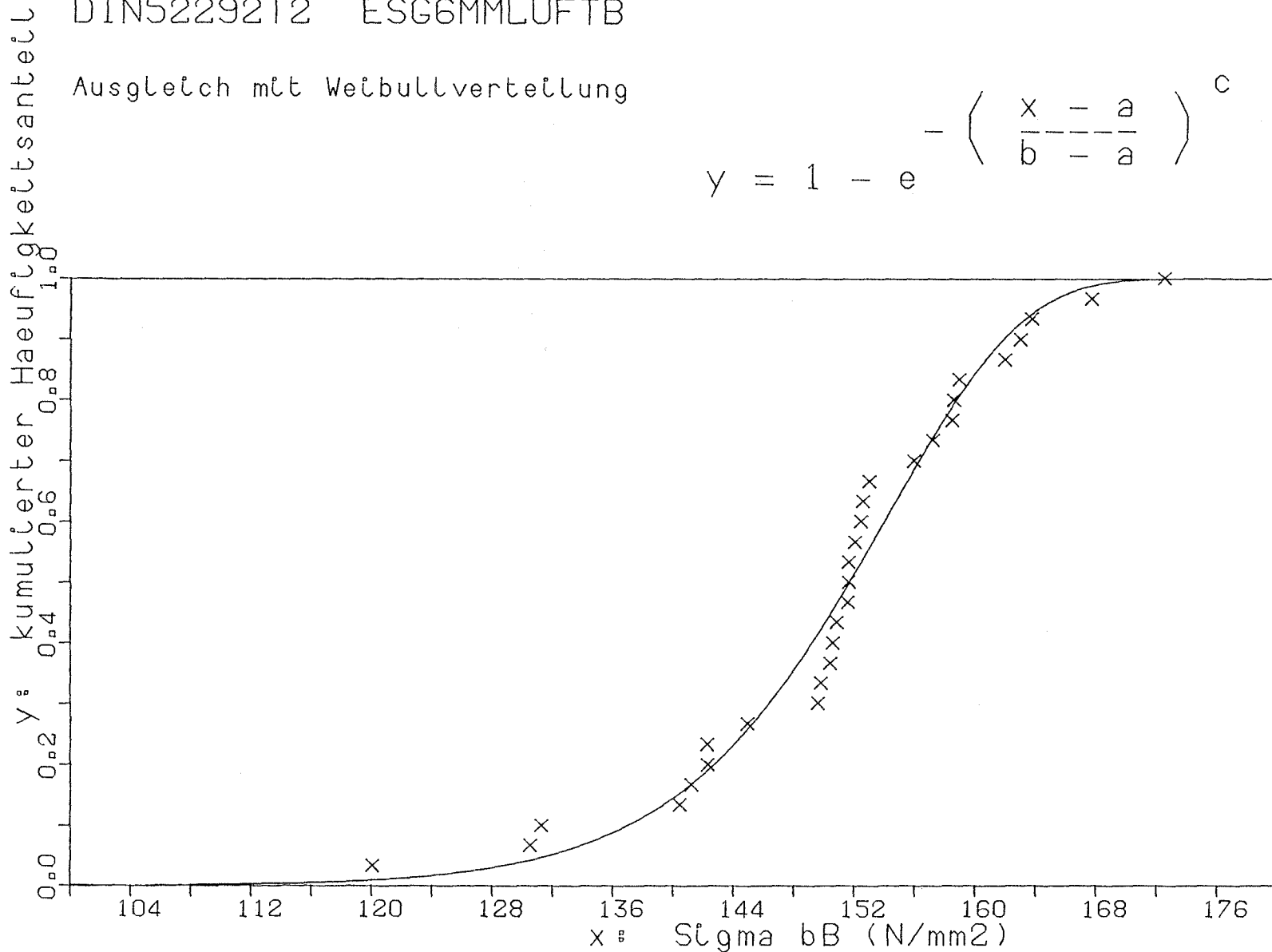
Verschiebung (a) 0.014
 Verzerrung (b) 154.710
 Exponent (c) 18.538

Summe Abst. quad. 0.072
 mittlerer Fehler 0.050

Korrelationskoeff. 0.985
 Bestimmtheitsmass 0.971

Mittelwert 150.91
 50%-Wert 151.68
 5%-Wert 131.81
 1%-Wert 120.71
 0.1%-Wert 106.59

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



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMLUFTB

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

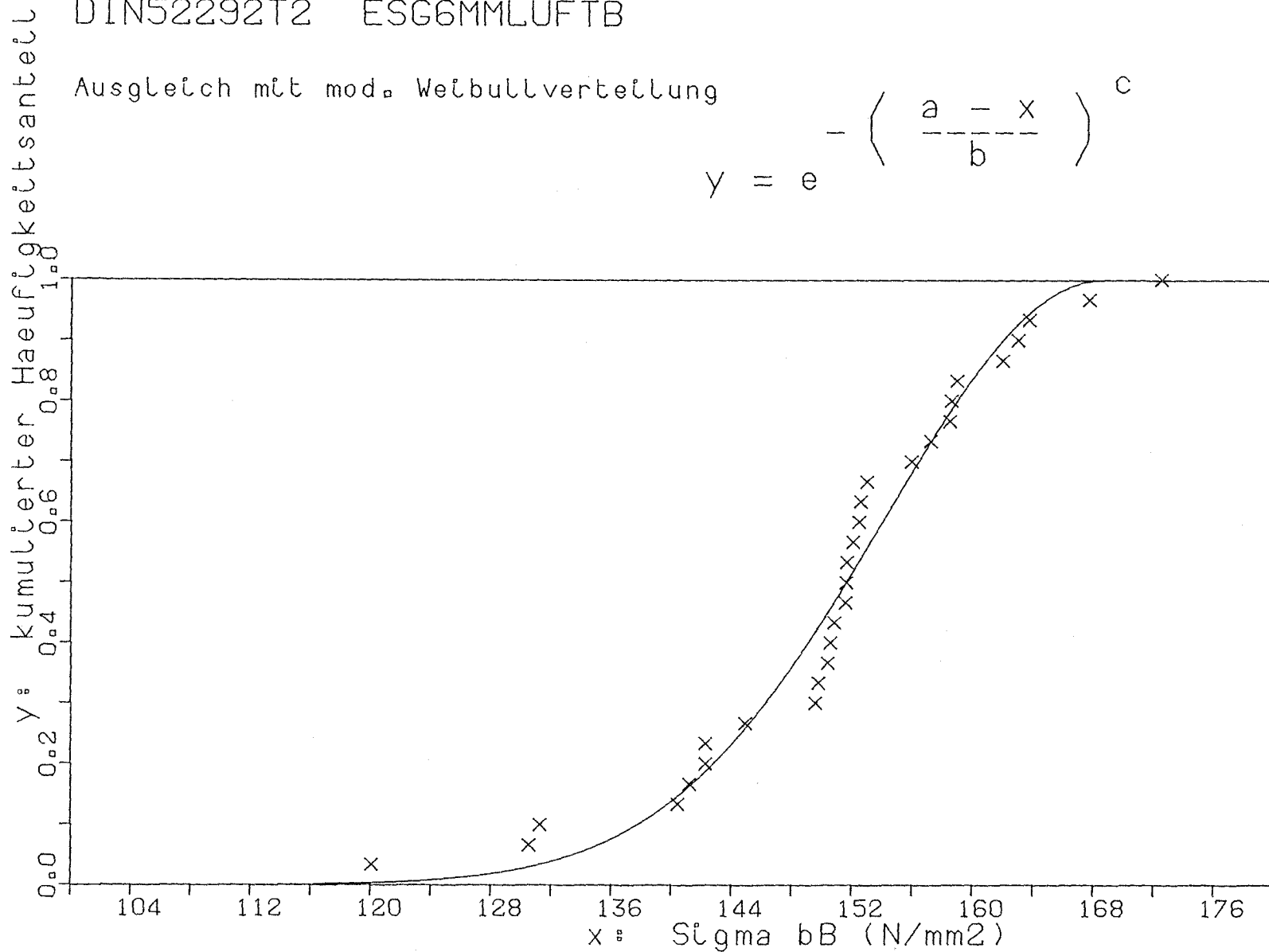
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschlebung (a) 168.612
 Verzerrung (b) 20.386
 Exponent (c) 2.010

Summe Abst. quad. 0.078
 mittlerer Fehler 0.052

Korrelationskoeff. 0.984
 Bestimmtheitsmass 0.969

Mittelwert 150.91
 50%-Wert 151.62
 5%-Wert 133.42
 1%-Wert 125.03
 0,1%-Wert 115.29



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52292T2 ESG6MMLUFTB

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

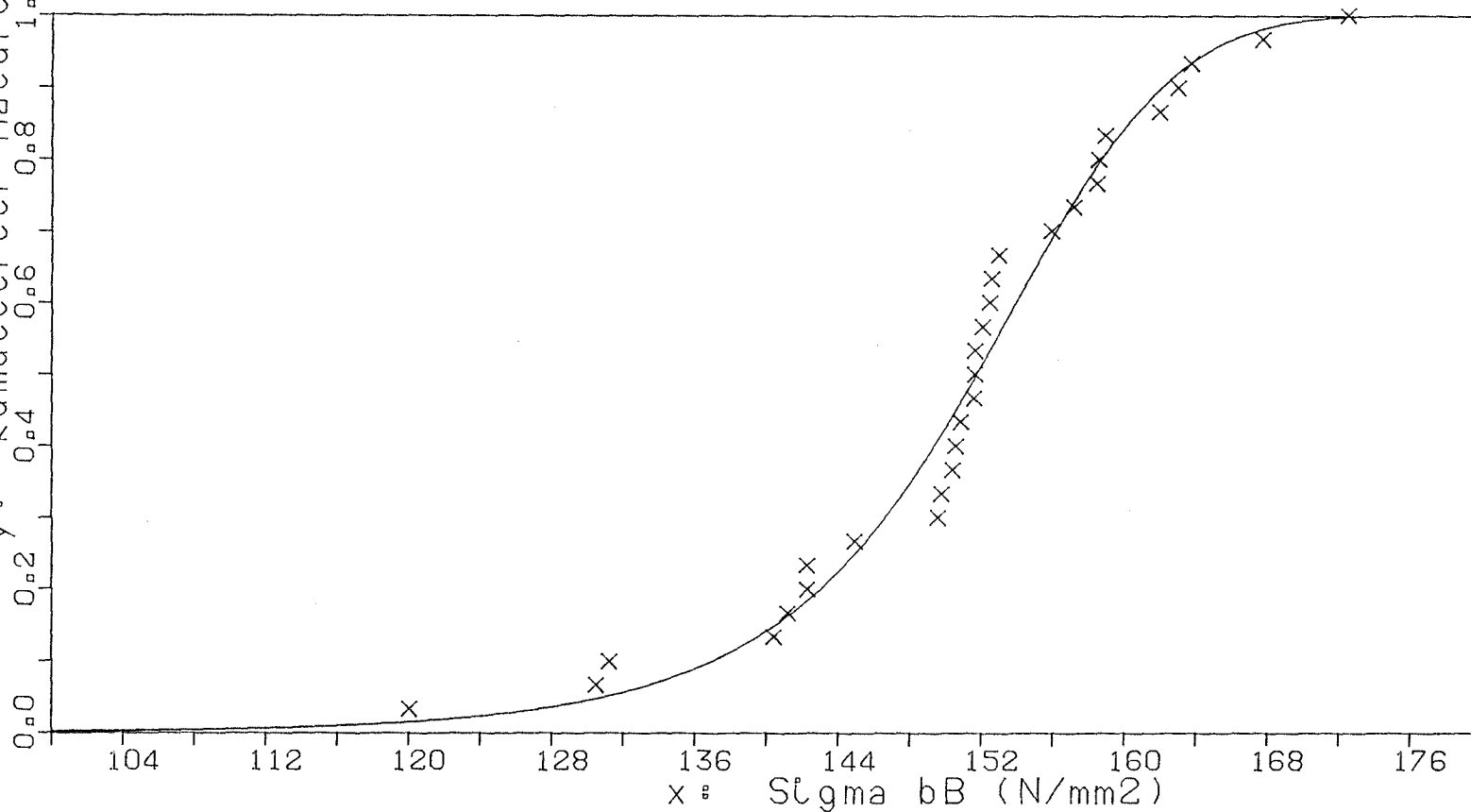
X unten	(x _u)	0.102
X mittel	(x _m)	151.679
X oben	(x _o)	179.371
Exponent	(a)	4.156

Summe Abst. quad. 0.067
mittlerer Fehler 0.048

Korrelationskoeff. 0.986
Bestimmtheitsmass 0.973

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

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert	150.91
50%-Wert	151.68
5%-Wert	130.85
1%-Wert	115.61
0.1%-Wert	91.43

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMBADA

Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$

Mittelwert (m) 172.151

Standardabw. (s) 10.519

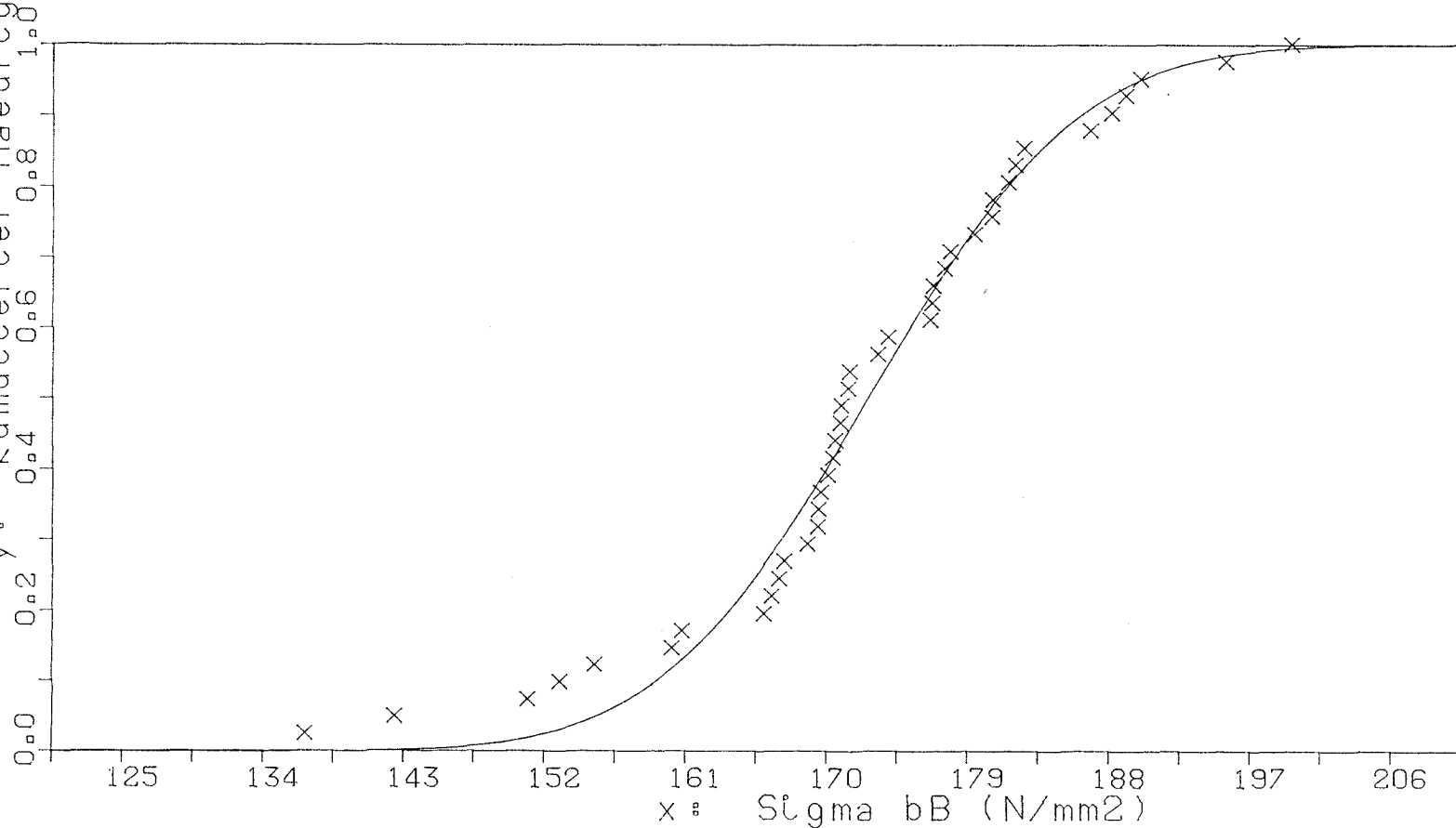
Summe Abst. quad. 0.063

mittlerer Fehler 0.040

Korrelationskoeff. 0.991

Bestimmtheitsmass 0.982

y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMBADA

Ausgleich mit log. Normalverteilung

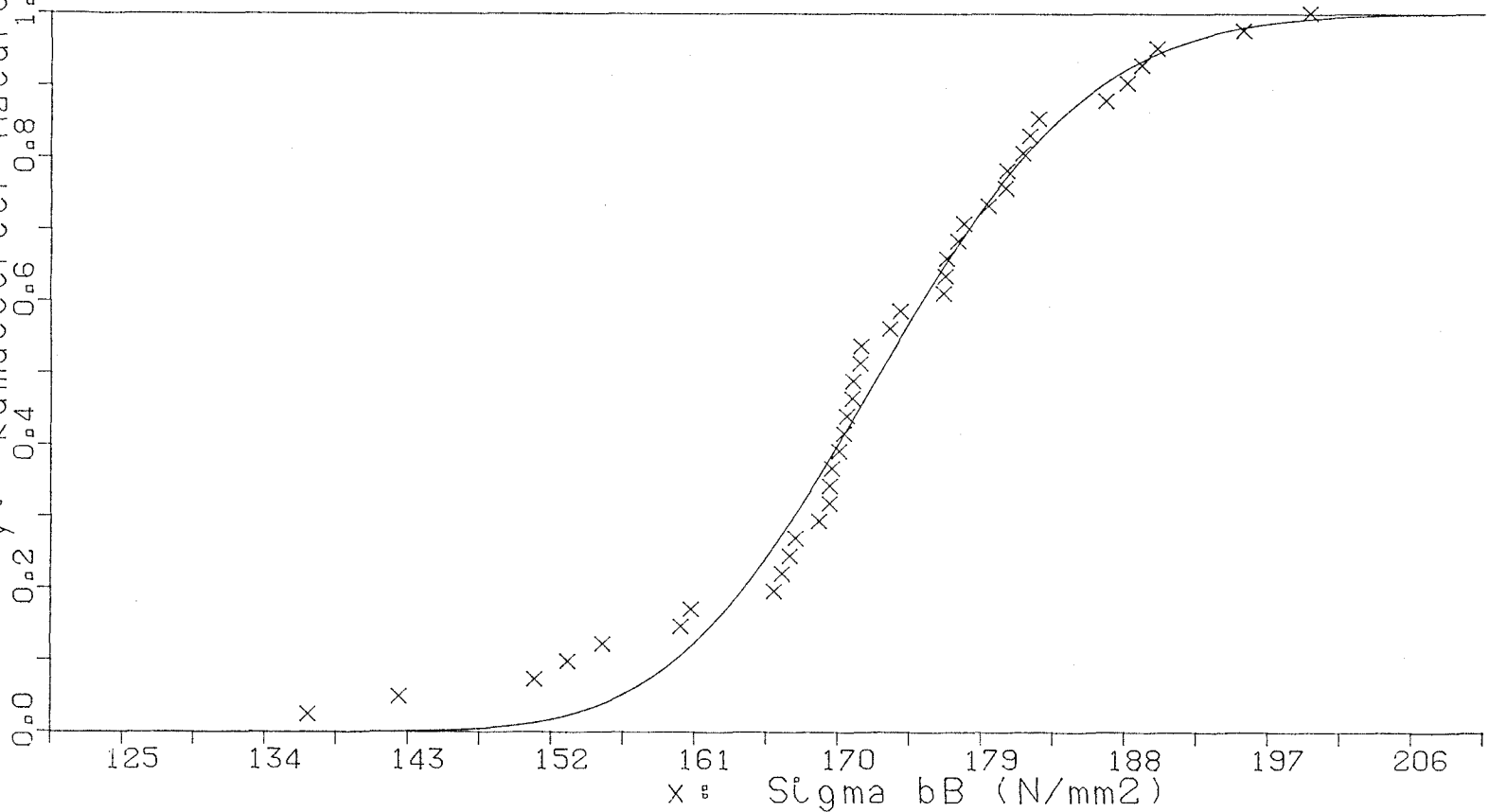
Mittelwert (m) 2.236
Standardabw.(s) 0.026

Summe Abst. quad. 0.065
mittlerer Fehler 0.040

Korrelationskoeff. 0.990
Bestimmtheitsmass 0.981

$$y = N (\log(x) | m, s)$$

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert 171.85
50%-Wert 172.08
5%-Wert 155.80
1%-Wert 149.52
0.1%-Wert 142.78

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMBADA

Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 160.931
 Verzerrung (b) 175.031
 Exponent (c) 1.359

Summe Abst. quad. 0.109
 mittlerer Fehler 0.052

Korrelationskoeff. 0.984
 Bestimmtheitsmass 0.968

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil

1.0

0.8

0.6

0.4

0.2

0.0

125

134

143

152

161

170

179

188

197

206

x: Sigma bB (N/mm²)

Mittelwert 171.85
 50%-Wert 171.70
 5%-Wert 162.52
 1%-Wert 161.41
 0.1%-Wert 161.02

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMBADA

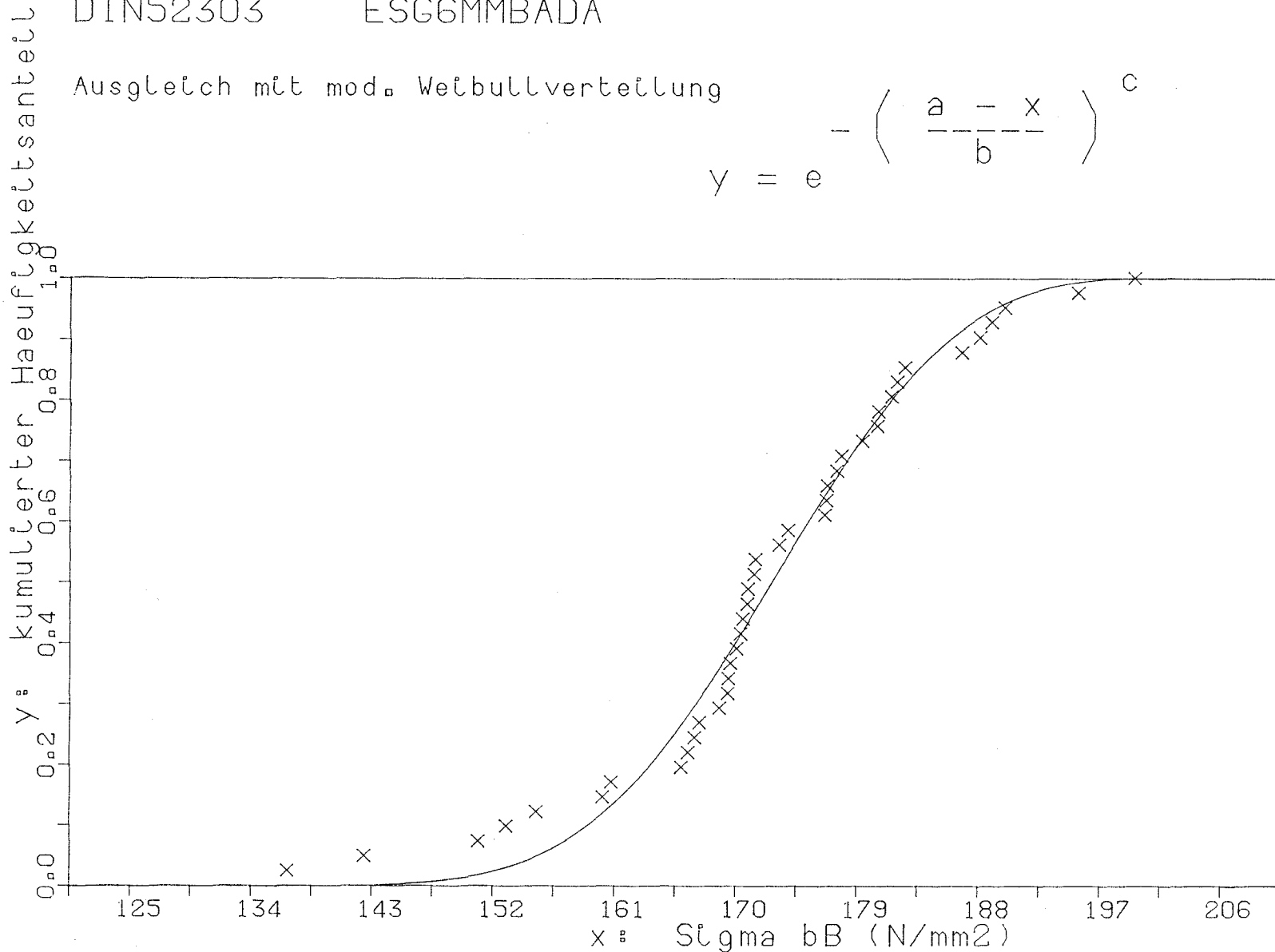
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschlebung (a) 201.532
 Verzerrung (b) 32.971
 Exponent (c) 3.148

Summe Abst. quad. 0.066
 mittlerer Fehler 0.041

Korrelationskoeff. 0.990
 Bestimmtheitsmass 0.981



Mittelwert 171.85
 50%-Wert 172.18
 5%-Wert 154.81
 1%-Wert 147.97
 0.1%-Wert 140.61

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMBADA

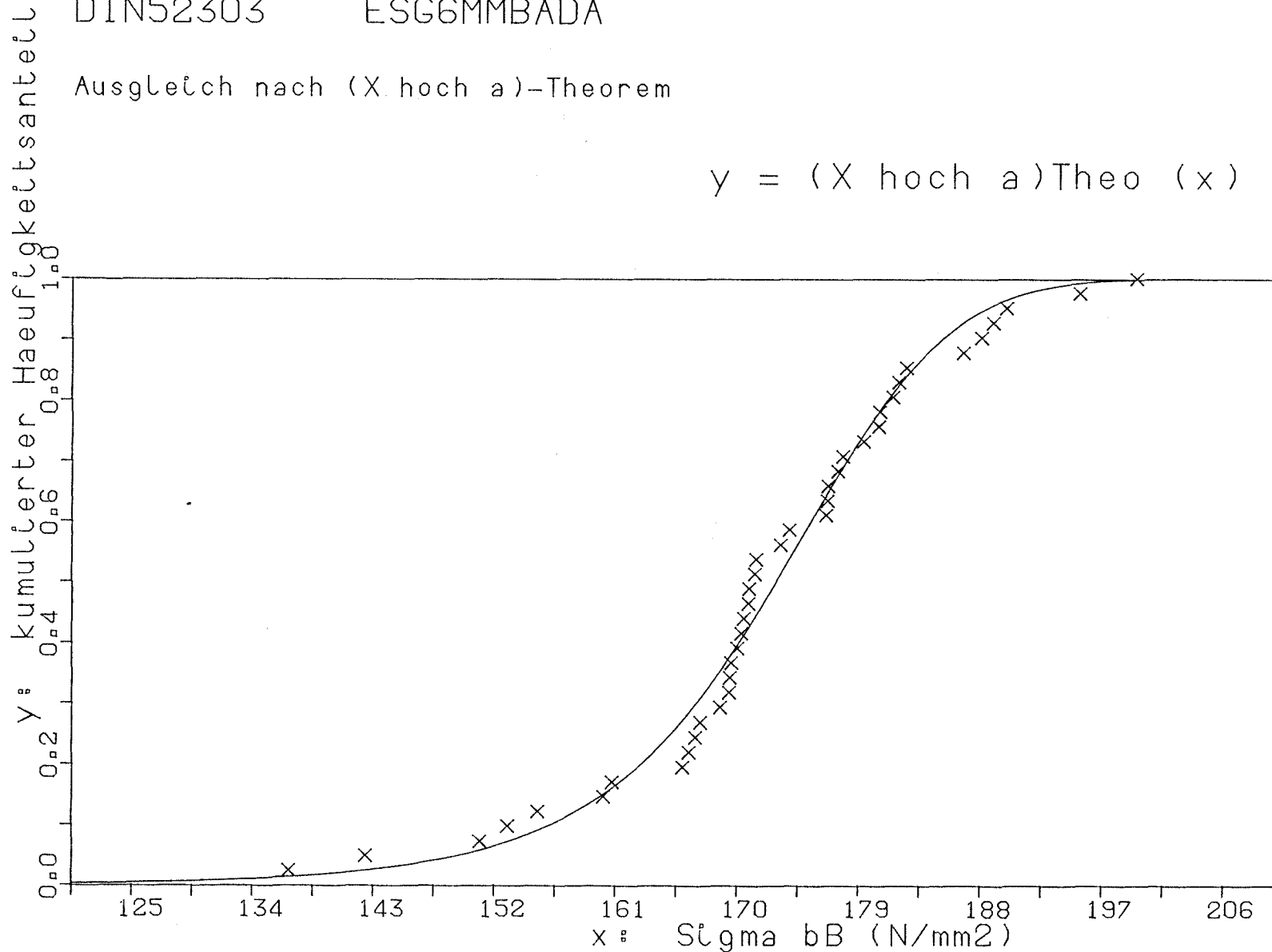
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	0.000
X mittel	(xm)	172.420
X oben	(xo)	208.147
Exponent	(a)	4.512

Summe Abst. quad.	0.058
mittlerer Fehler	0.038

Korrelationskoeff.	0.991
Bestimmtheitsmass	0.983

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



Mittelwert	171.85
50%-Wert	172.42
5%-Wert	148.90
1%-Wert	132.26
0.1%-Wert	106.33

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMLUFTA

Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$

Mittelwert (m) 174.027

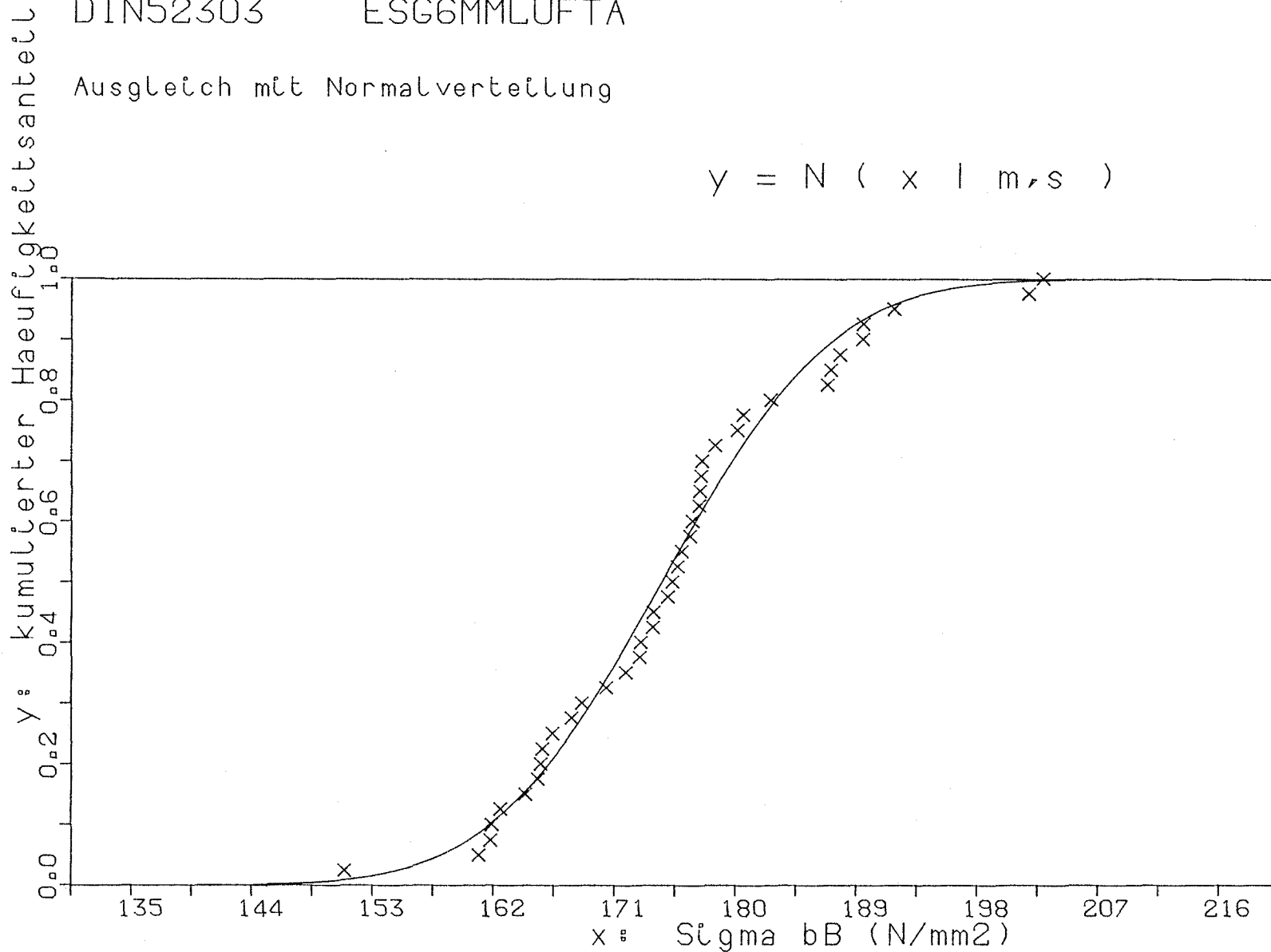
Standardabw.(s) 9.988

Summe Abst. quad. 0.050

mittlerer Fehler 0.036

Korrelationskoeff. 0.992

Bestimmtheitsmass 0.985



Mittelwert 175.04

50%-Wert 174.03

5%-Wert 157.59

1%-Wert 150.79

0.1%-Wert 143.16

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMLUFTA

Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 2.240

Standardabw. (s) 0.025

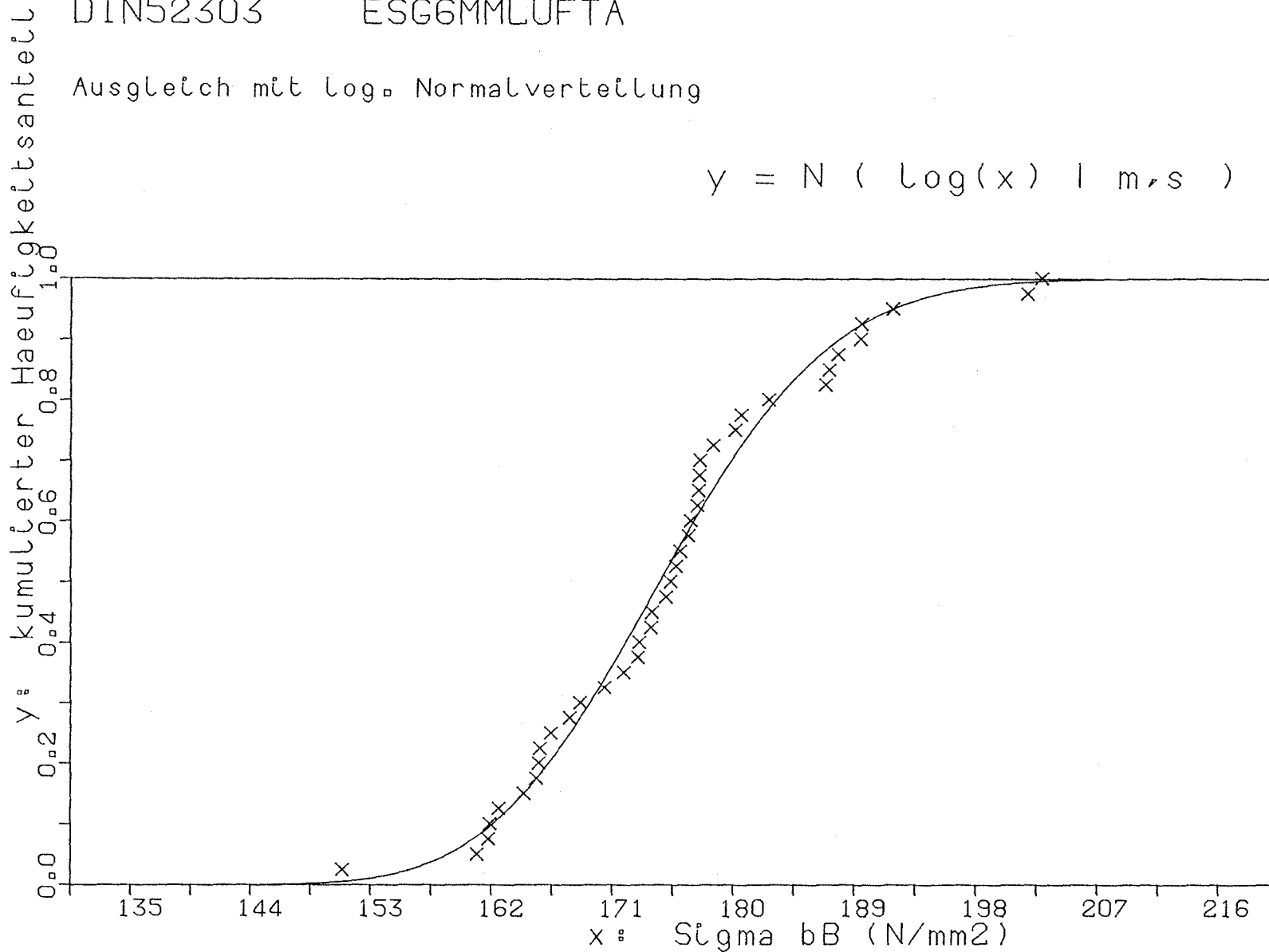
Summe Abst. quad. 0.050

mittlerer Fehler 0.036

Korrelationskoeff. 0.993

Bestimmtheitsmass 0.985

$$y = N(\log(x) | m, s)$$



Mittelwert 175.04

50%-Wert 173.95

5%-Wert 158.20

1%-Wert 152.10

0,1%-Wert 145.54

Anlage 121

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMLUFTA

Ausgleich mit Weibullverteilung

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

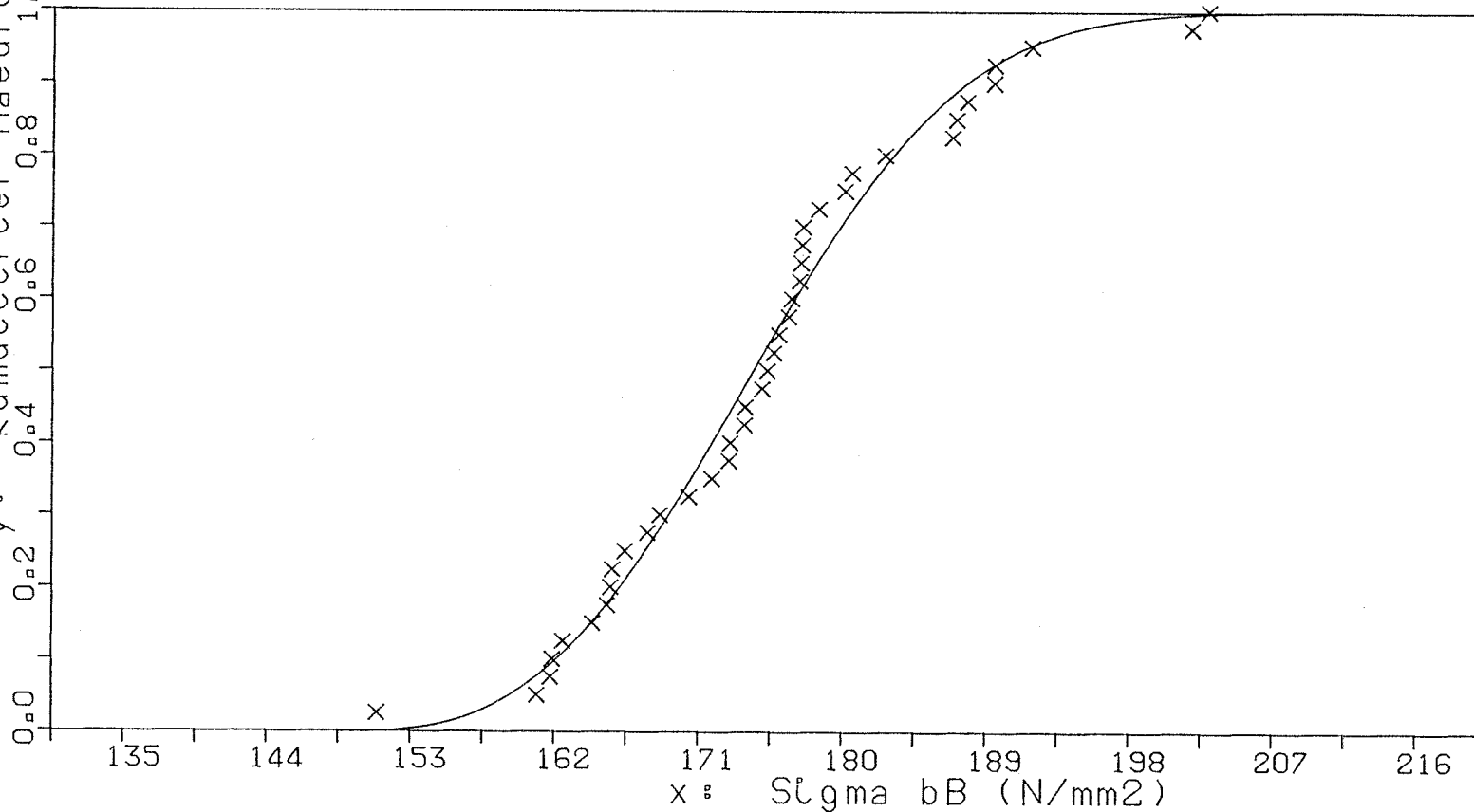
Verschiebung (a) 148.615
 Verzerrung (b) 177.414
 Exponent (c) 2.849

Summe Abst. quad. 0.051
 mittlerer Fehler 0.036

Korrelationskoeff. 0.992
 Bestimmtheitsmass 0.985

Mittelwert 175.04
 50%-Wert 173.94
 5%-Wert 158.77
 1%-Wert 154.34
 0,1%-Wert 151.16

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMLUFTA

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

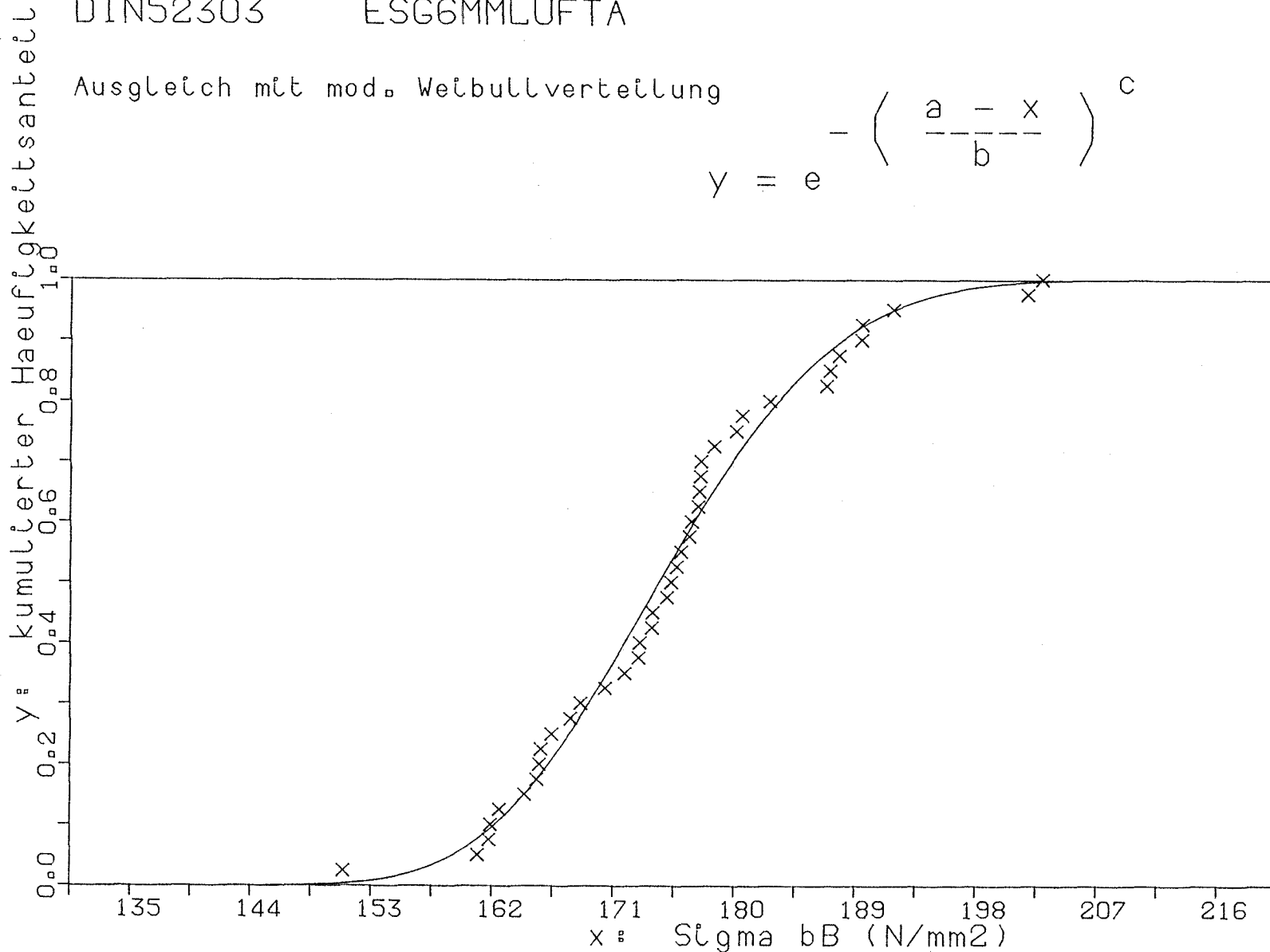
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 213.753
 Verzerrung (b) 43.233
 Exponent (c) 4.509

Summe Abst. quad. 0.051
 mittlerer Fehler 0.036

Korrelationskoeff. 0.992
 Bestimmtheitsmass 0.985

Mittelwert 175.04
 50%-Wert 173.90
 5%-Wert 158.61
 1%-Wert 153.09
 0,1%-Wert 147.38



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMLUFTA

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	0.088
X mittel	(xm)	174.018
X oben	(xo)	431.461
Exponent	(a)	17.383

Summe Abst. quad. 0.046
mittlerer Fehler 0.034

Korrelationskoeff. 0.993
Bestimmtheitsmass 0.986

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

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil

1.0

0.8

0.6

0.4

0.2

0.0

135

144

153

162

171

180

189

198

207

216

x: Sigma bB (N/mm²)

Mittelwert	175.04
50%-Wert	174.02
5%-Wert	156.76
1%-Wert	147.42
0,1%-Wert	134.80

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMBADB

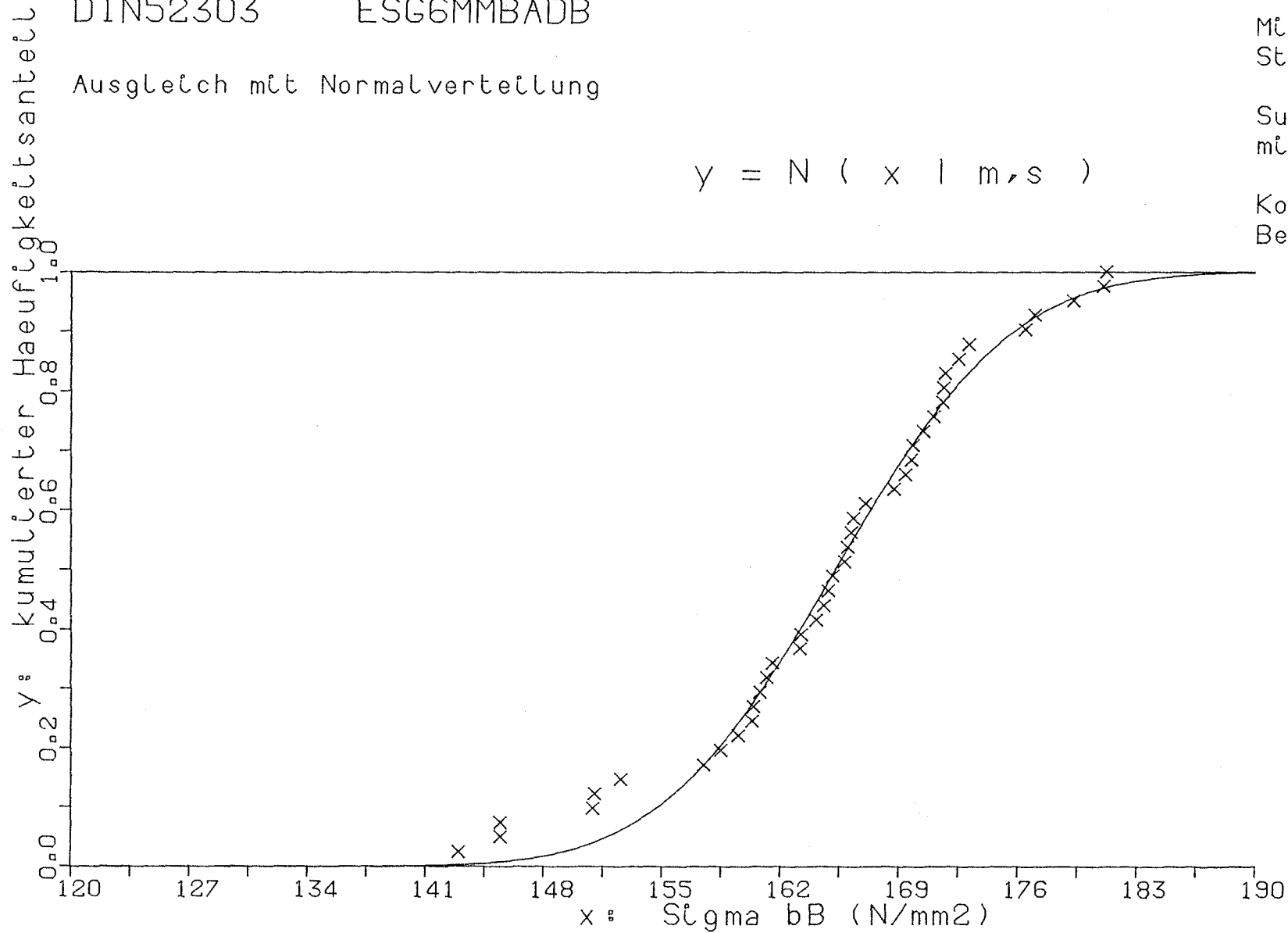
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$

Mittelwert (m) 165.271
Standardabw. (s) 8.201

Summe Abst. quad. 0.040
mittlerer Fehler 0.032

Korrelationskoeff. 0.994
Bestimmtheitsmass 0.988



Mittelwert 164.86
50%-Wert 165.27
5%-Wert 151.78
1%-Wert 146.19
0.1%-Wert 139.93

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMBADB

Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 2.218

Standardabw. (s) 0.021

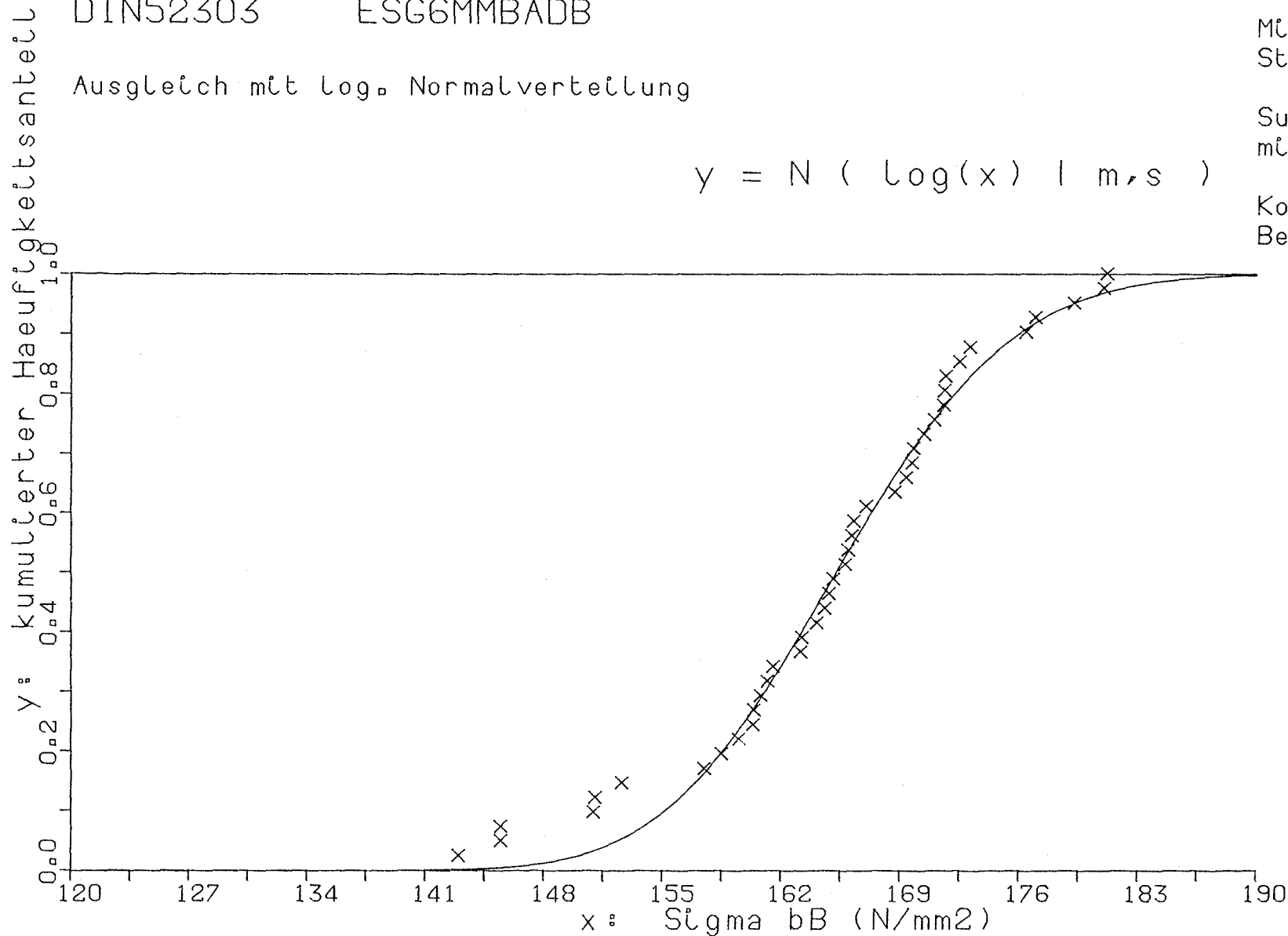
Summe Abst. quad. 0.045

mittlerer Fehler 0.034

Korrelationskoeff. 0.993

Bestimmtheitsmass 0.987

$$y = N(\log(x) | m, s)$$



Mittelwert 164.86

50%-Wert 165.22

5%-Wert 152.37

1%-Wert 147.35

0,1%-Wert 141.91

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMBADB

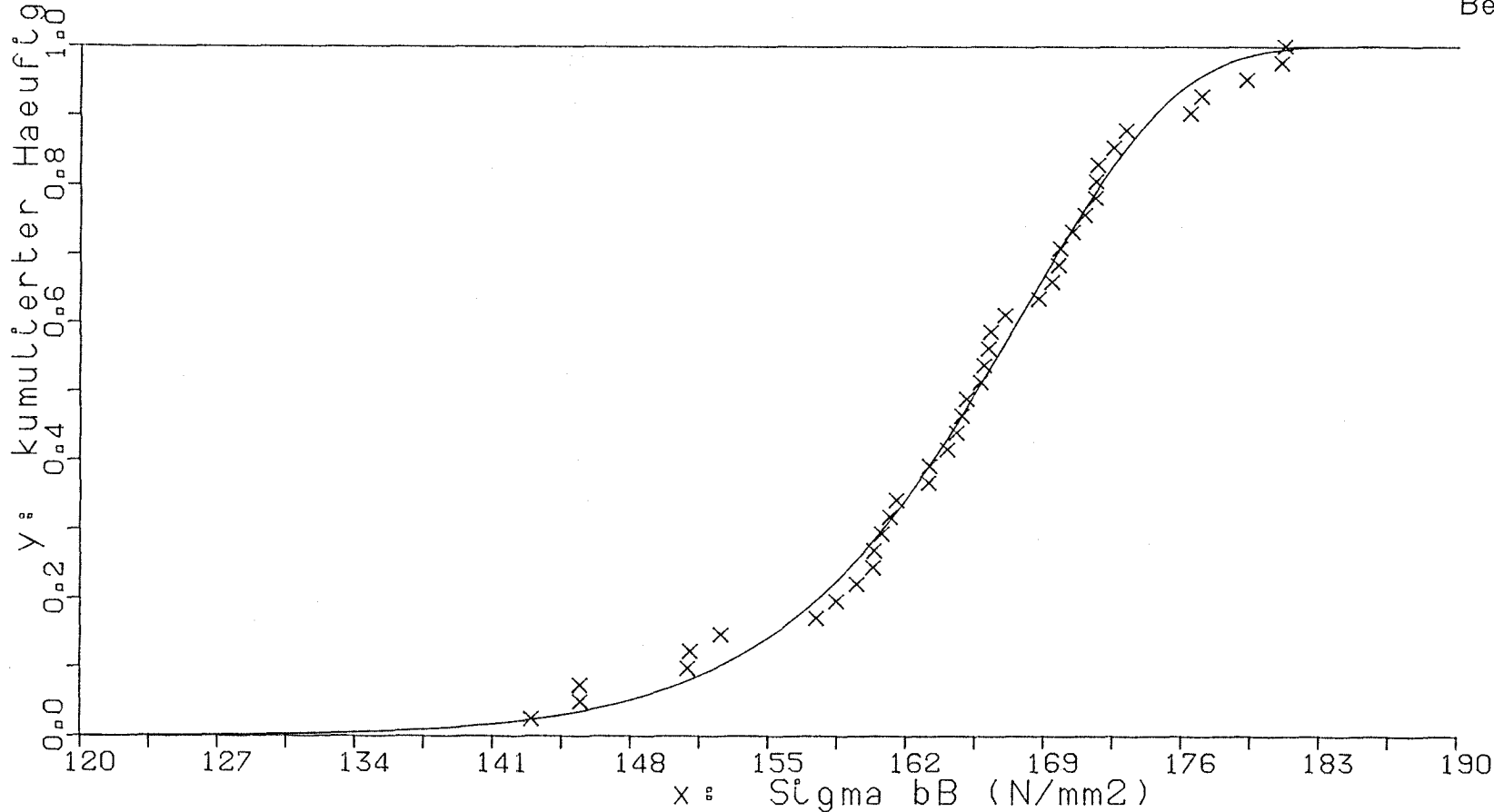
Ausgleich mit Weibullverteilung

Verschiebung (a) 0.106
 Verzerrung (b) 168.275
 Exponent (c) 22.763

Summe Abst. quad. 0.026
 mittlerer Fehler 0.026

Korrelationskoeff. 0.996
 Bestimmtheitsmass 0.992

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



Mittelwert 164.86
 50%-Wert 165.59
 5%-Wert 147.70
 1%-Wert 137.50
 0,1%-Wert 124.26

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMBADB

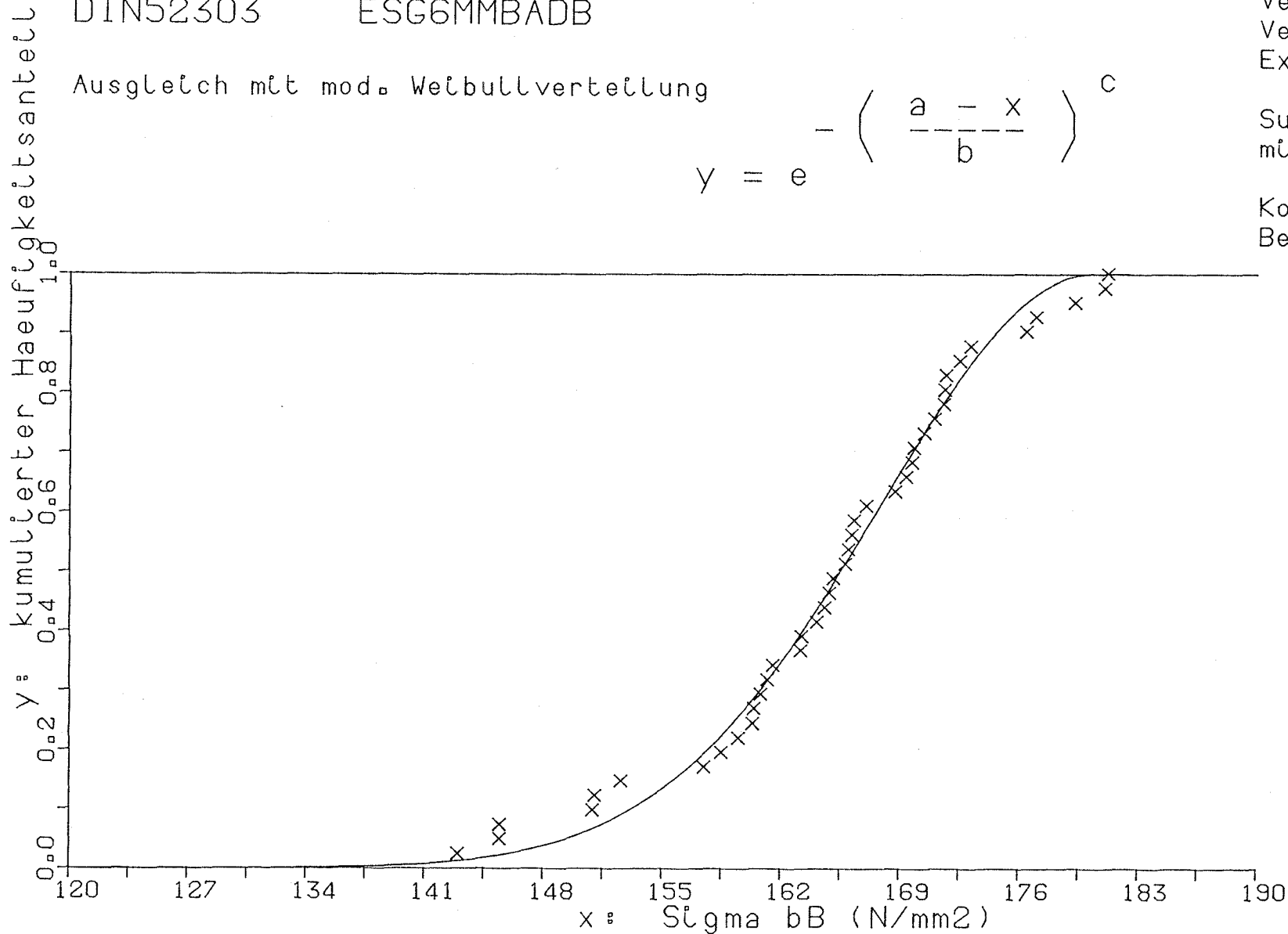
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 180.336
 Verzerrung (b) 17.827
 Exponent (c) 1.985

Summe Abst. quad. 0.033
 mittlerer Fehler 0.029

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.990



Mittelwert 164.86
 50%-Wert 165.51
 5%-Wert 149.36
 1%-Wert 141.86
 0,1%-Wert 133.15

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMBADB

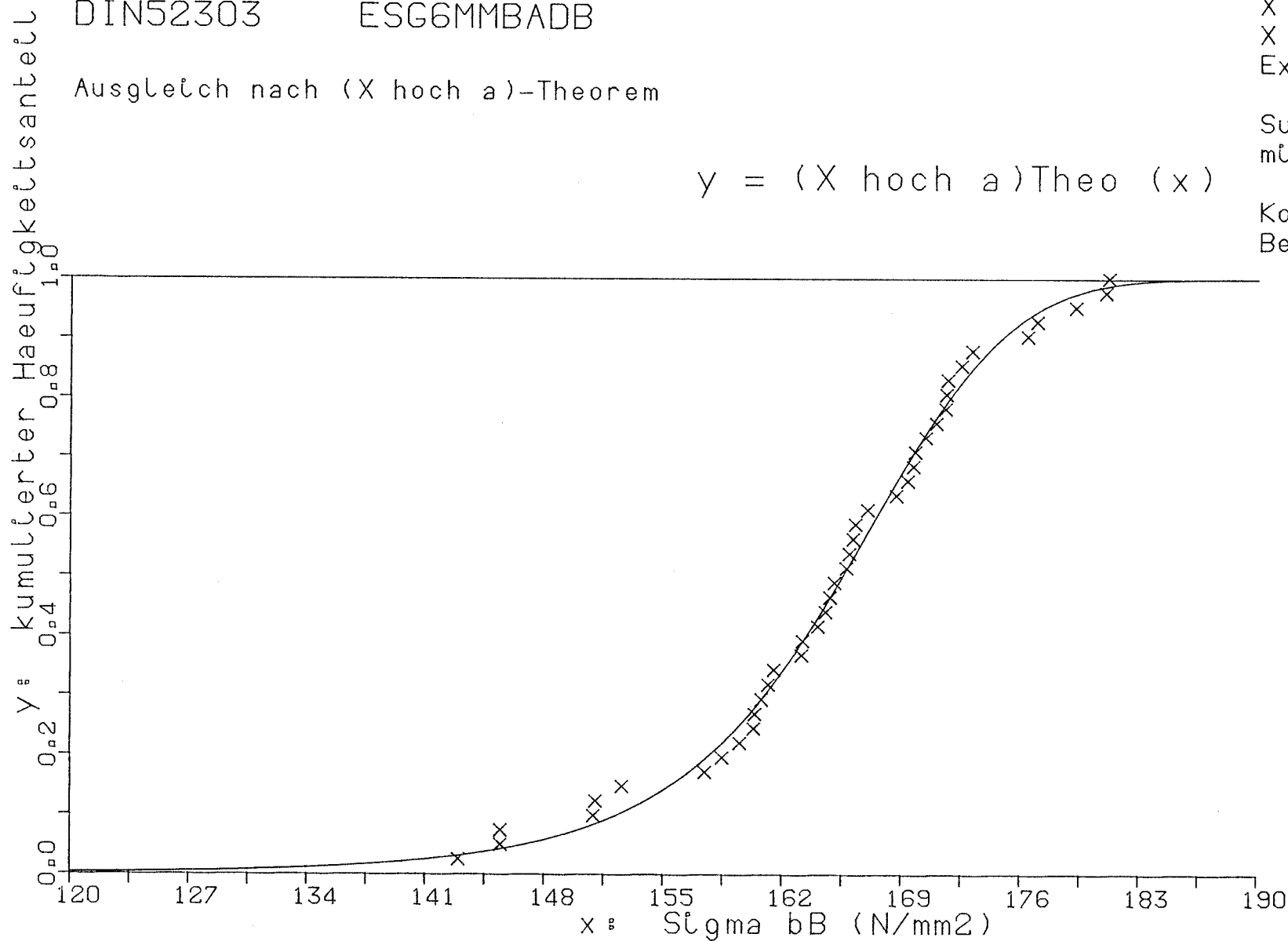
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	0.009
X mittel	(xm)	165.574
X oben	(xo)	191.896
Exponent	(a)	4.481

Summe Abst. quad.	0.022
mittlerer Fehler	0.023

Korrelationskoeff.	0.997
Bestimmtheitsmass	0.994

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



Mittelwert	164.86
50%-Wert	165.57
5%-Wert	146.85
1%-Wert	132.96
0,1%-Wert	110.12

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMLUFTB

Ausgleich mit Normalverteilung

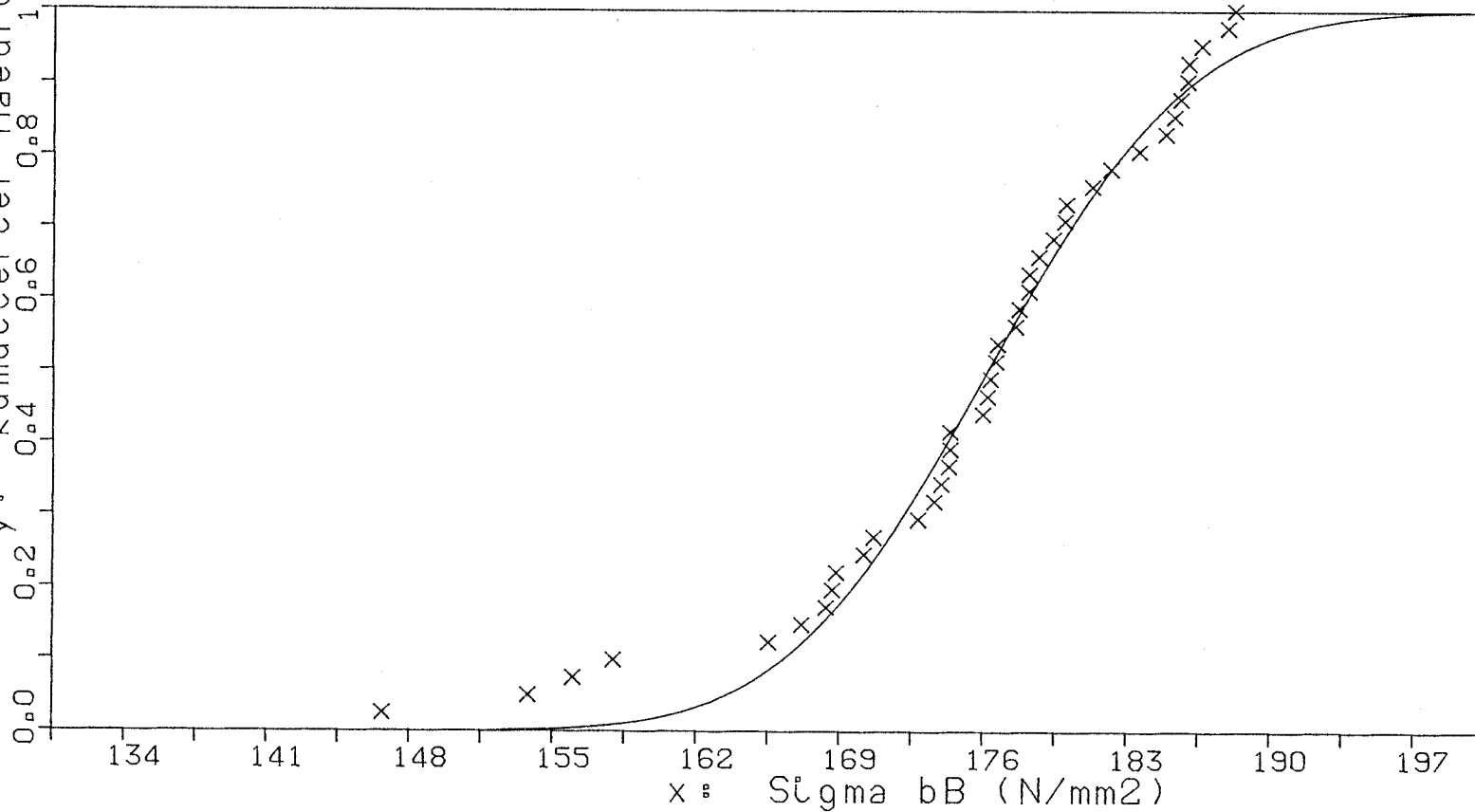
$$y = N (x \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 175.675
Standardabw. (s) 7.734

Summe Abst. quad. 0.051
mittlerer Fehler 0.036

Korrelationskoeff. 0.993
Bestimmtheitsmass 0.985

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert 174.77
50%-Wert 175.67
5%-Wert 162.95
1%-Wert 157.68
0,1%-Wert 151.77

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMLUFTB

Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 2.245

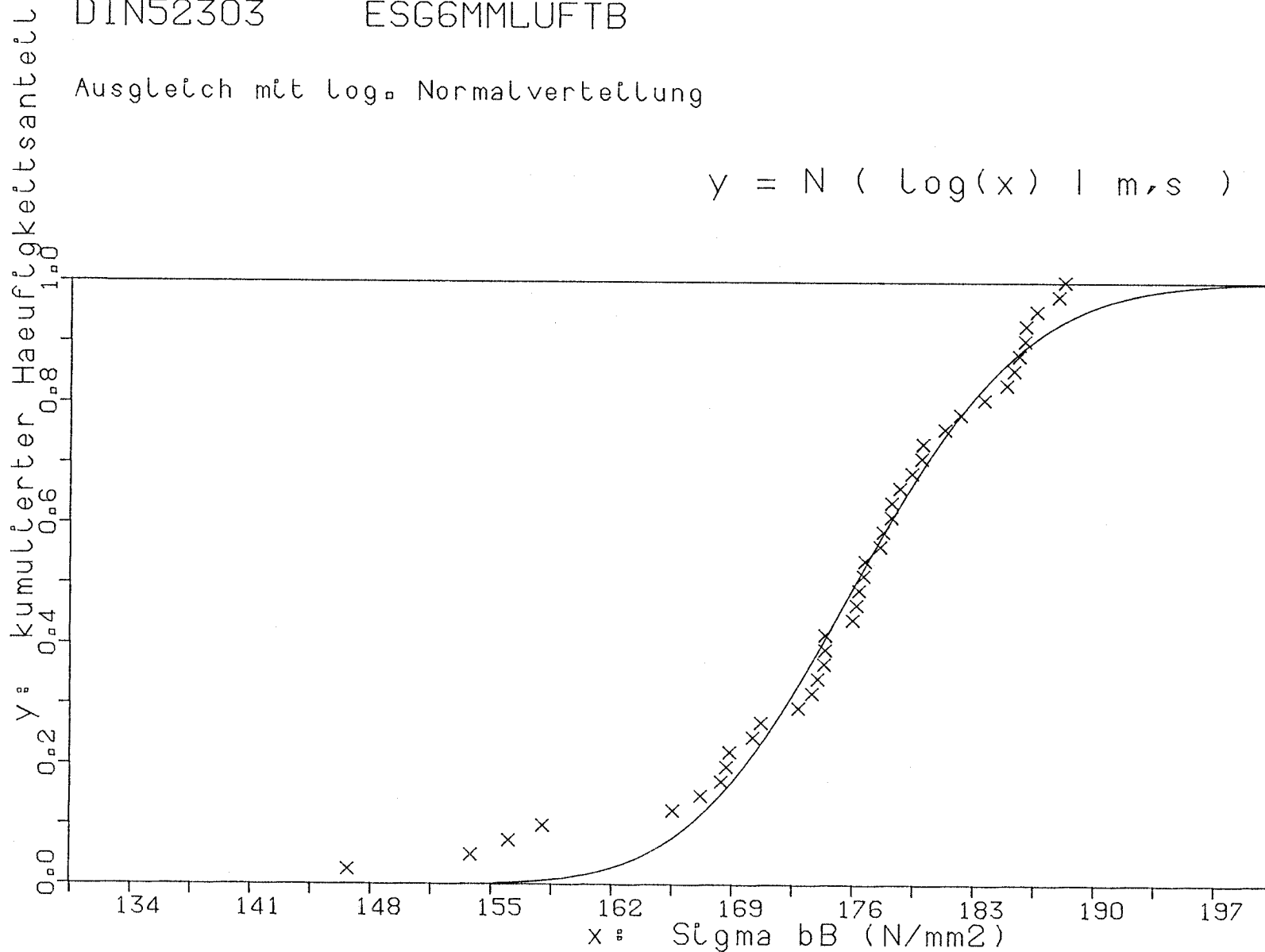
Standardabw.(s) 0.019

Summe Abst. quad. 0.055

mittlerer Fehler 0.037

Korrelationskoeff. 0.992

Bestimmtheitsmass 0.984



Mittelwert 174.77
 50%-Wert 175.63
 5%-Wert 163.44
 1%-Wert 158.64
 0,1%-Wert 153.43

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMLUFTB

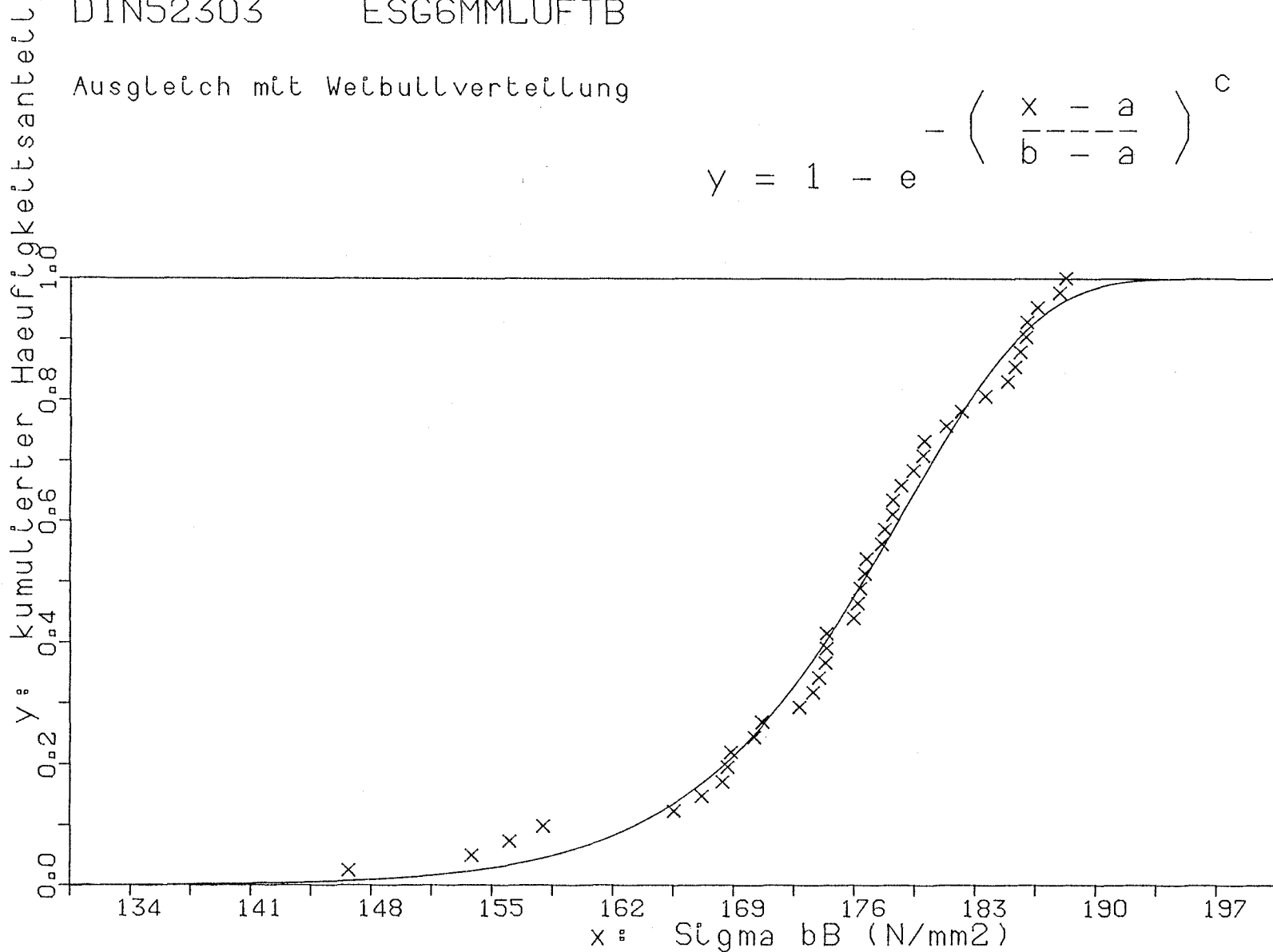
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 0.005
 Verzerrung (b) 178.625
 Exponent (c) 24.319

Summe Abst. quad. 0.039
 mittlerer Fehler 0.031

Korrelationskoeff. 0.994
 Bestimmtheitsmass 0.989



Mittelwert 174.77
 50%-Wert 175.95
 5%-Wert 158.09
 1%-Wert 147.84
 0,1%-Wert 134.46

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMLUFTB

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

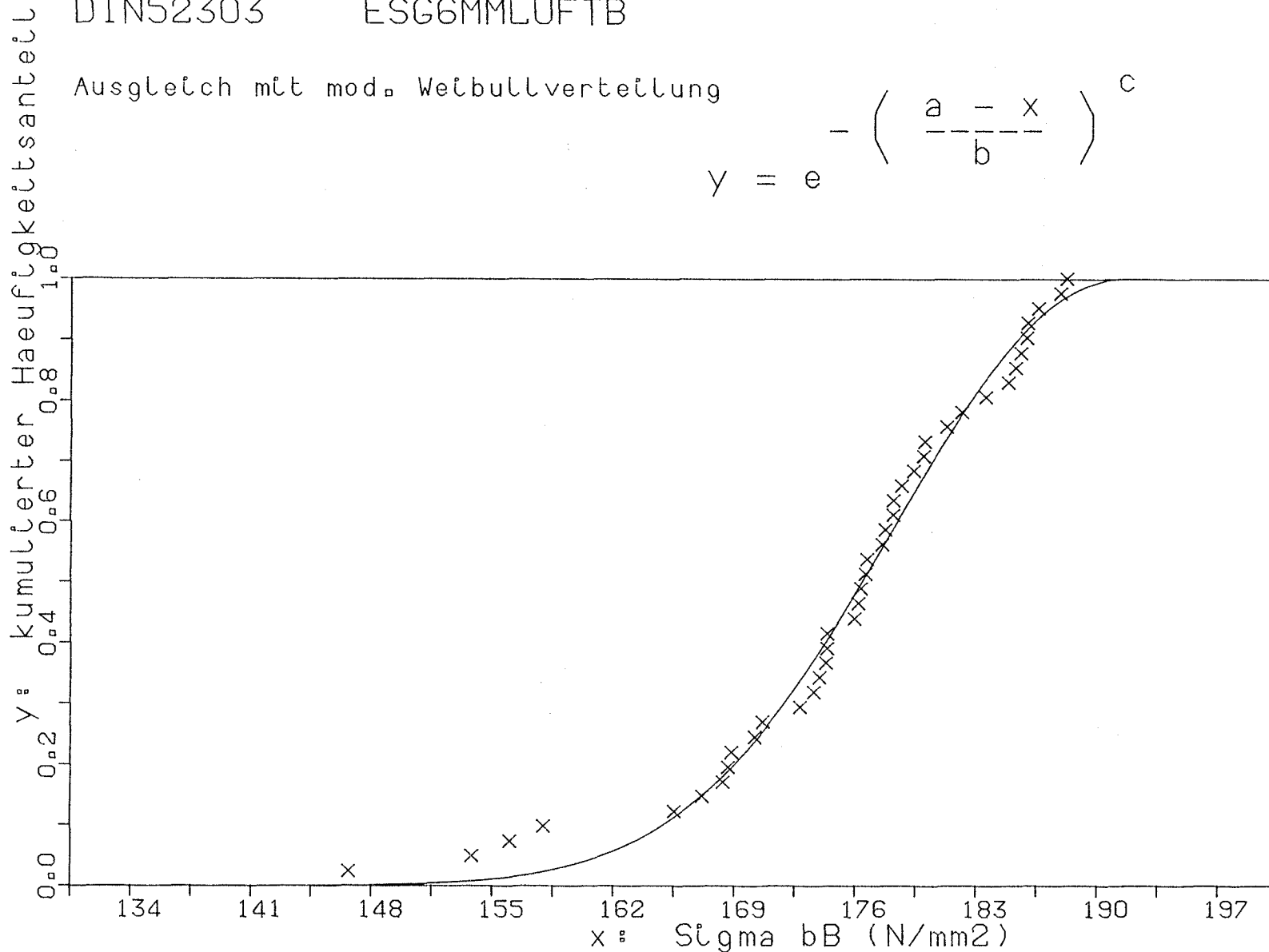
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschlebung (a) 191.105
 Verzerrung (b) 18.081
 Exponent (c) 2.127

Summe Abst. quad. 0.042
 mittlerer Fehler 0.032

Korrelationskoeff. 0.994
 Bestimmtheitsmass 0.988

Mittelwert 174.77
 50%-Wert 175.89
 5%-Wert 160.82
 1%-Wert 154.03
 0,1%-Wert 146.24



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG6MMLUFTB

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

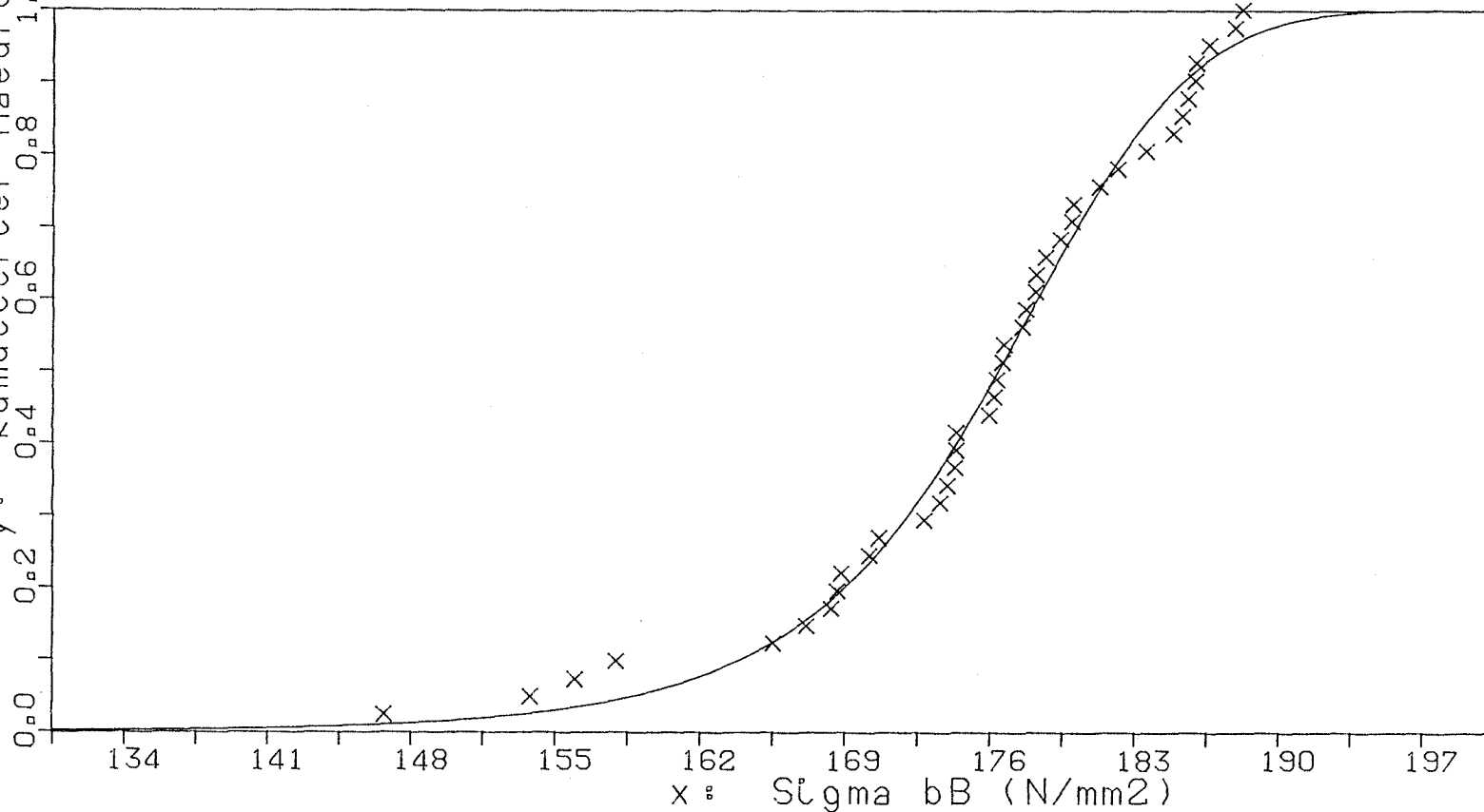
X unten	(xu)	28.440
X mittel	(xm)	175.951
X oben	(xo)	200.866
Exponent	(a)	4.445

Summe Abst. quad. 0.032
mittlerer Fehler 0.028

Korrelationskoeff. 0.995
Bestimmtheitsmass 0.991

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

Y = kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert	174.77
50%-Wert	175.95
5%-Wert	158.32
1%-Wert	145.35
0,1%-Wert	124.30

Anlage 134

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMBADA

Ausgleich mit Normalverteilung

Mittelwert (m) 173.023

Standardabw. (s) 15.761

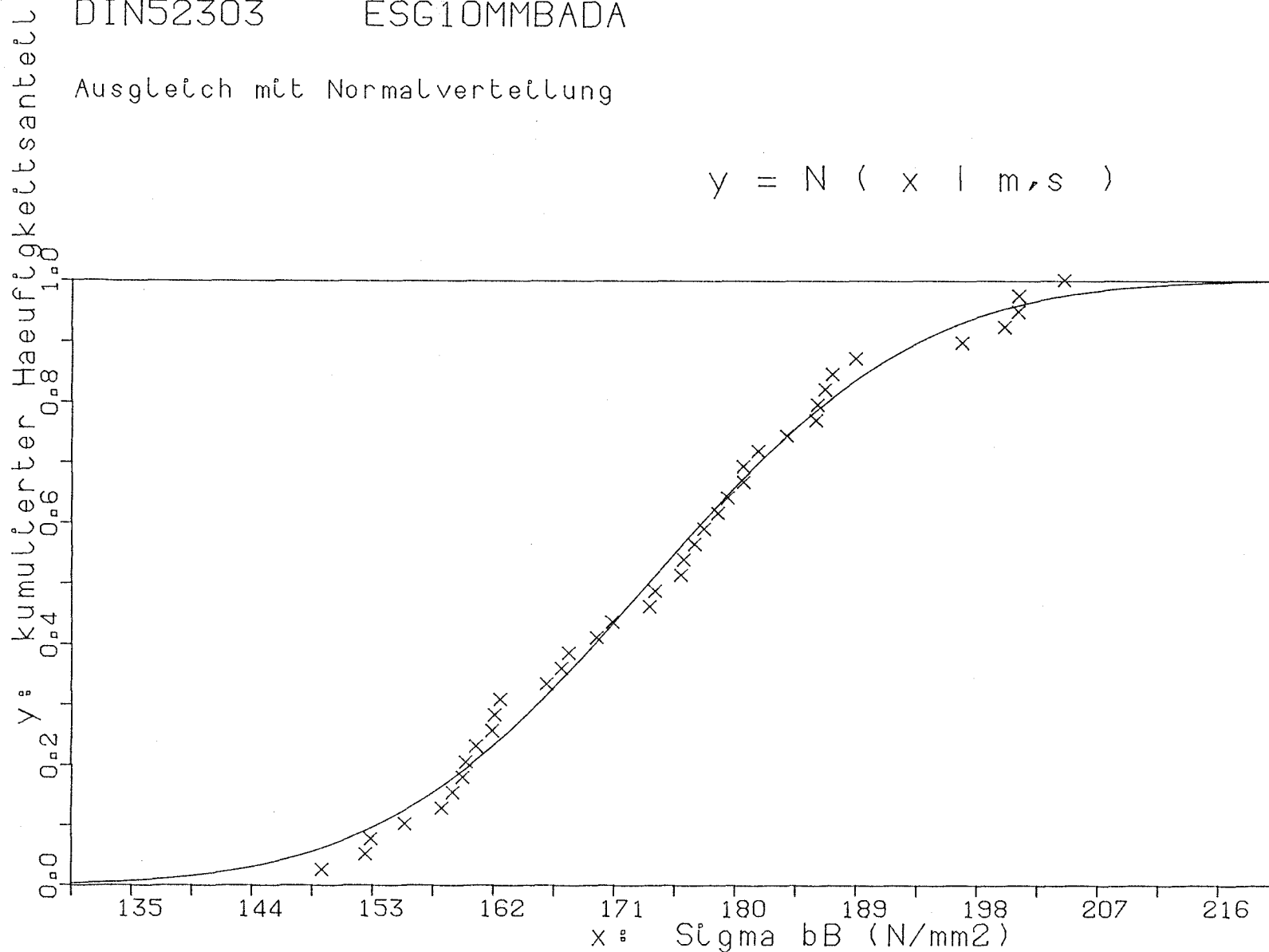
Summe Abst. quad. 0.029

mittlerer Fehler 0.028

Korrelationskoeff. 0.996

Bestimmtheitsmass 0.991

$$y = N(x | m, s)$$



Mittelwert 174.17

50%-Wert 173.02

5%-Wert 147.09

1%-Wert 136.35

0,1%-Wert 124.31

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMBADA

Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 2.237

Standardabw. (s) 0.040

Summe Abst. quad. 0.030

mittlerer Fehler 0.028

Korrelationskoeff. 0.995

Bestimmtheitsmass 0.991

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$

y: kumulierter Häufigkeitsanteil

1.0

0.8

0.6

0.4

0.2

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

Mittelwert 174.17

50%-Wert 172.75

5%-Wert 148.57

1%-Wert 139.57

0,1%-Wert 130.14

135 144 153 162 171 180 189 198 207 216

x: σ_{bB} (N/mm²)

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMBADA

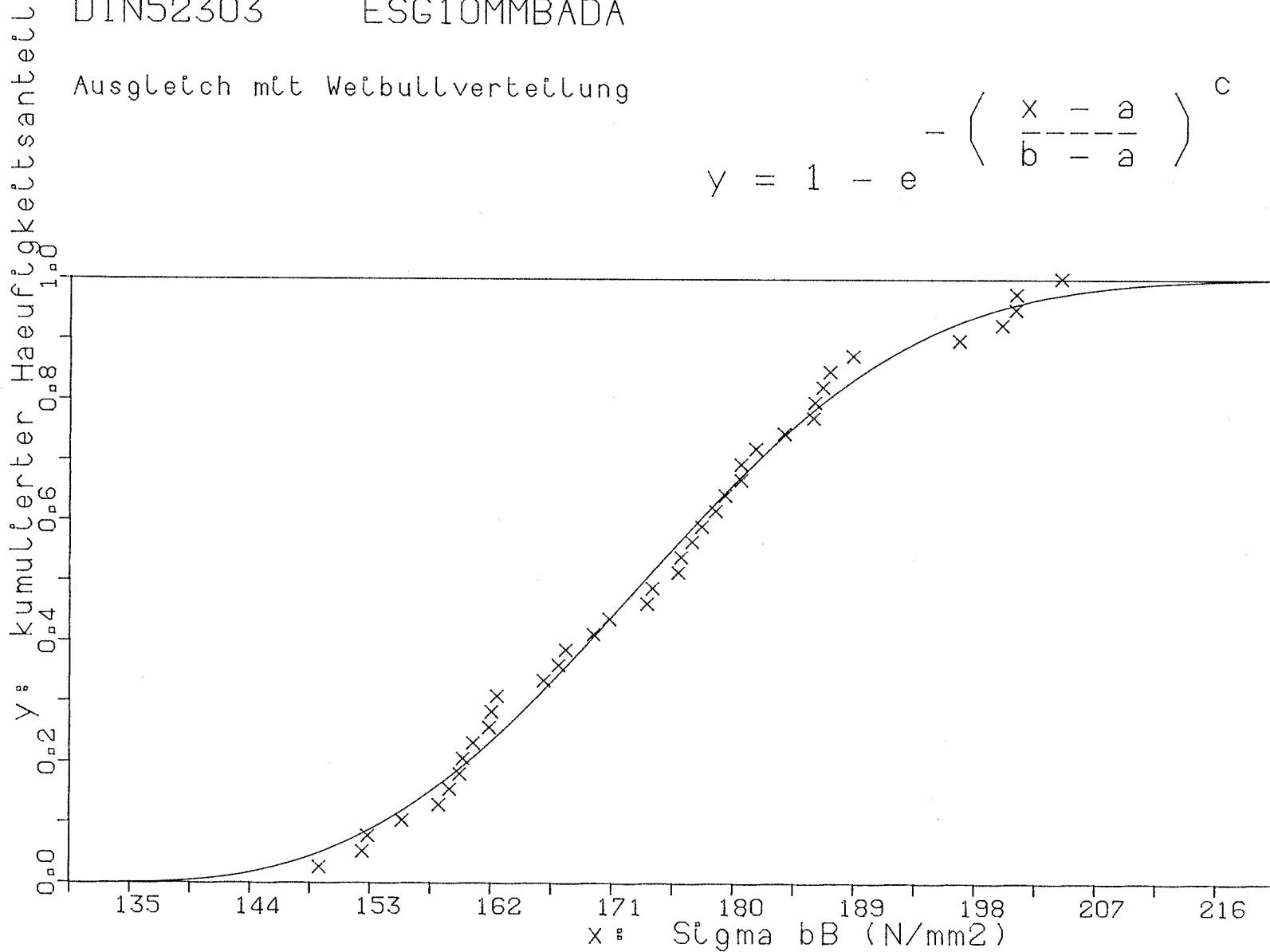
Ausgleich mit Weibullverteilung

Verschiebung (a) 131.560
 Verzerrung (b) 178.323
 Exponent (c) 2.969

Summe Abst. quad. 0.027
 mittlerer Fehler 0.027

Korrelationskoeff. 0.996
 Bestimmtheitsmass 0.992

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



Mittelwert 174.17
 50%-Wert 172.89
 5%-Wert 148.76
 1%-Wert 141.49
 0.1%-Wert 136.13

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMBADA

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

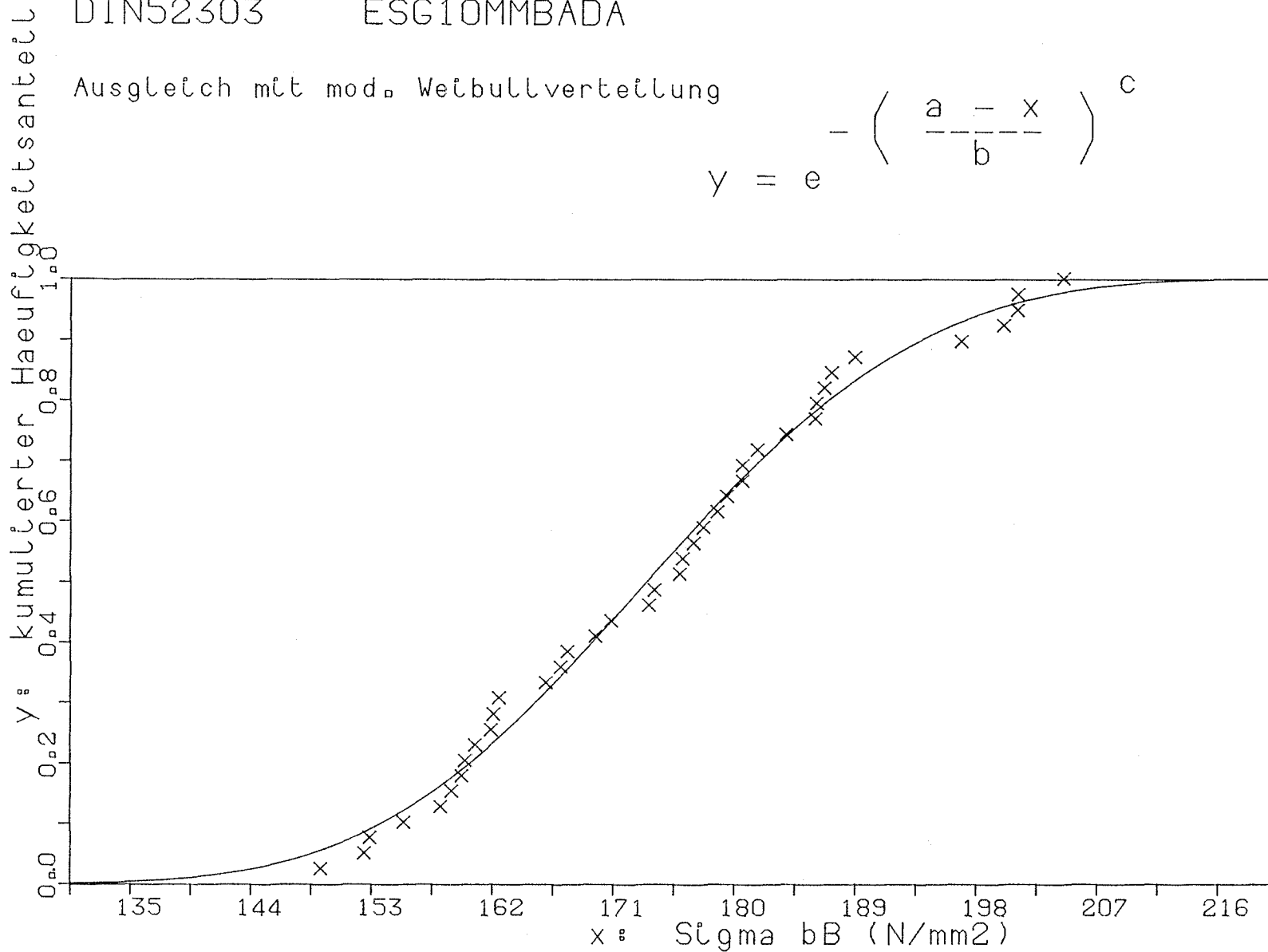
$$y = e - \left(\frac{a - x}{b} \right)^c$$

Verschiebung (a) 223.670
 Verzerrung (b) 56.099
 Exponent (c) 3.656

Summe Abst. quad. 0.028
 mittlerer Fehler 0.027

Korrelationskoeff. 0.996
 Bestimmtheitsmass 0.991

Mittelwert 174.17
 50%-Wert 172.92
 5%-Wert 147.94
 1%-Wert 138.48
 0,1%-Wert 128.49



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMBADA

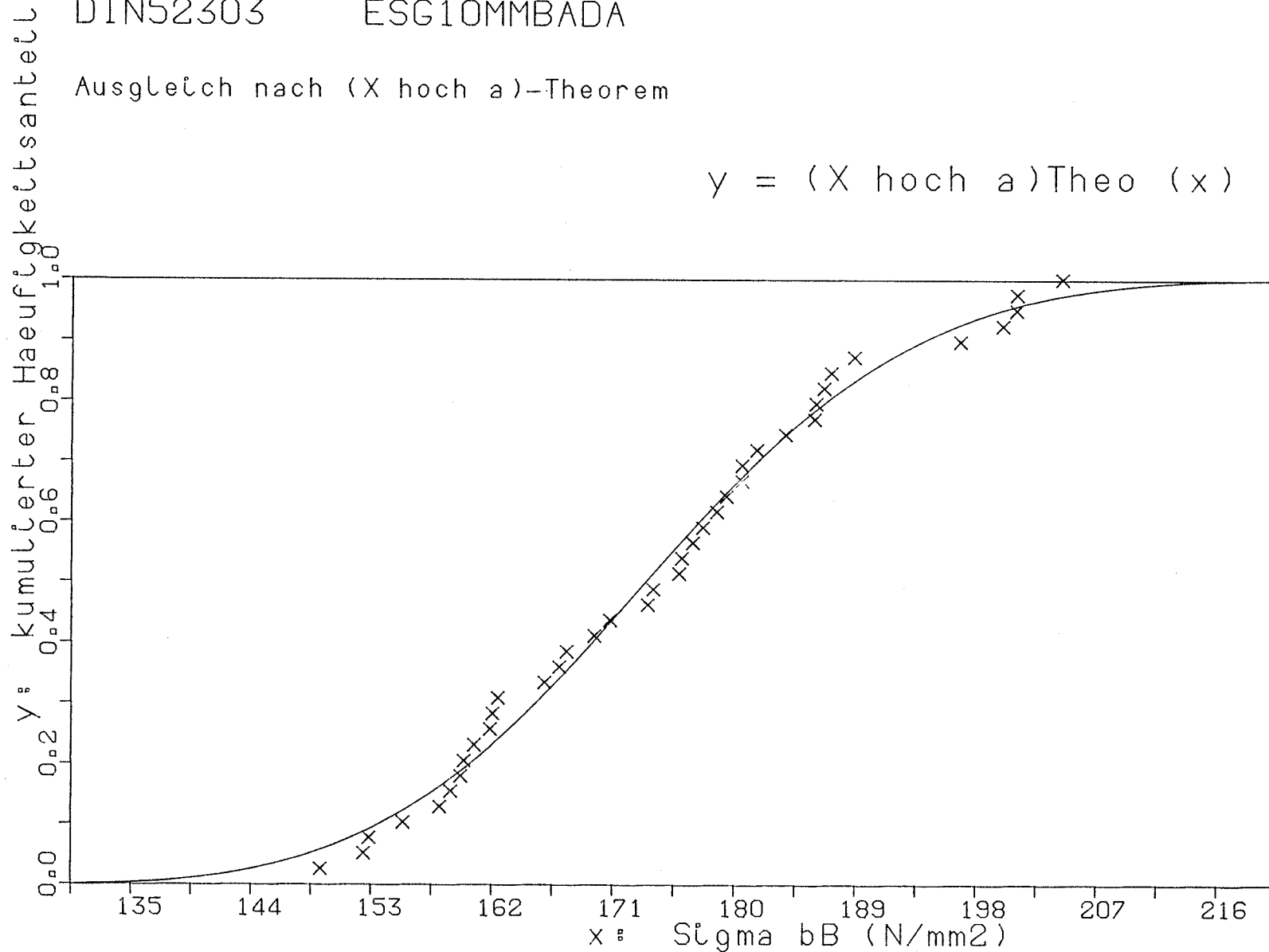
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	127.314
X mittel	(xm)	172.949
X oben	(xo)	222.752
Exponent	(a)	2.415

Summe Abst. quad. 0.029
mittlerer Fehler 0.028

Korrelationskoeff. 0.996
Bestimmtheitsmass 0.991

Mittelwert	174.17
50%-Wert	172.95
5%-Wert	147.65
1%-Wert	138.79
0,1%-Wert	132.07



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMLUFTA

Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$

Mittelwert (m) 176.400

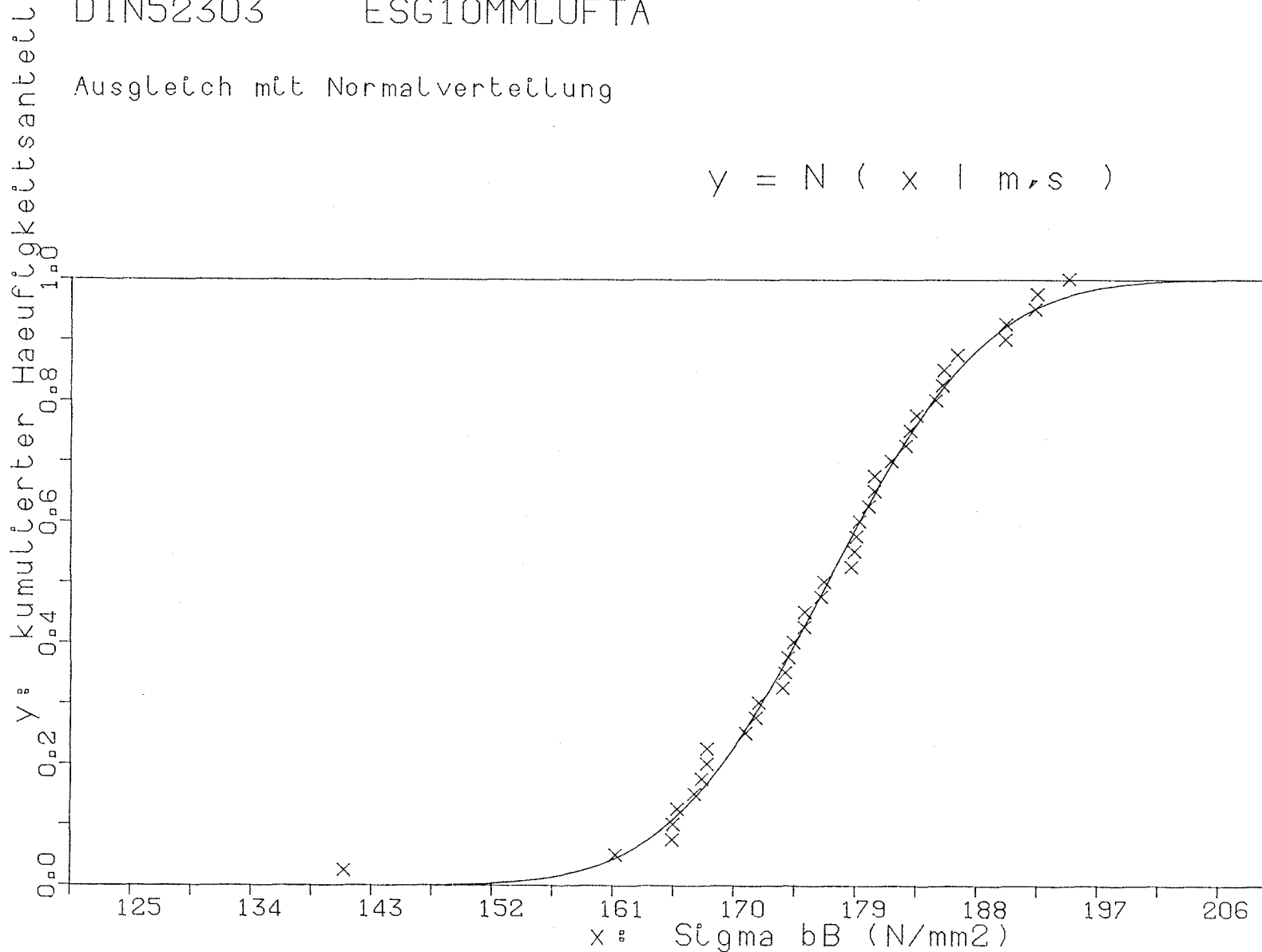
Standardabw. (s) 9.283

Summe Abst. quad. 0.017

mittlerer Fehler 0.021

Korrelationskoeff. 0.997

Bestimmtheitsmass 0.995



Mittelwert 176.31

50%-Wert 176.40

5%-Wert 161.13

1%-Wert 154.80

0.1%-Wert 147.71

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMLUFTA

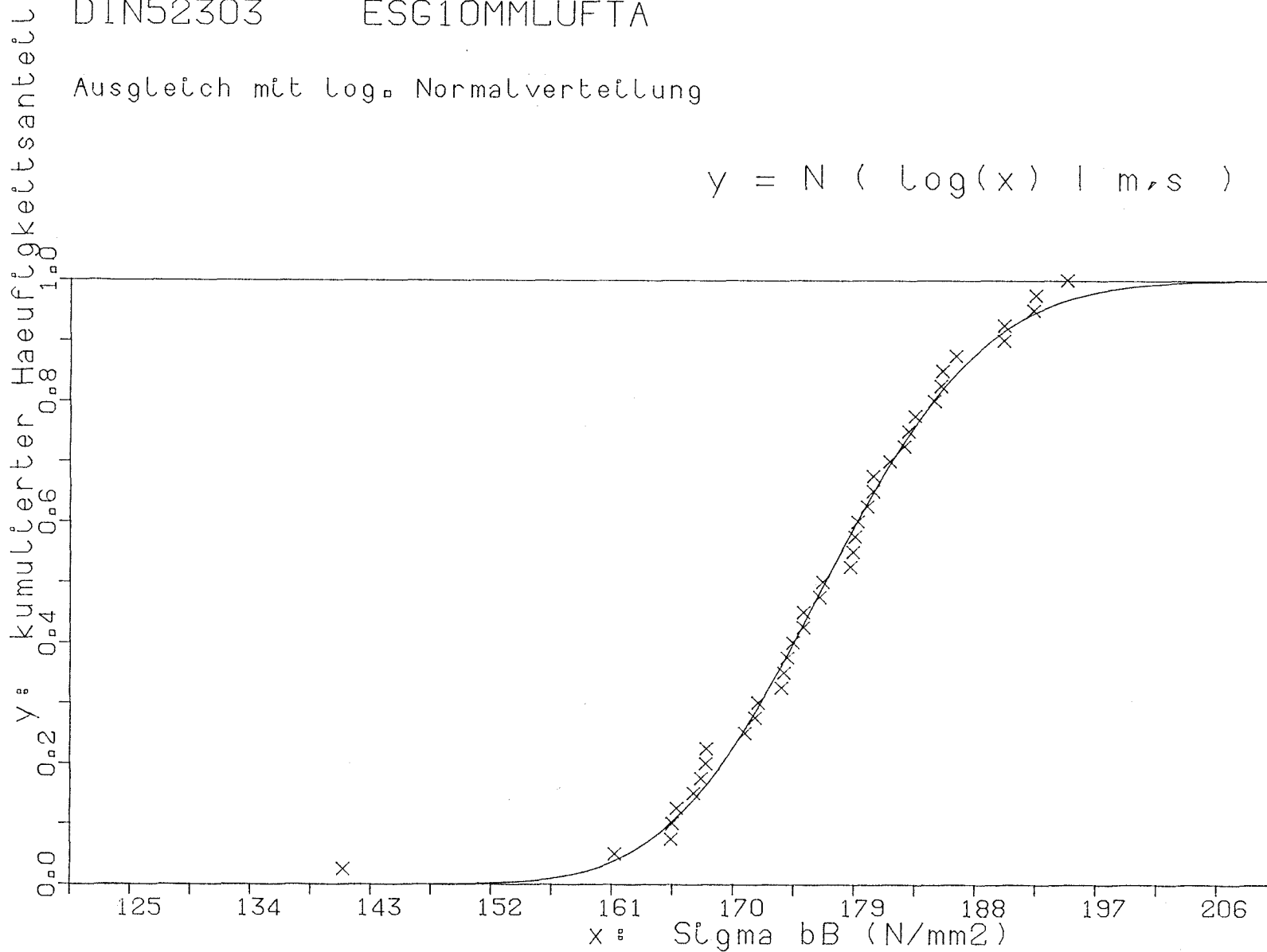
Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 2.246
Standardabw. (s) 0.023

Summe Abst. quad. 0.020
mittlerer Fehler 0.022

Korrelationskoeff. 0.997
Bestimmtheitsmass 0.994

$$y = N(\log(x) | m, s)$$



Mittelwert 176.31
50%-Wert 176.32
5%-Wert 161.69
1%-Wert 156.00
0.1%-Wert 149.85

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMLUFTA

Ausgleich mit Weibullverteilung

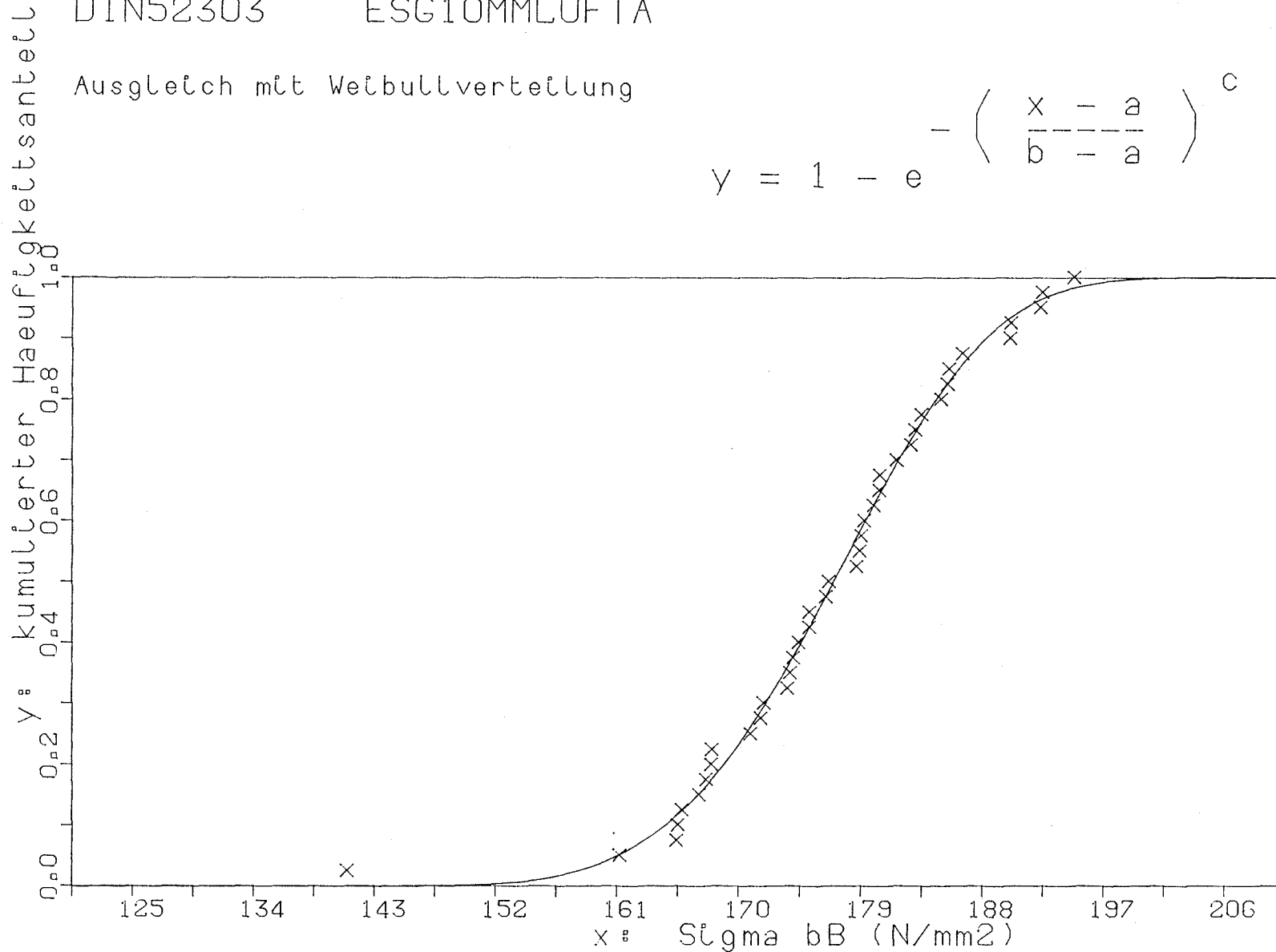
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 141.033
 Verzerrung (b) 179.640
 Exponent (c) 4.364

Summe Abst. quad. 0.016
 mittlerer Fehler 0.020

Korrelationskoeff. 0.998
 Bestimmtheitsmass 0.995

Mittelwert 176.31
 50%-Wert 176.53
 5%-Wert 160.58
 1%-Wert 154.49
 0.1%-Wert 148.96



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMLUFTA

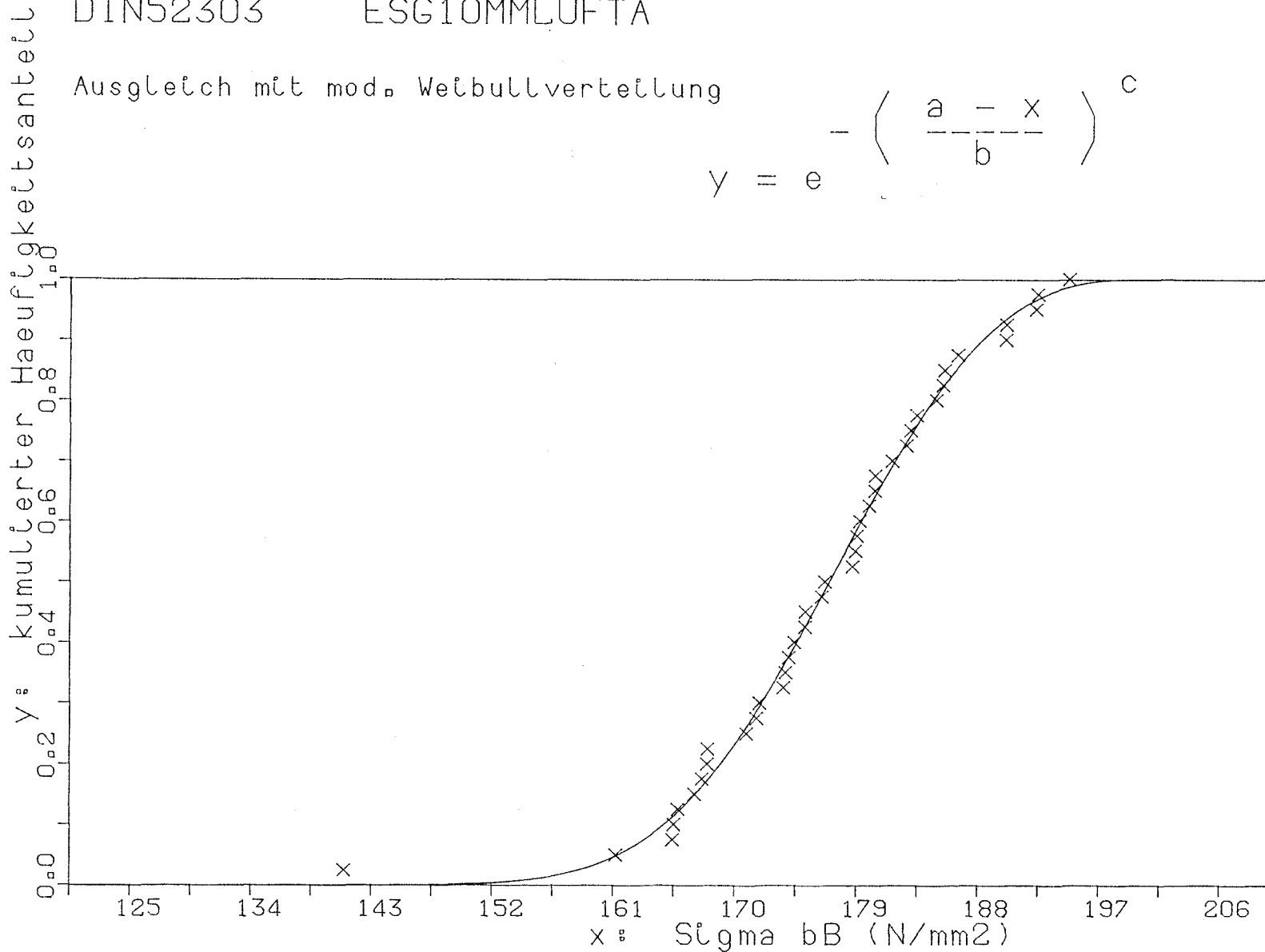
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 199,866
 Verzerrung (b) 26,589
 Exponent (c) 2,845

Summe Abst. quad. 0,016
 mittlerer Fehler 0,020

Korrelationskoeff. 0,998
 Bestimmtheitsmass 0,995



Mittelwert 176,31
 50%-Wert 176,49
 5%-Wert 160,76
 1%-Wert 154,38
 0,1%-Wert 147,41

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMLUFTA

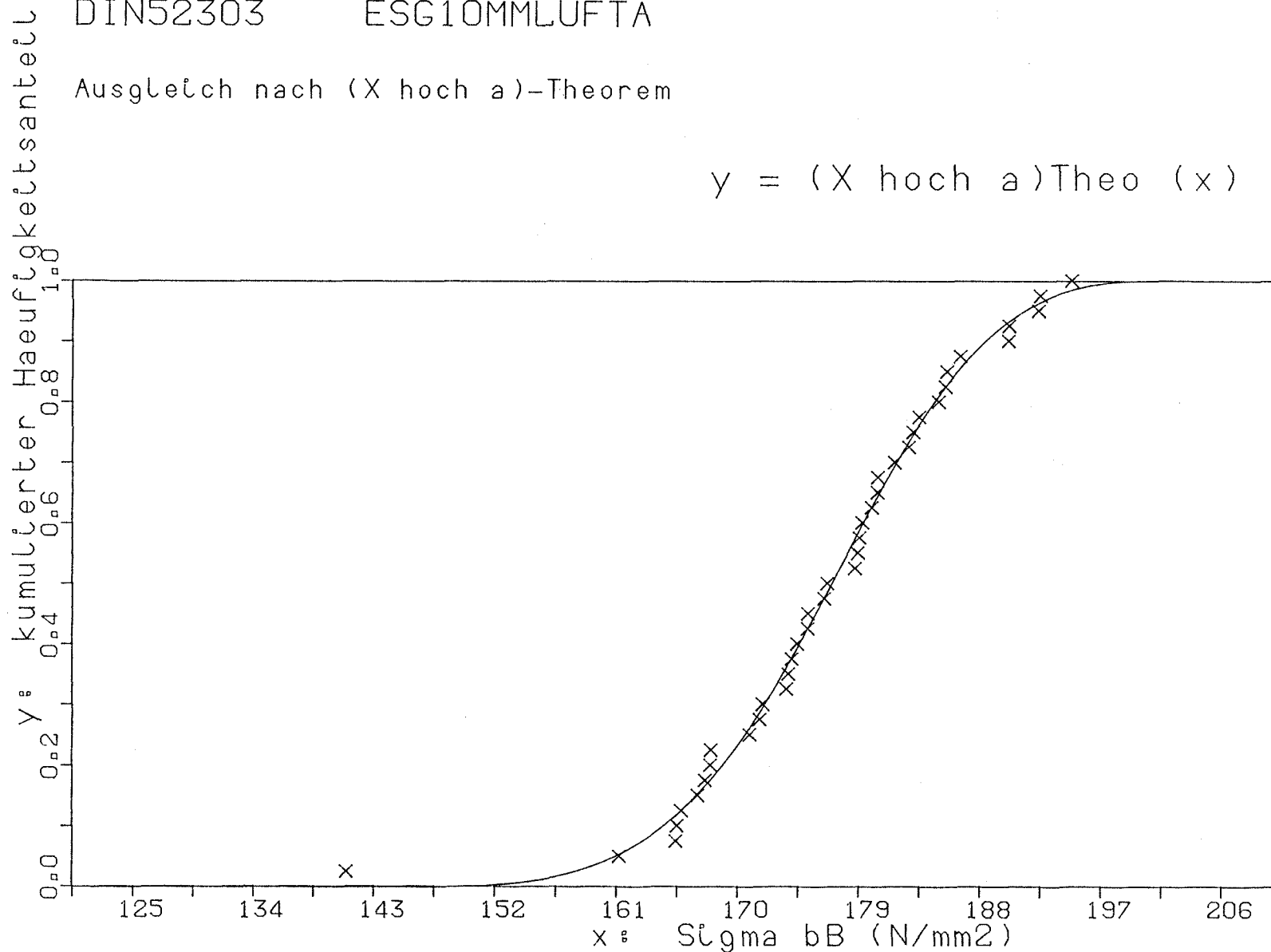
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(x _u)	146.839
X mittel	(x _m)	176.526
X oben	(x _o)	200.308
Exponent	(a)	2.268

Summe Abst. quad. 0.016
mittlerer Fehler 0.020

Korrelationskoeff. 0.998
Bestimmtheitsmass 0.995

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



Mittelwert	176.31
50%-Wert	176.53
5%-Wert	160.43
1%-Wert	154.40
0,1%-Wert	149.84

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMBADB

Ausgleich mit Normalverteilung

Mittelwert (m) 158.737

Standardabw. (s) 12.725

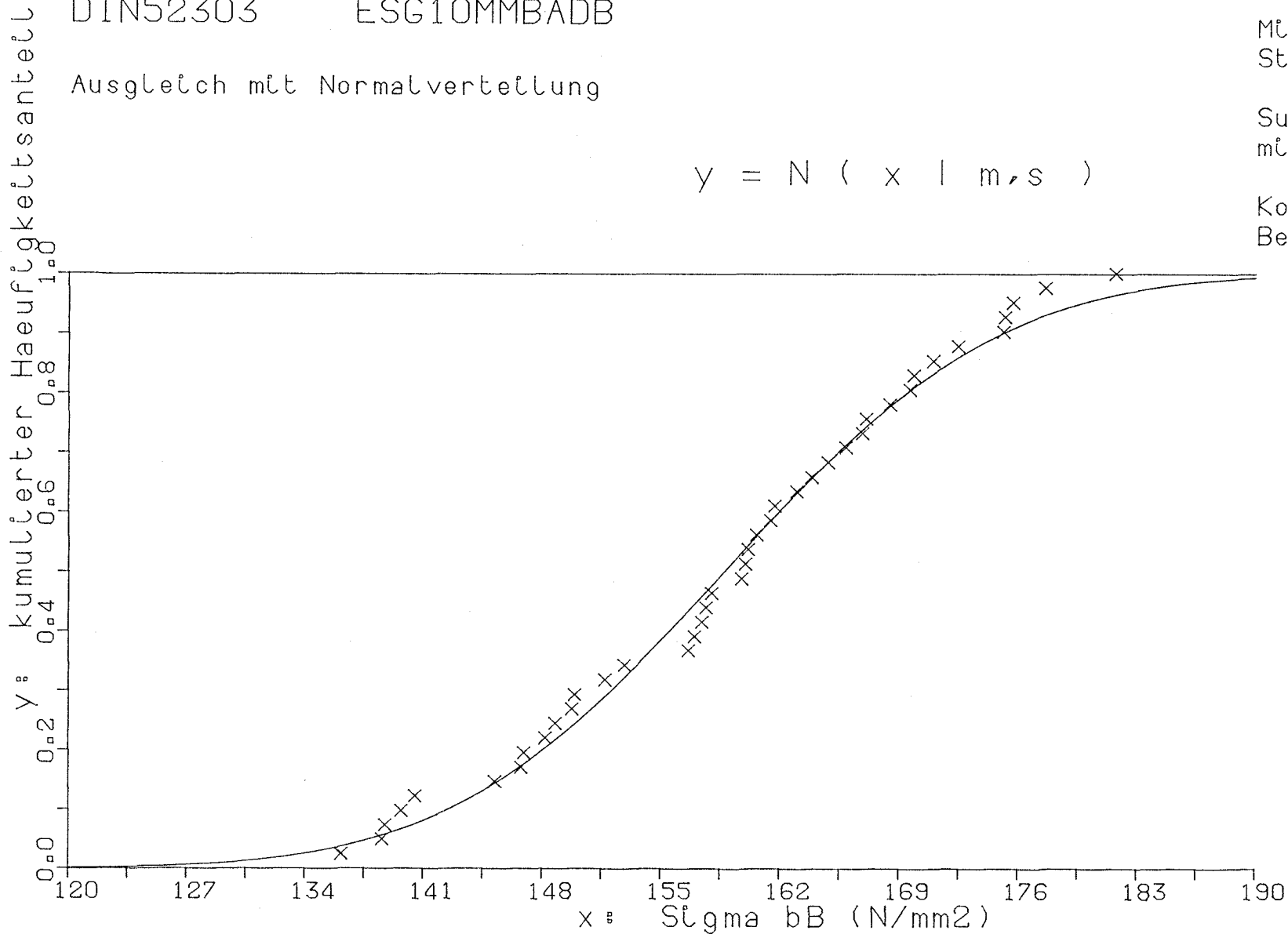
Summe Abst. quad. 0.030

mittlerer Fehler 0.027

Korrelationskoeff. 0.996

Bestimmtheitsmass 0.991

$$y = N(x | m, s)$$



Mittelwert 158.84
 50%-Wert 158.74
 5%-Wert 137.80
 1%-Wert 129.13
 0,1%-Wert 119.41

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMBADB

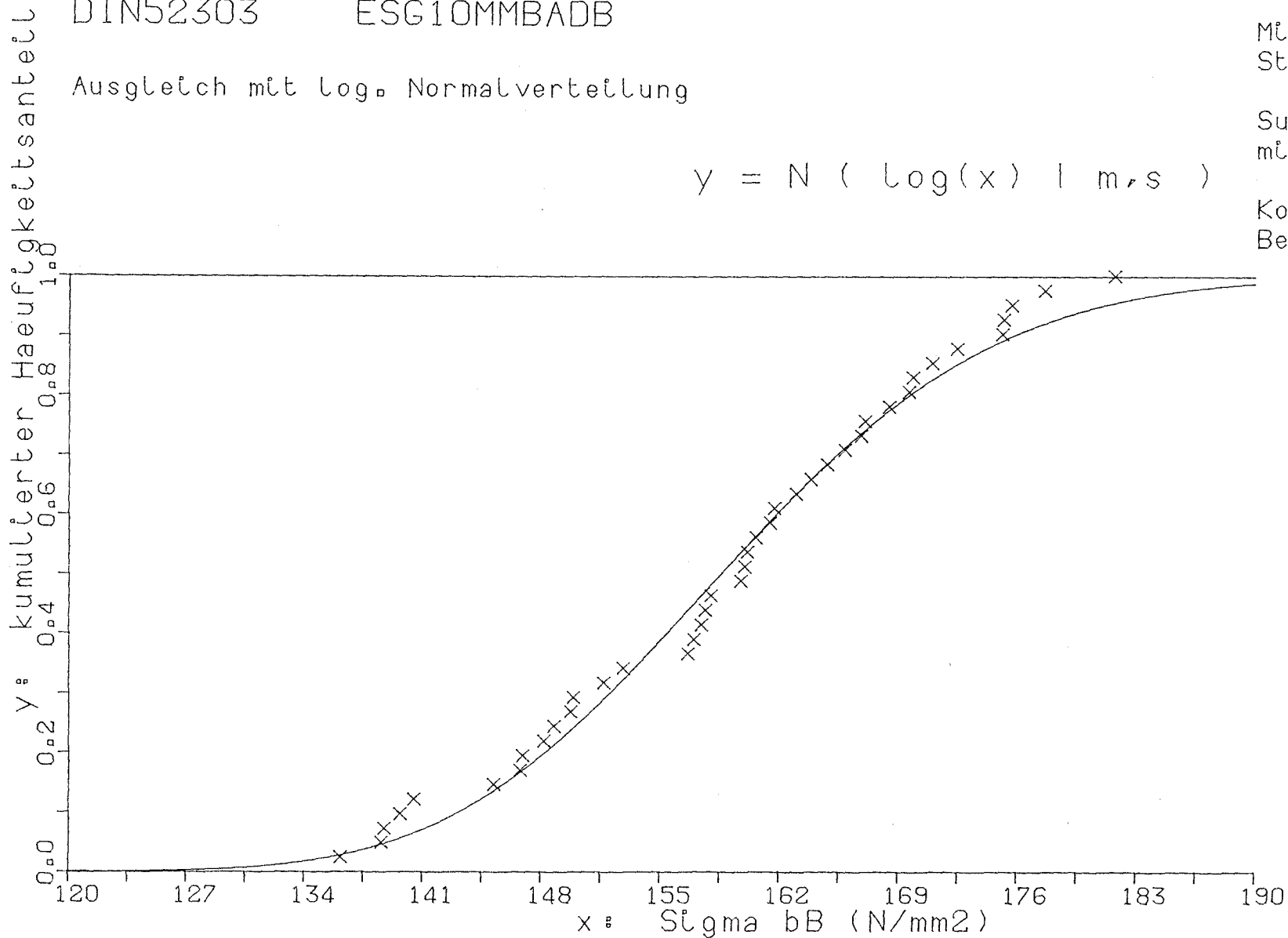
Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 2.200
Standardabw.(s) 0.035

Summe Abst. quad. 0.040
mittlerer Fehler 0.031

Korrelationskoeff. 0.994
Bestimmtheitsmass 0.988

$$y = N (\log(x) | m, s)$$



Mittelwert 158.84
50%-Wert 158.56
5%-Wert 138.94
1%-Wert 131.55
0.1%-Wert 123.72

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMBADB

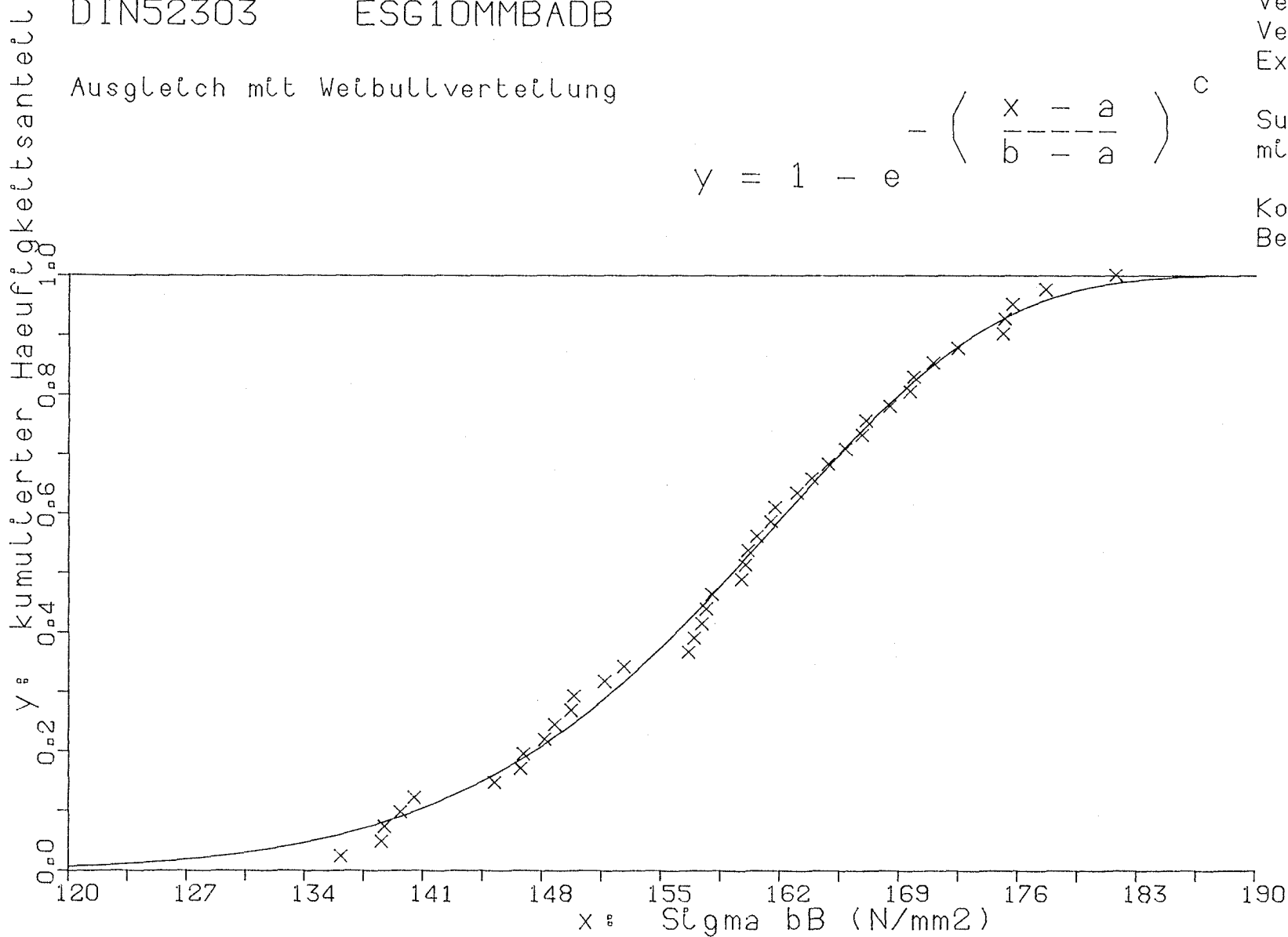
Ausgleich mit Weibullverteilung

Verschiebung (a) 65.023
 Verzerrung (b) 163.354
 Exponent (c) 8.536

Summe Abst. quad. 0.018
 mittlerer Fehler 0.021

Korrelationskoeff. 0.997
 Bestimmtheitsmass 0.995

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



Mittelwert 158.84
 50%-Wert 159.22
 5%-Wert 134.46
 1%-Wert 122.39
 0,1%-Wert 108.80

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMBADB

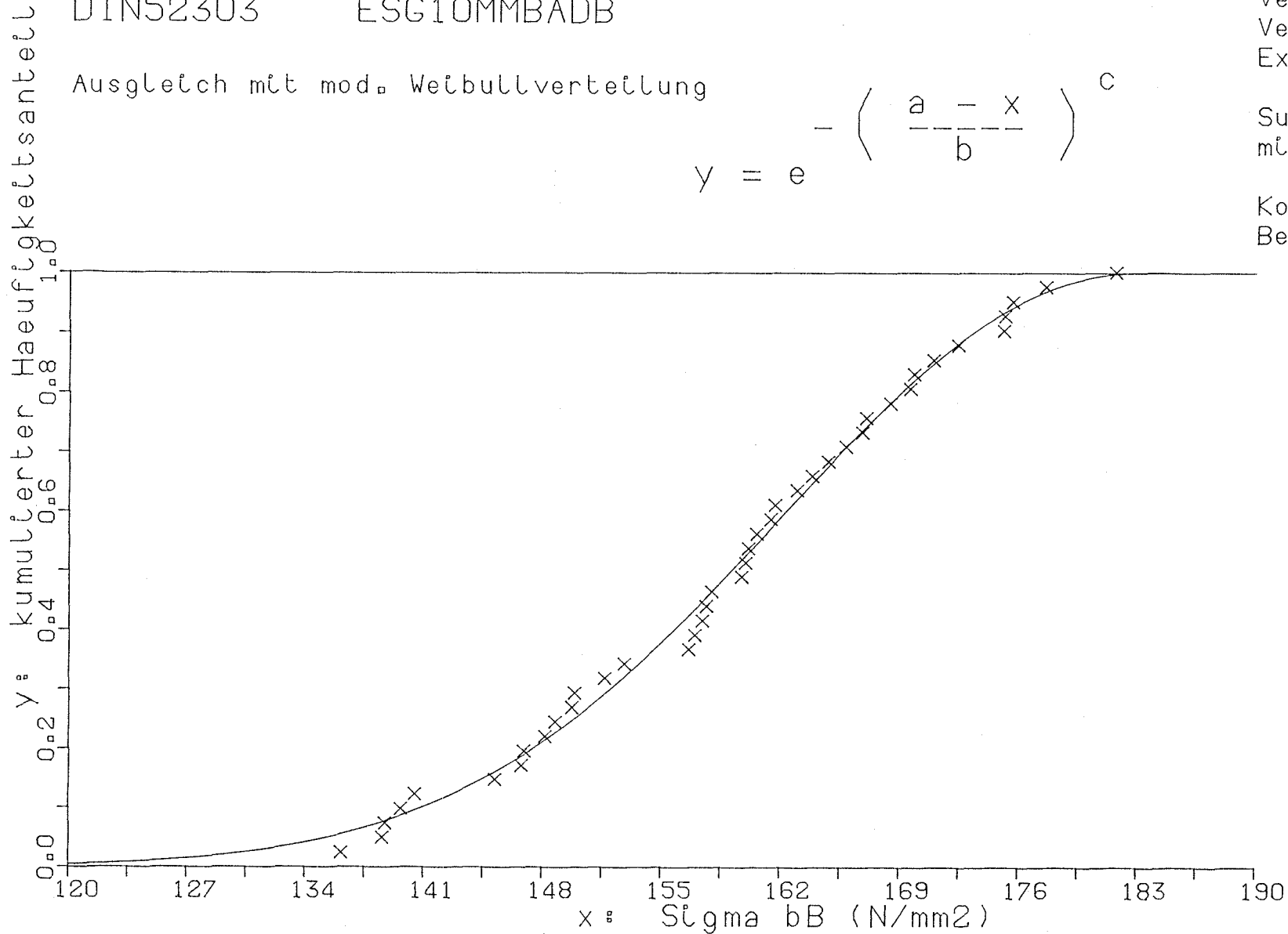
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 183.378
 Verzerrung (b) 28.743
 Exponent (c) 2.133

Summe Abst. quad. 0.018
 mittlerer Fehler 0.021

Korrelationskoeff. 0.997
 Bestimmtheitsmass 0.995



Mittelwert 158.84
 50%-Wert 159.17
 5%-Wert 135.30
 1%-Wert 124.57
 0.1%-Wert 112.26

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMBADB

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

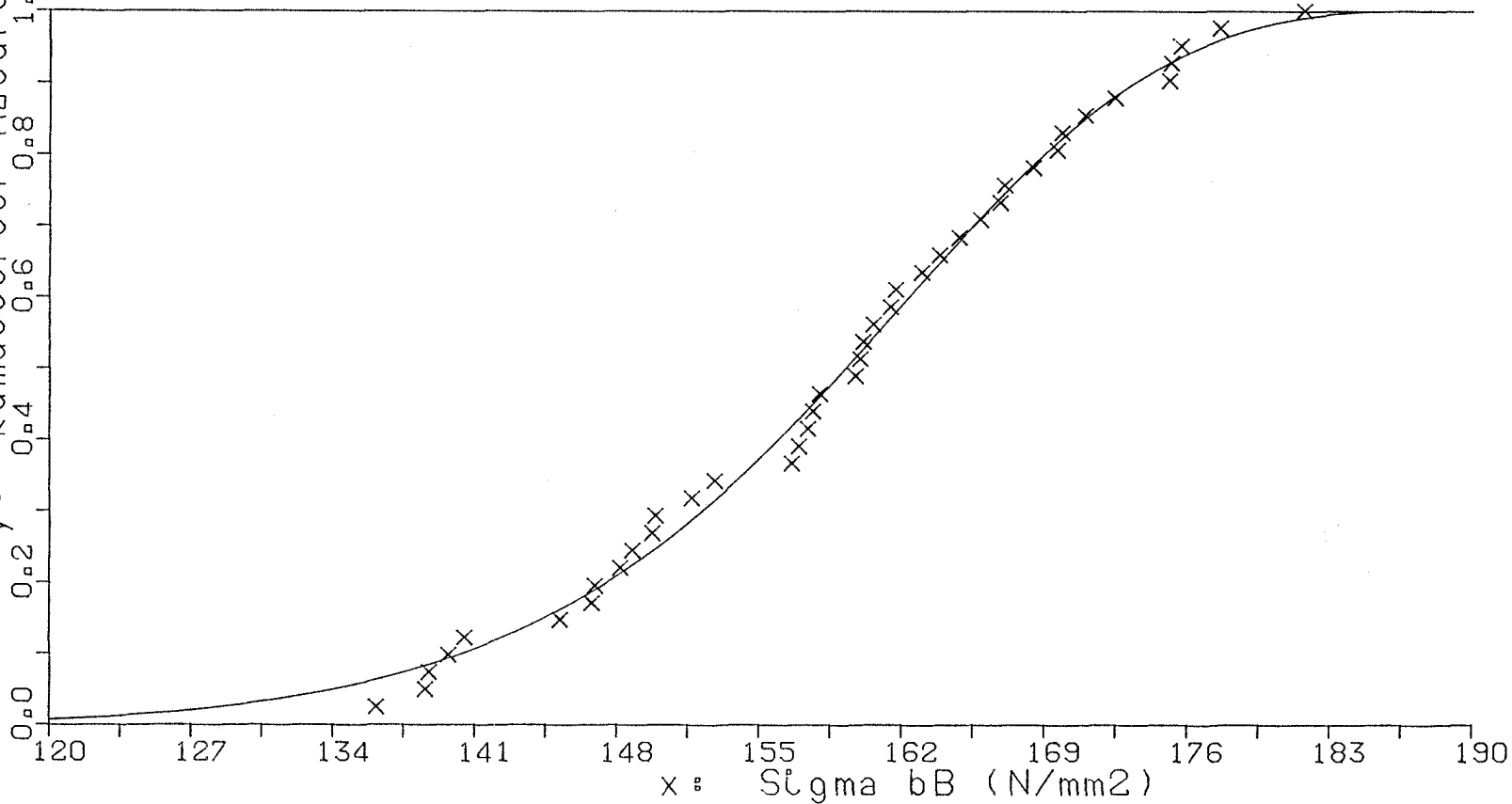
X unten	(xu)	103.957
X mittel	(xm)	159.253
X oben	(xo)	187.272
Exponent	(a)	2.351

Summe Abst. quad. 0.018
mittlerer Fehler 0.021

Korrelationskoeff. 0.997
Bestimmtheitsmass 0.995

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

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert	158.84
50%-Wert	159.25
5%-Wert	134.00
1%-Wert	122.16
0,1%-Wert	111.84

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMLUFTB

Ausgleich mit Normalverteilung

Mittelwert (m) 162.299

Standardabw. (s) 8.093

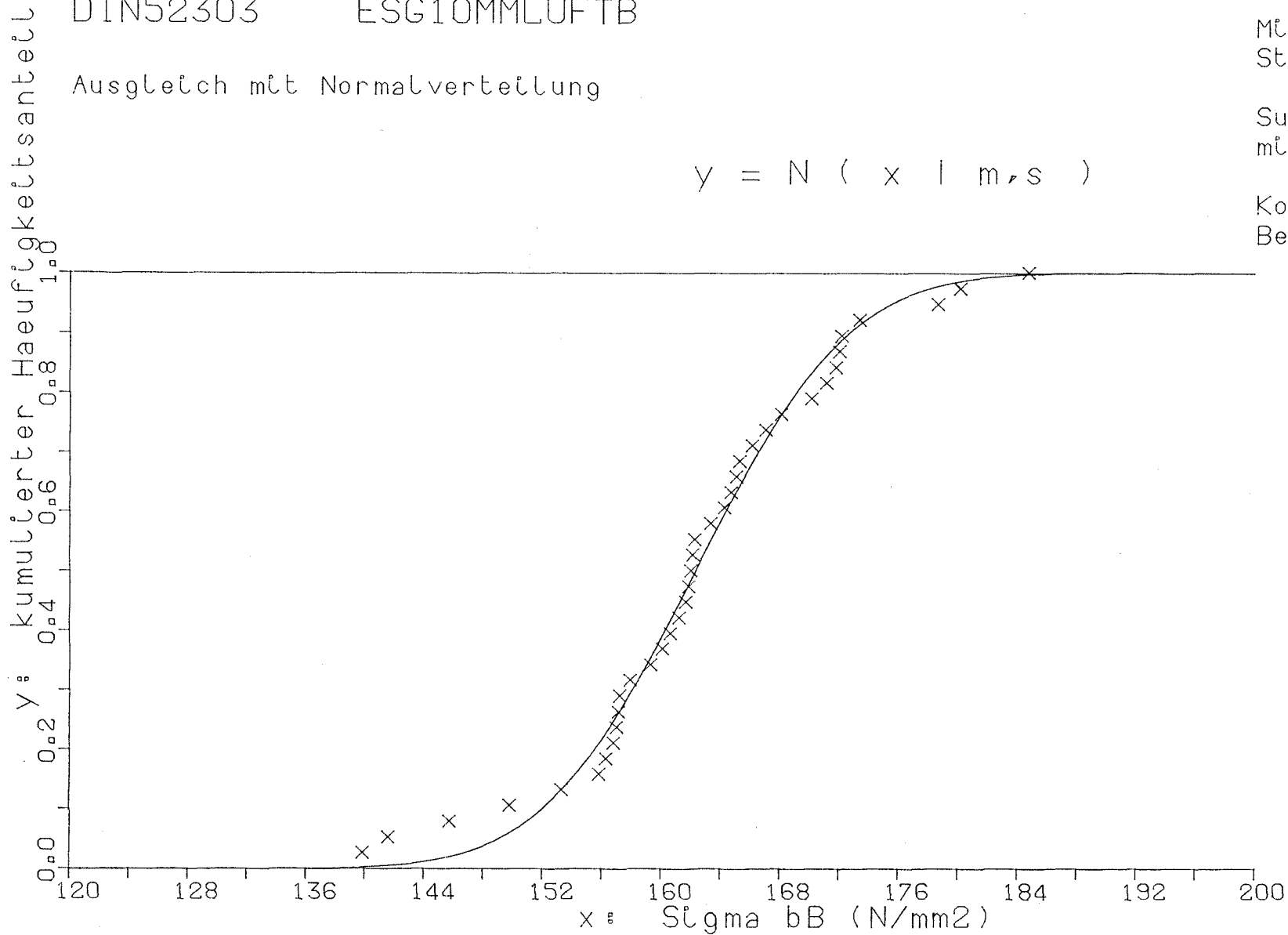
Summe Abst. quad. 0.034

mittlerer Fehler 0.030

Korrelationskoeff. 0.995

Bestimmtheitsmass 0.989

$$y = N(x | m, s)$$



Mittelwert 162.58

50%-Wert 162.30

5%-Wert 148.98

1%-Wert 143.47

0.1%-Wert 137.29

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMLUFTB

Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N(\log(x) | m, s)$$

Mittelwert (m) 2.210

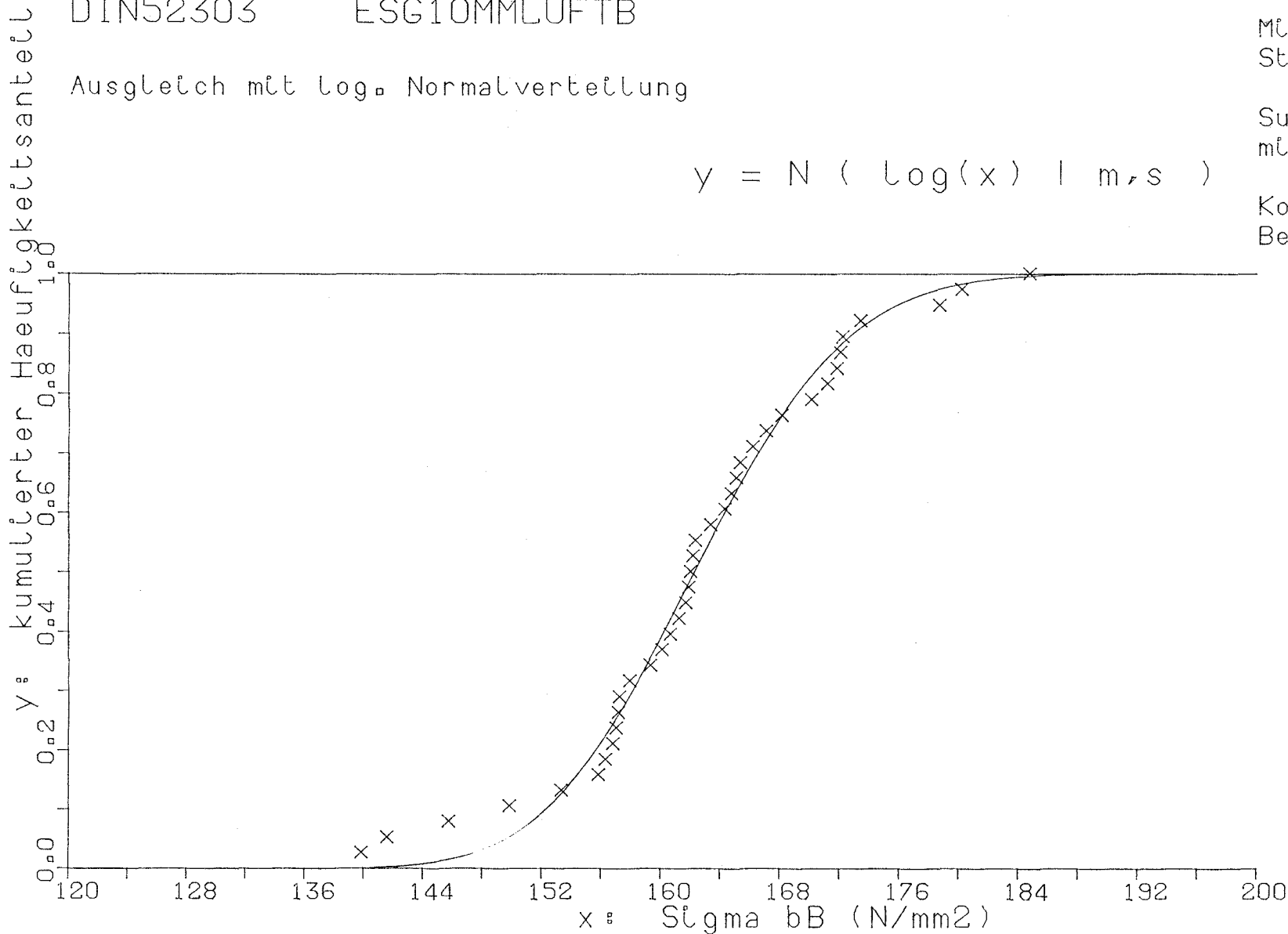
Standardabw. (s) 0.022

Summe Abst. quad. 0.033

mittlerer Fehler 0.030

Korrelationskoeff. 0.995

Bestimmtheitsmass 0.990



Mittelwert 162.58
 50%-Wert 162.25
 5%-Wert 149.55
 1%-Wert 144.59
 0,1%-Wert 139.22

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMLUFTB

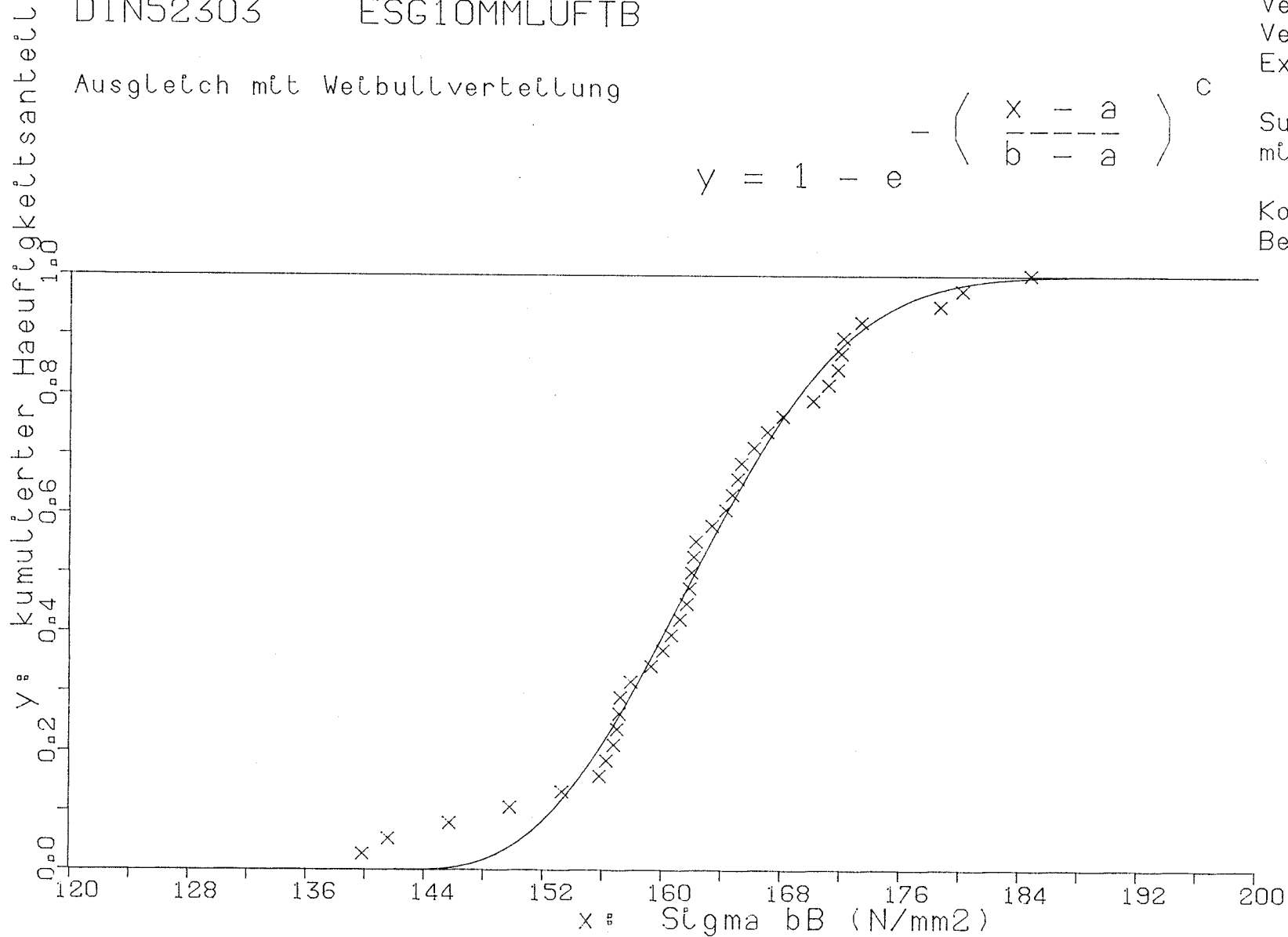
Ausgleich mit Weibullverteilung

Verschiebung (a) 143.131
 Verzerrung (b) 164.999
 Exponent (c) 2.705

Summe Abst. quad. 0.036
 mittlerer Fehler 0.031

Korrelationskoeff. 0.994
 Bestimmtheitsmass. 0.989

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



Mittelwert 162.58
 50%-Wert 162.23
 5%-Wert 150.42
 1%-Wert 147.12
 0,1%-Wert 144.83

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMLUFTB

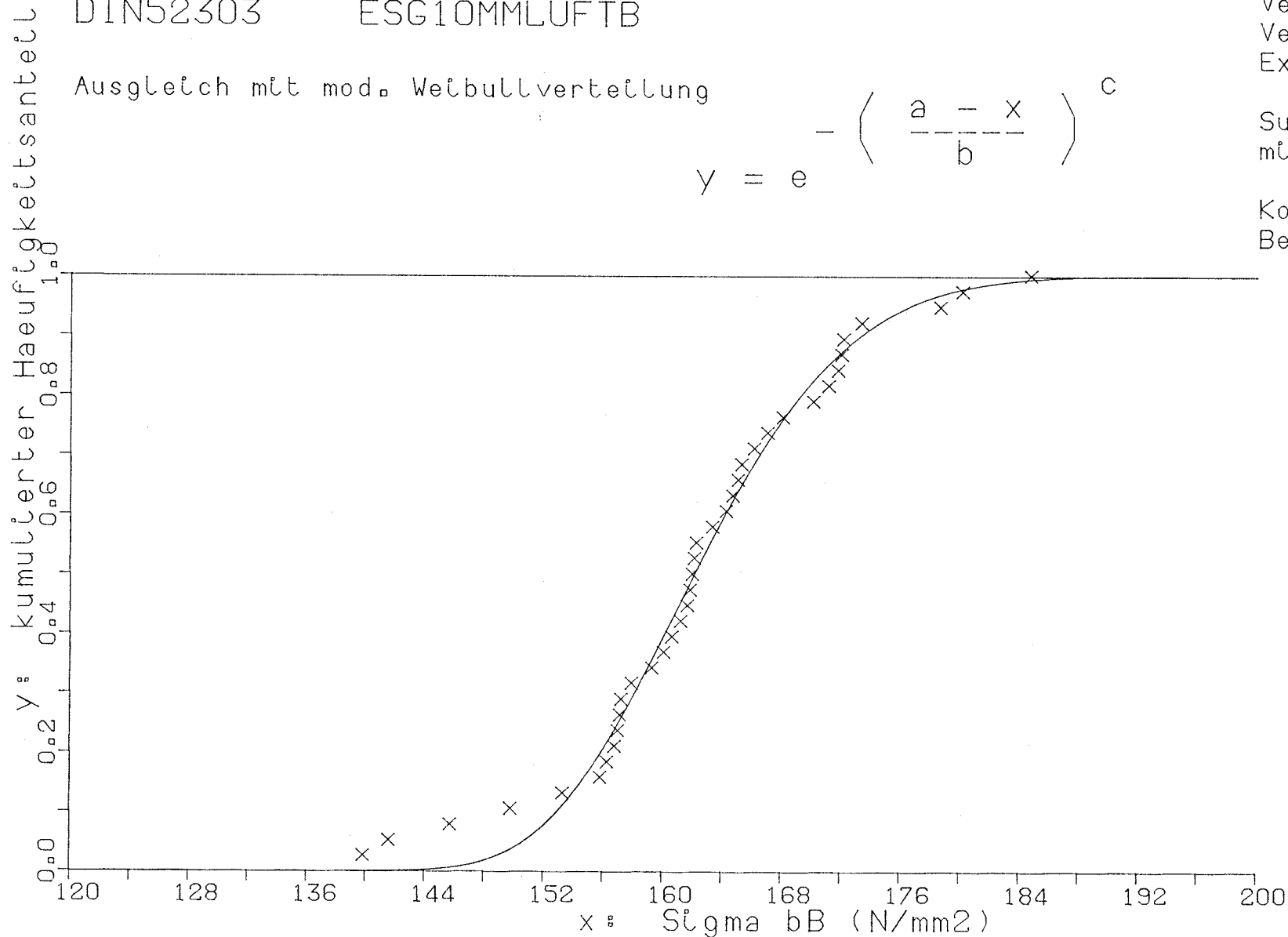
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschlebung (a) 202.240
 Verzerrung (b) 42.717
 Exponent (c) 5.784

Summe Abst. quad. 0.033
 mittlerer Fehler 0.030

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.990



Mittelwert 162.58
 50%-Wert 162.15
 5%-Wert 150.60
 1%-Wert 146.62
 0.1%-Wert 142.58

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

DIN52303 ESG10MMLUFTB

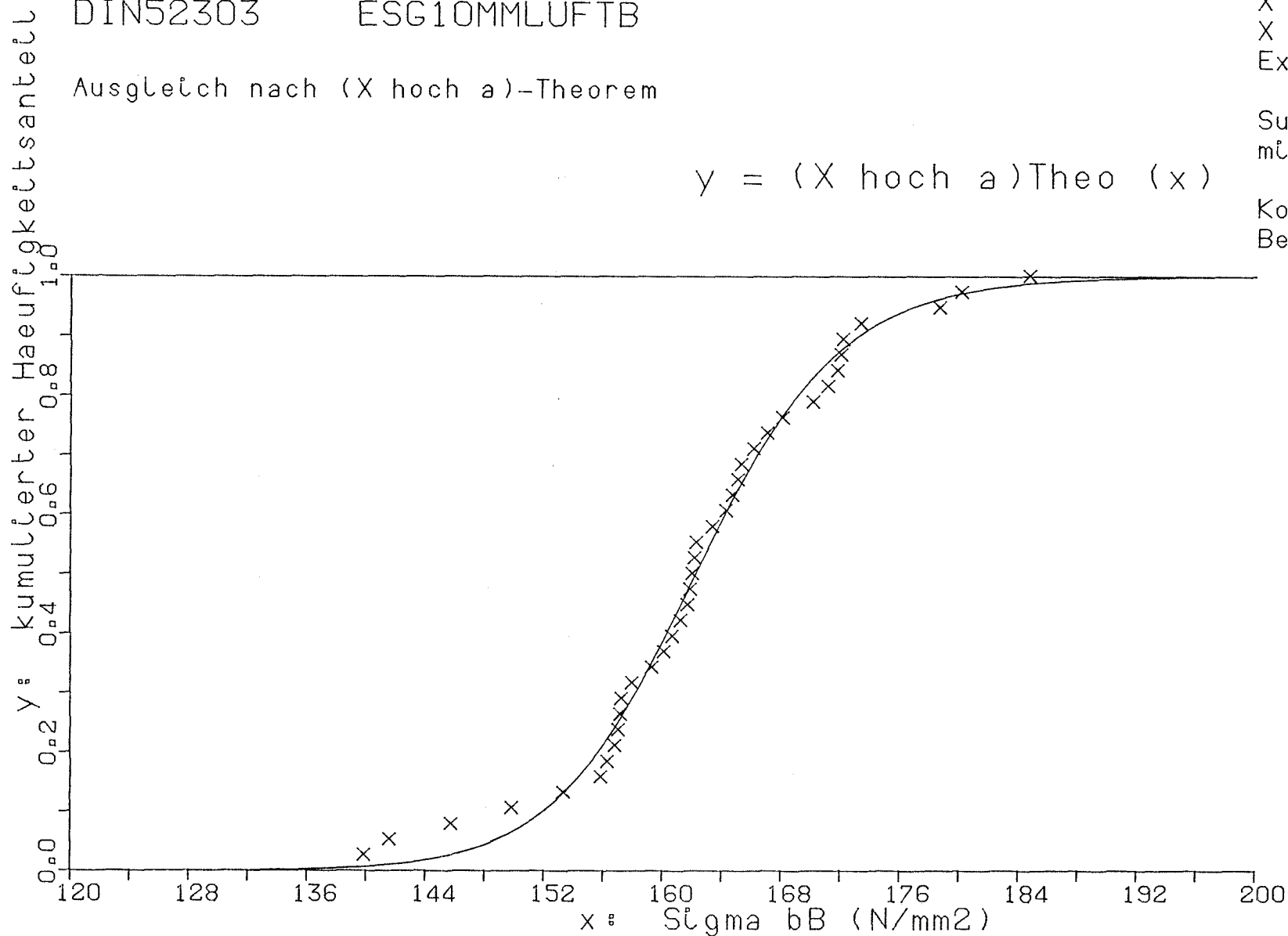
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	43.807
X mittel	(xm)	162.226
X oben	(xo)	549.121
Exponent	(a)	18.736

Summe Abst. quad. 0.027
mittlerer Fehler 0.027

Korrelationskoeff. 0.996
Bestimmtheitsmass 0.992

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



Mittelwert	162.58
50%-Wert	162.23
5%-Wert	148.57
1%-Wert	141.45
0.1%-Wert	132.09

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMBADA

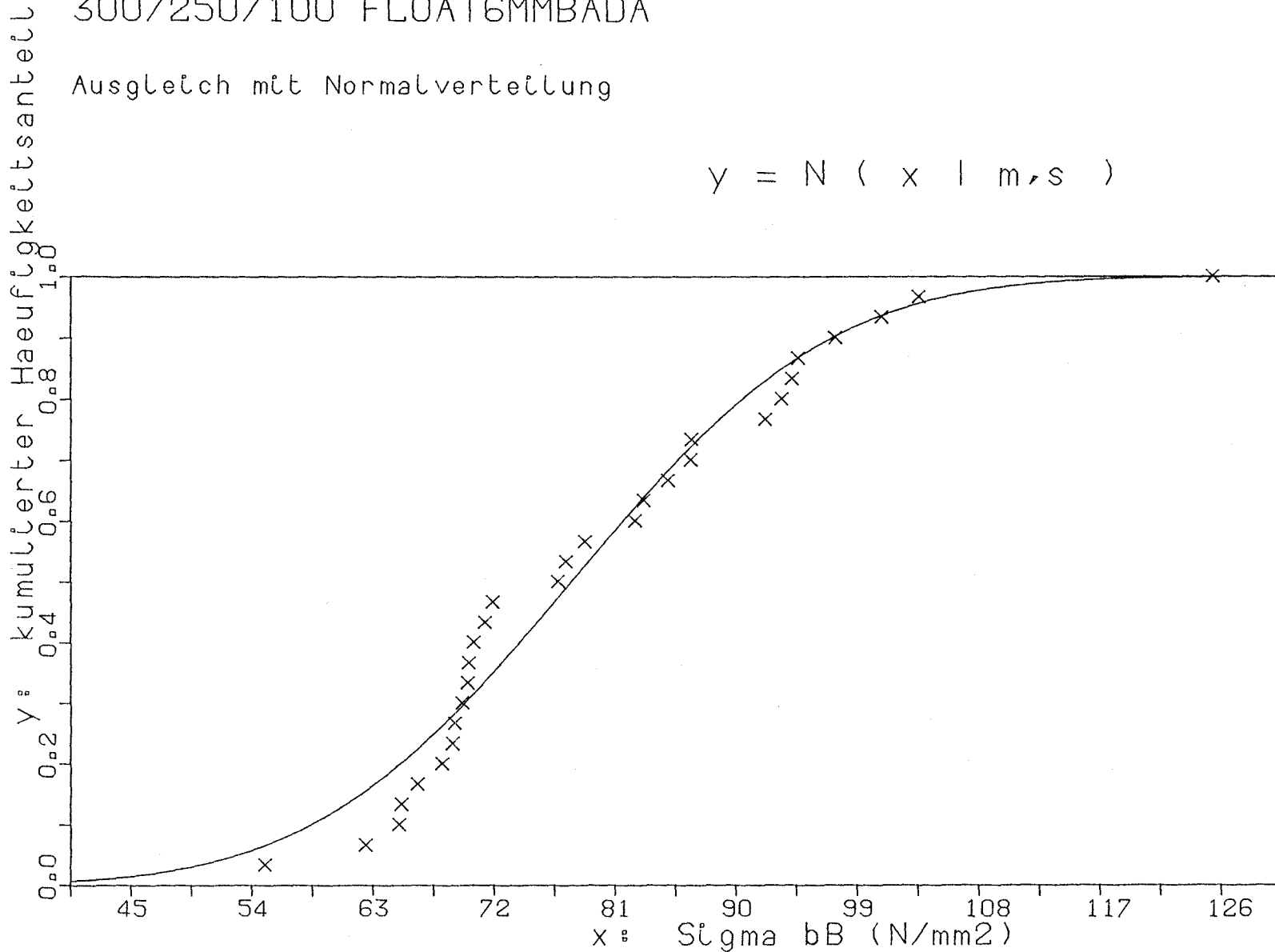
Ausgleich mit Normalverteilung

Mittelwert (m) 77.236
Standardabw. (s) 15.100

Summe Abst. quad. 0.081
mittlerer Fehler 0.053

Korrelationskoeff. 0.984
Bestimmtheitsmass 0.968

$$y = N(x | m, s)$$



Mittelwert 79.54
50%-Wert 77.24
5%-Wert 52.39
1%-Wert 42.10
0,1%-Wert 30.57

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMBADA

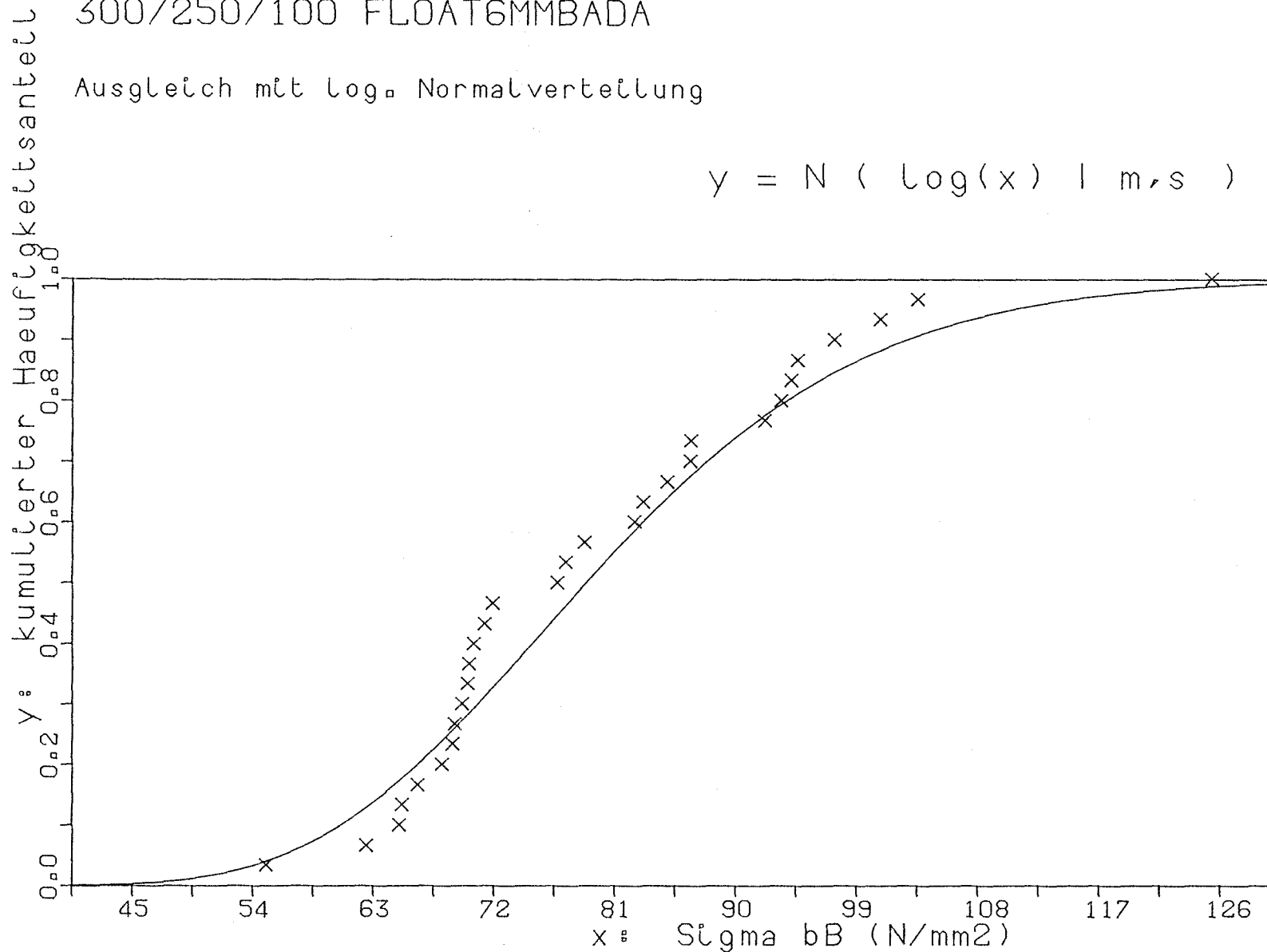
Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N(\log(x) | m, s)$$

Mittelwert (m) 1.894
Standardabw. (s) 0.090

Summe Abst. quad. 0.100
mittlerer Fehler 0.059

Korrelationskoeff. 0.980
Bestimmtheitsmass 0.960



Mittelwert 79.54
50%-Wert 78.31
5%-Wert 55.68
1%-Wert 48.34
0,1%-Wert 41.26

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMBADA

Ausgleich mit Weibullverteilung

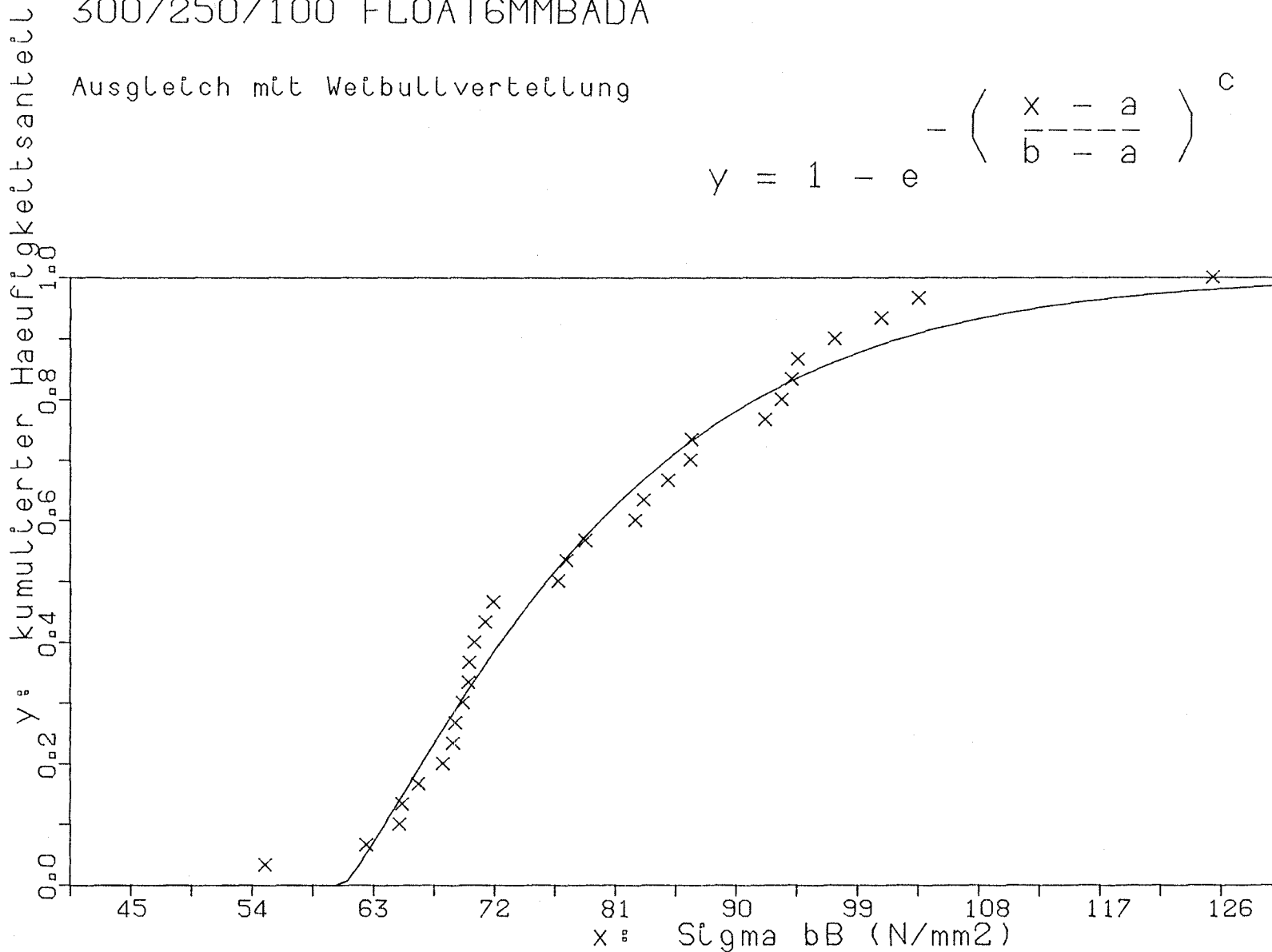
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 60.314
 Verzerrung (b) 80.867
 Exponent (c) 1.192

Summe Abst. quad. 0.045
 mittlerer Fehler 0.039

Korrelationskoeff. 0.991
 Bestimmtheitsmass 0.982

Mittelwert 79.54
 50%-Wert 75.43
 5%-Wert 62.02
 1%-Wert 60.75
 0,1%-Wert 60.38



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMBADA

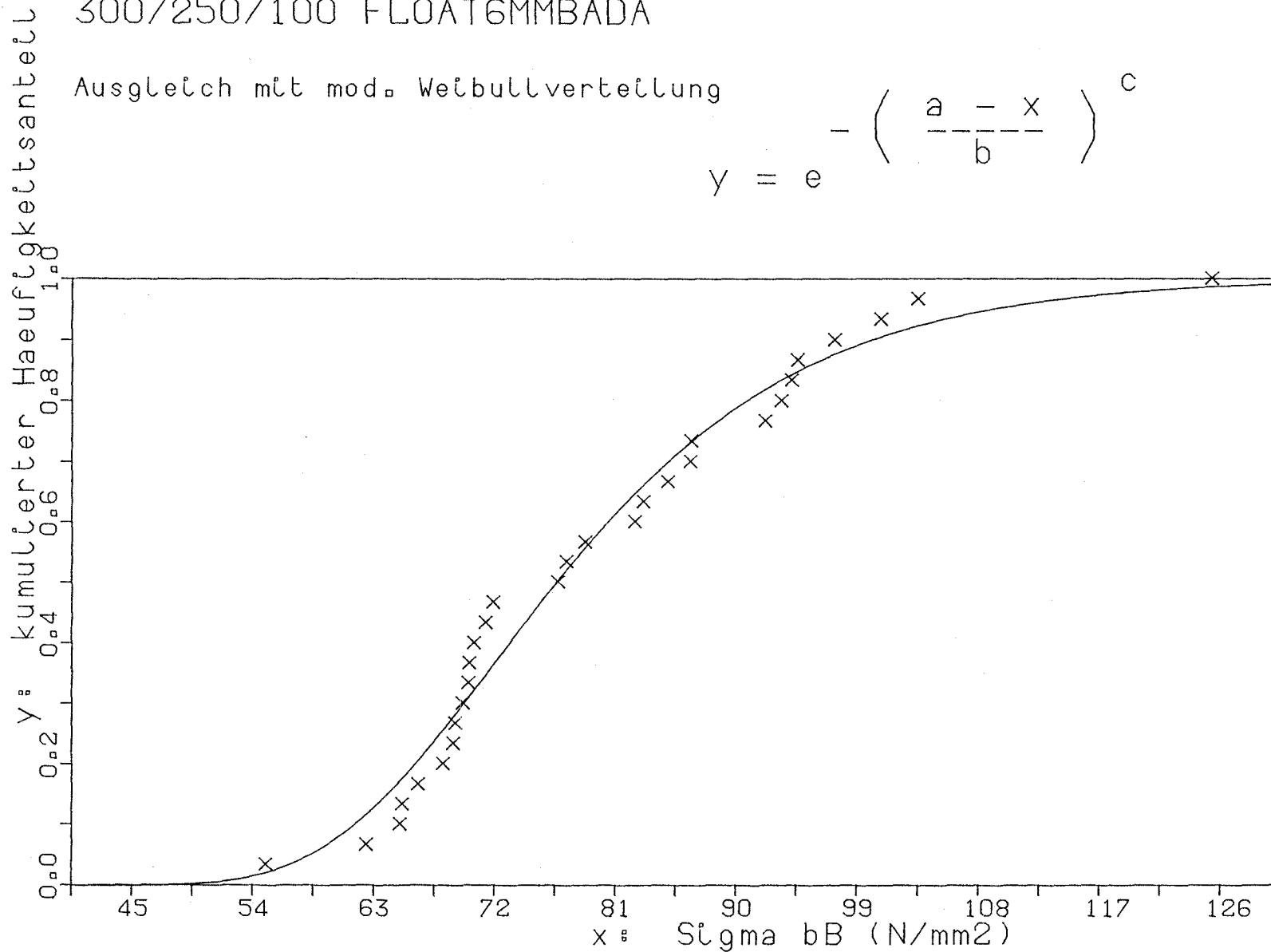
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 33789.8
 Verzerrung (b) 33718.2
 Exponent (c) 2699.198

Summe Abst. quad. 0.057
 mittlerer Fehler 0.044

Korrelationskoeff. 0.988
 Bestimmtheitsmass 0.977



Mittelwert 79.54
 50%-Wert 76.16
 5%-Wert 57.87
 1%-Wert 52.49
 0,1%-Wert 47.43

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMBADA

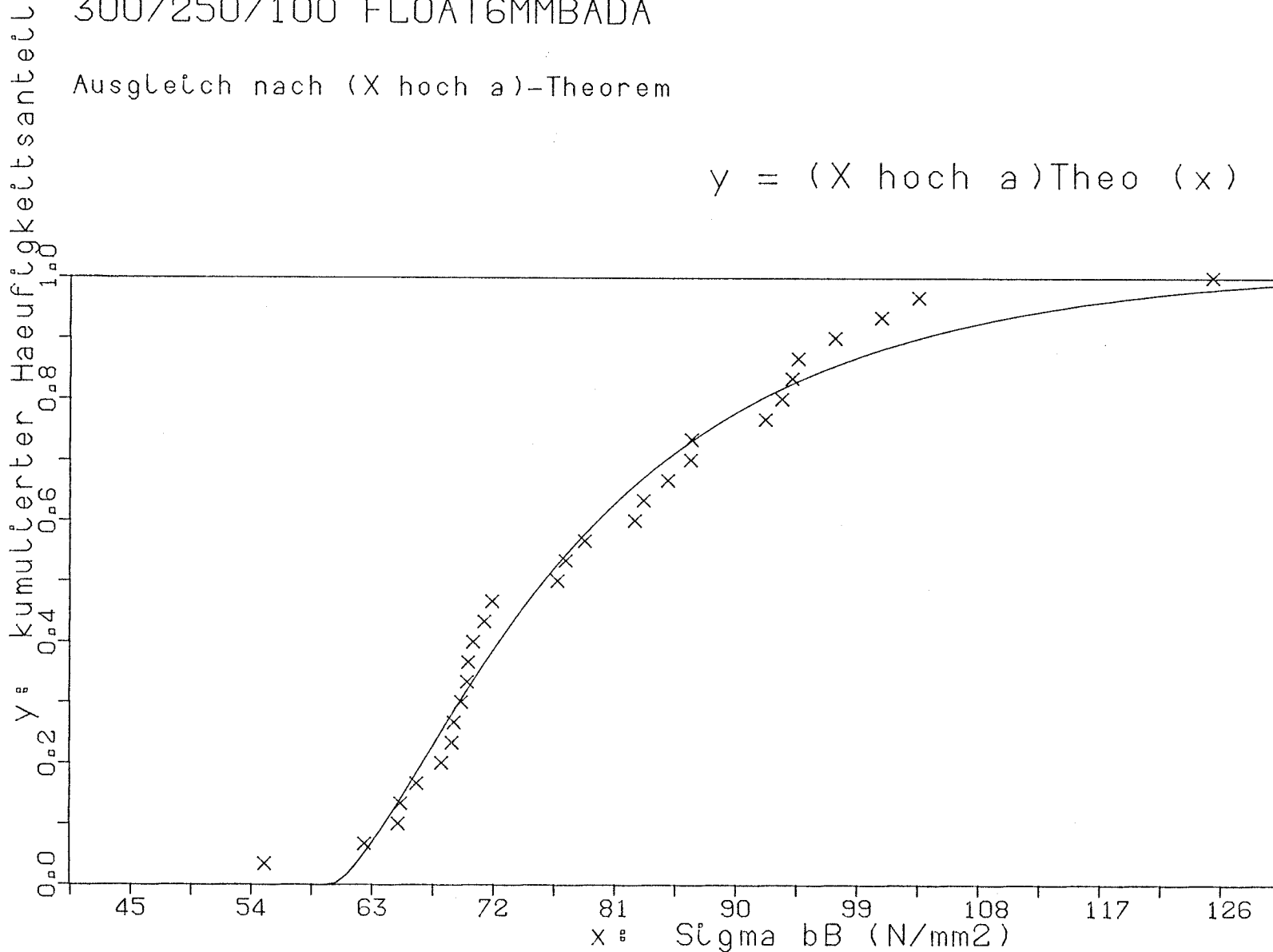
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	59.571
X mittel	(xm)	75.238
X oben	(xo)	143.143
Exponent	(a)	1.423

Summe Abst. quad.	0.047
mittlerer Fehler	0.040

Korrelationskoeff.	0.991
Bestimmtheitsmass	0.981

Mittelwert	79.54
50%-Wert	75.24
5%-Wert	61.94
1%-Wert	60.33
0,1%-Wert	59.72

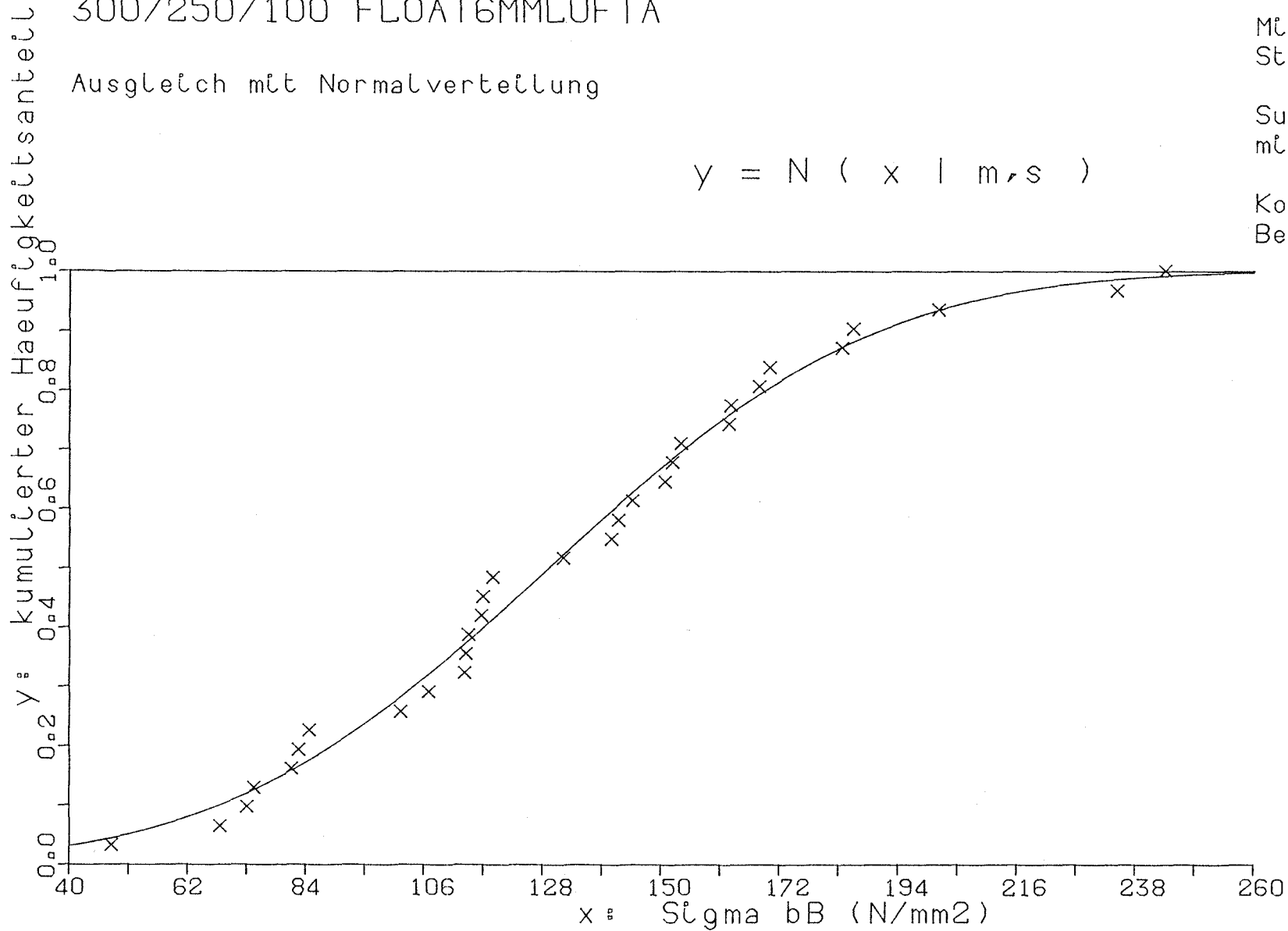


Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMLUFTA

Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N (x \mid m, s)$$



Mittelwert (m) 129.207
Standardabw.(s) 47.744

Summe Abst. quad. 0.025
mittlerer Fehler 0.029

Korrelationskoeff. 0.995
Bestimmtheitsmass 0.990

Mittelwert 133.64
50%-Wert 129.21
5%-Wert 50.66
1%-Wert 18.12
0,1%-Wert -18.35

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMLUFTA

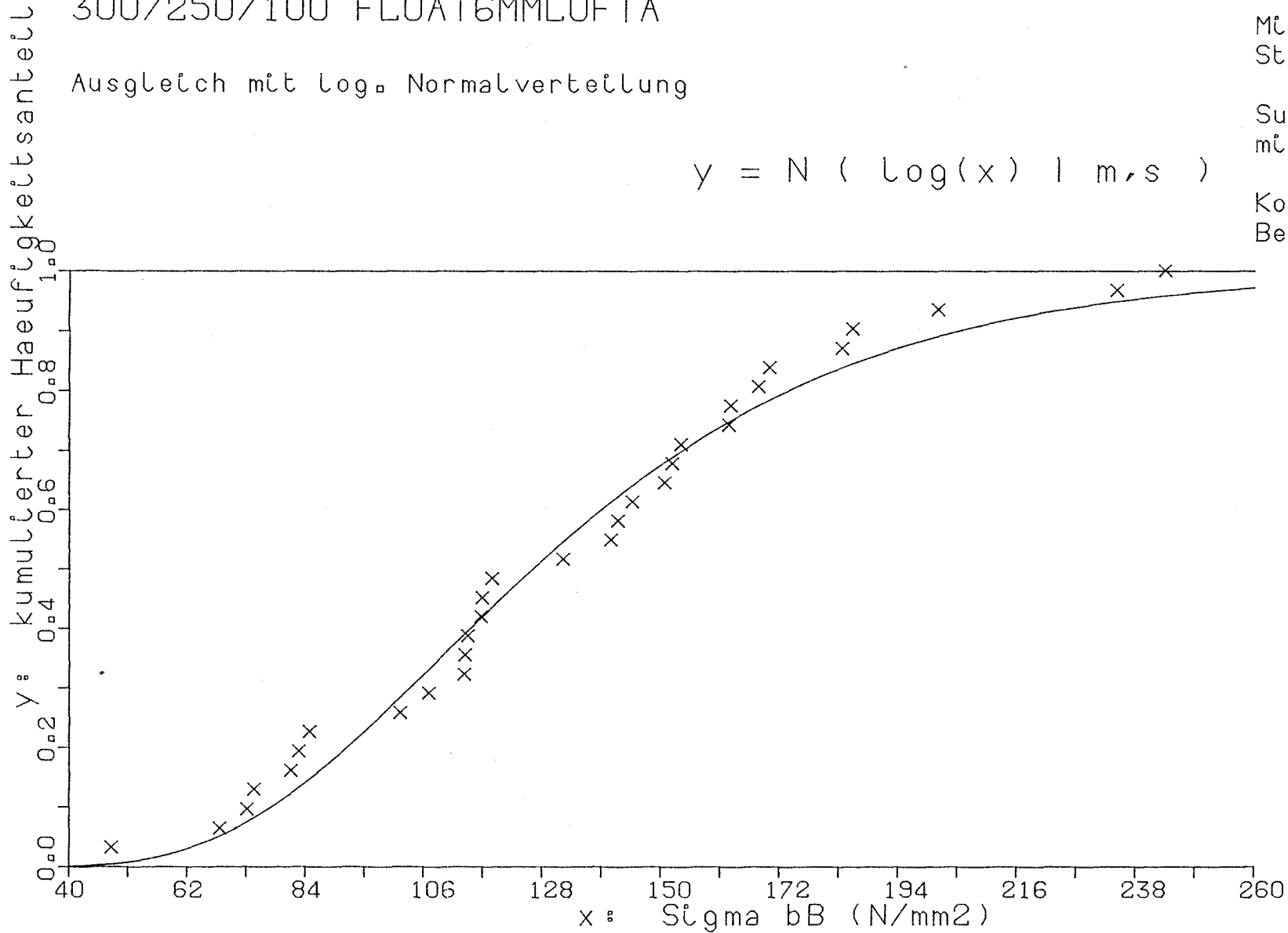
Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 2.101
Standardabw.(s) 0.165

Summe Abst. quad. 0.049
mittlerer Fehler 0.040

Korrelationskoeff. 0.991
Bestimmtheitsmass 0.981

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$



Mittelwert 133.64
50%-Wert 126.07
5%-Wert 67.49
1%-Wert 52.09
0,1%-Wert 38.98

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMLUFTA

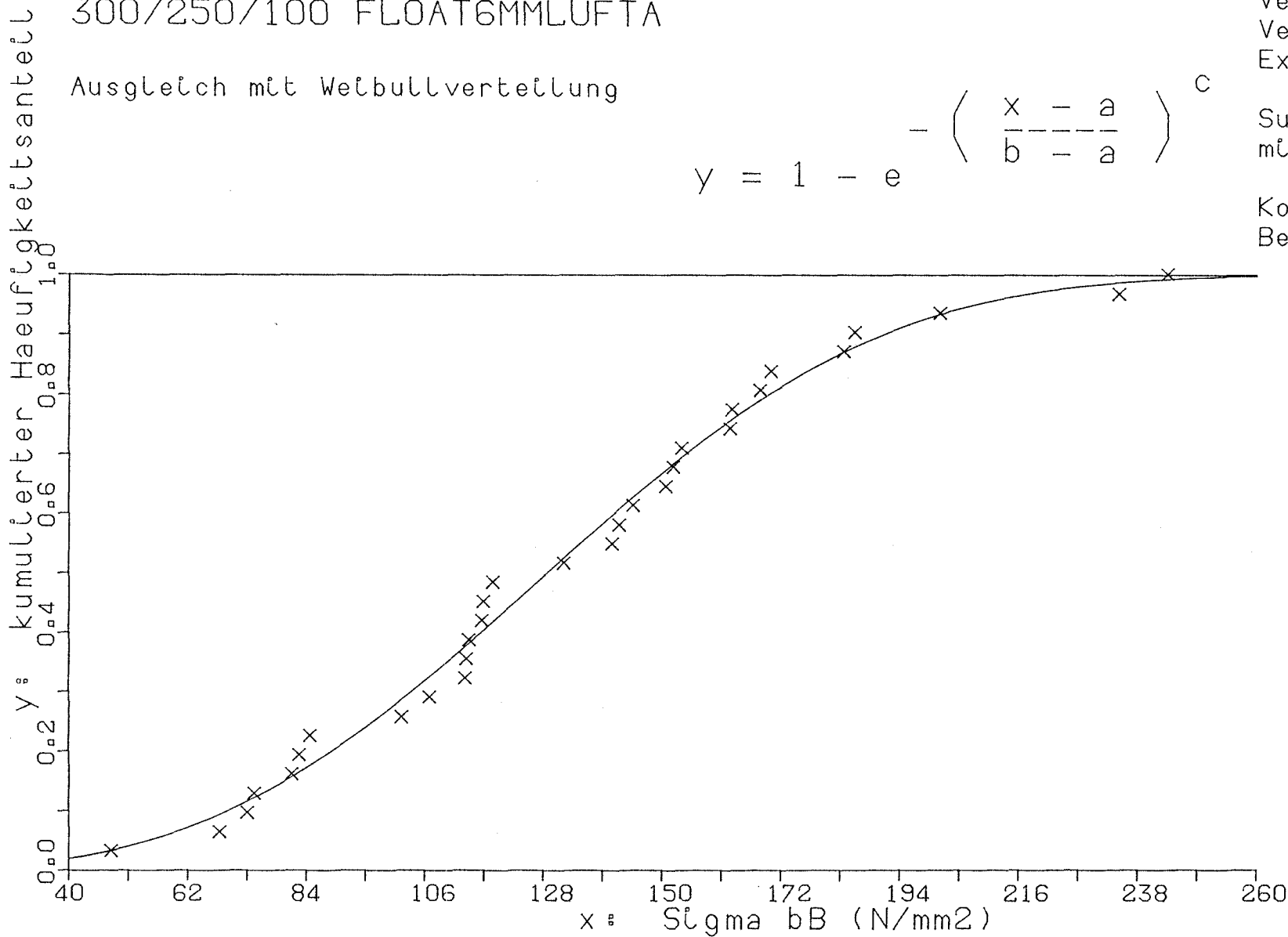
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 0.000
 Verzerrung (b) 145.246
 Exponent (c) 3.052

Summe Abst. quad. 0.025
 mittlerer Fehler 0.029

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.990



Mittelwert 133.64
 50%-Wert 128.81
 5%-Wert 54.88
 1%-Wert 32.17
 0,1%-Wert 15.11

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMLUFTA

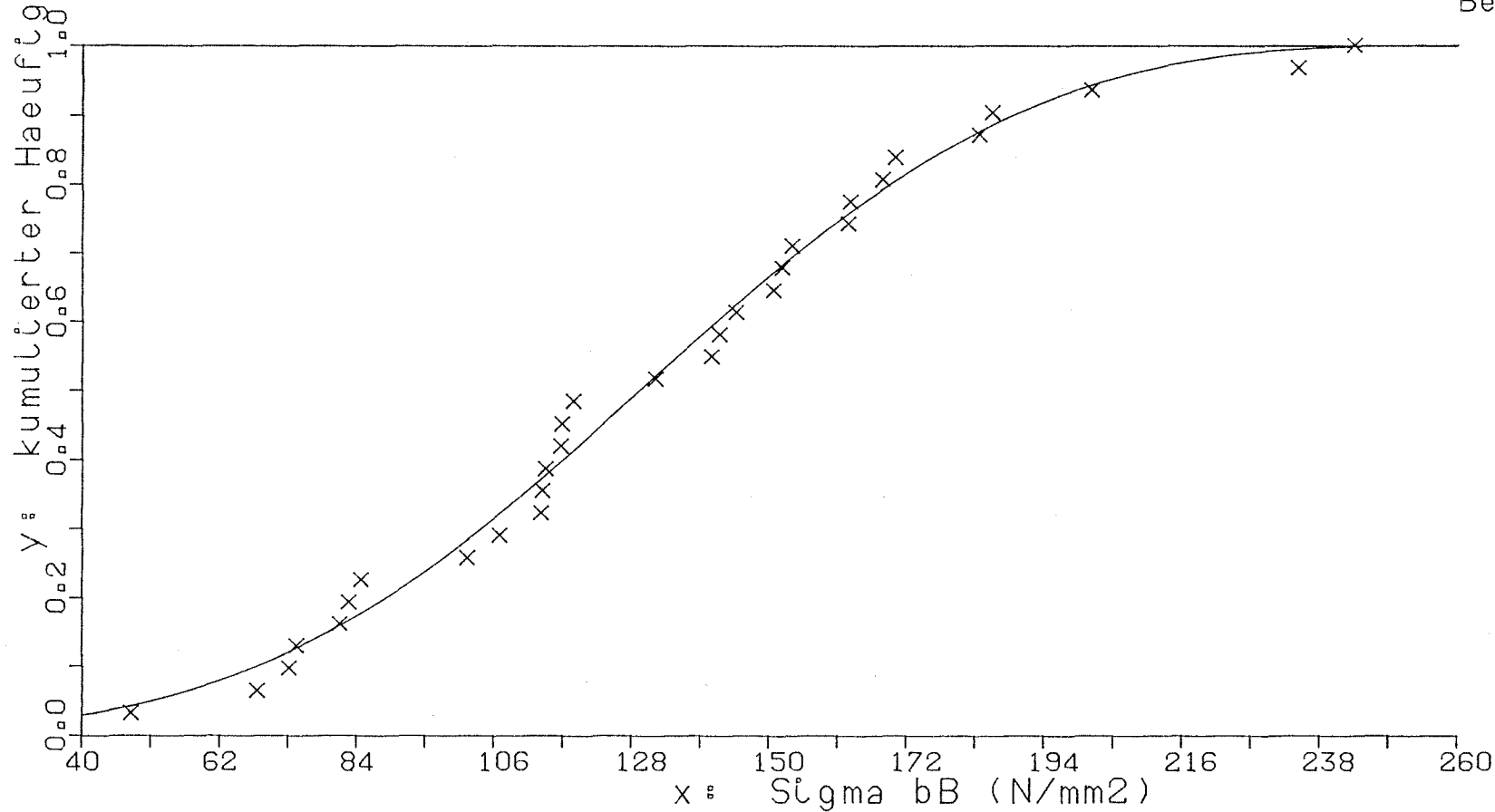
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschlebung (a) 262.691
 Verzerrung (b) 149.681
 Exponent (c) 3.176

Summe Abst. quad. 0.025
 mittlerer Fehler 0.029

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.990



Mittelwert 133.64
 50%-Wert 129.32
 5%-Wert 51.24
 1%-Wert 20.58
 0,1%-Wert -12.39

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMLUFTA

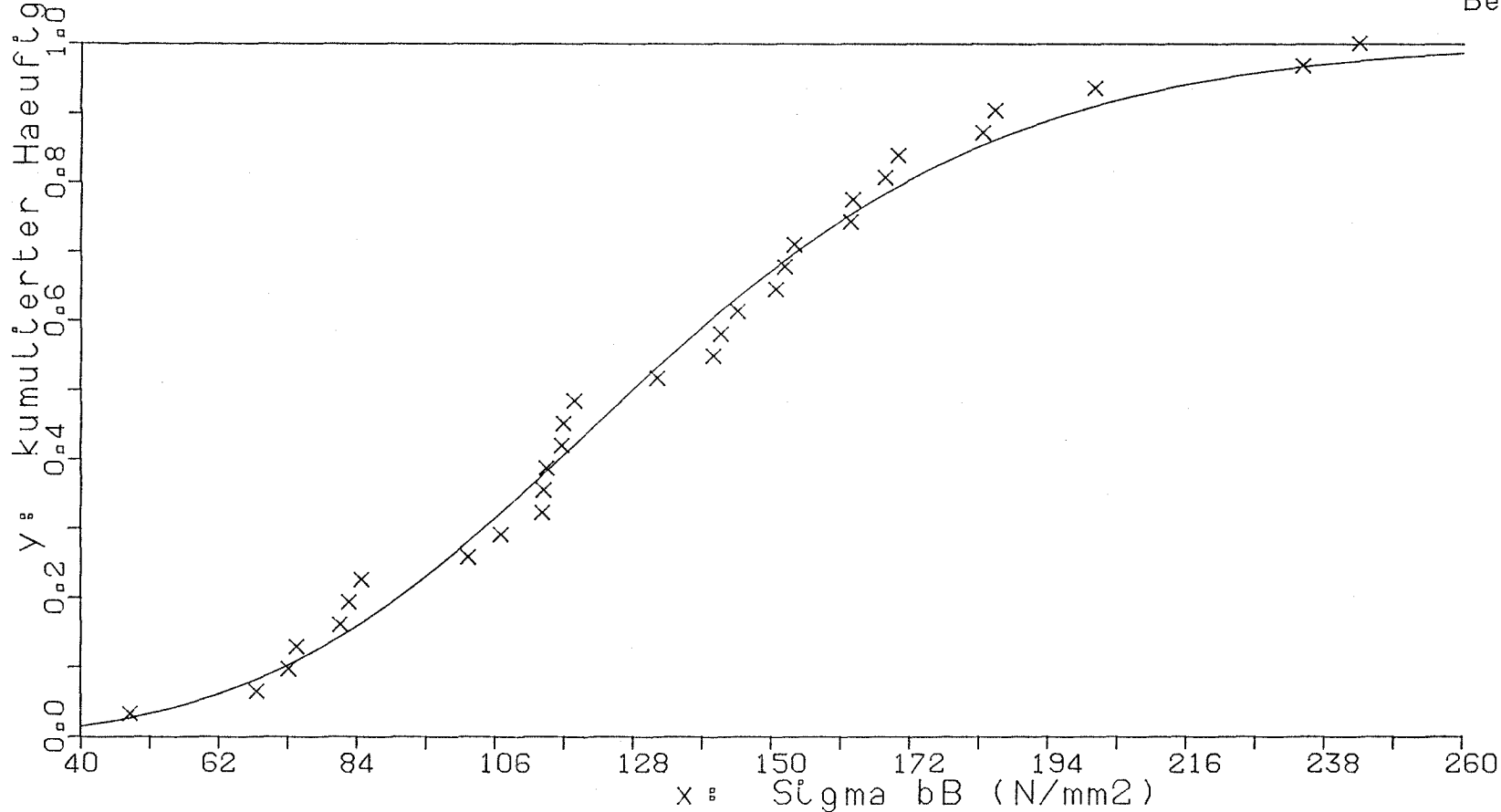
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	0.001
X mittel	(xm)	127.909
X oben	(xo)	369.444
Exponent	(a)	2.830

Summe Abst. quad.	0.031
mittlerer Fehler	0.032

Korrelationskoeff.	0.994
Bestimmtheitsmass	0.988

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



Mittelwert	133.64
50%-Wert	127.91
5%-Wert	58.23
1%-Wert	34.93
0,1%-Wert	16.29

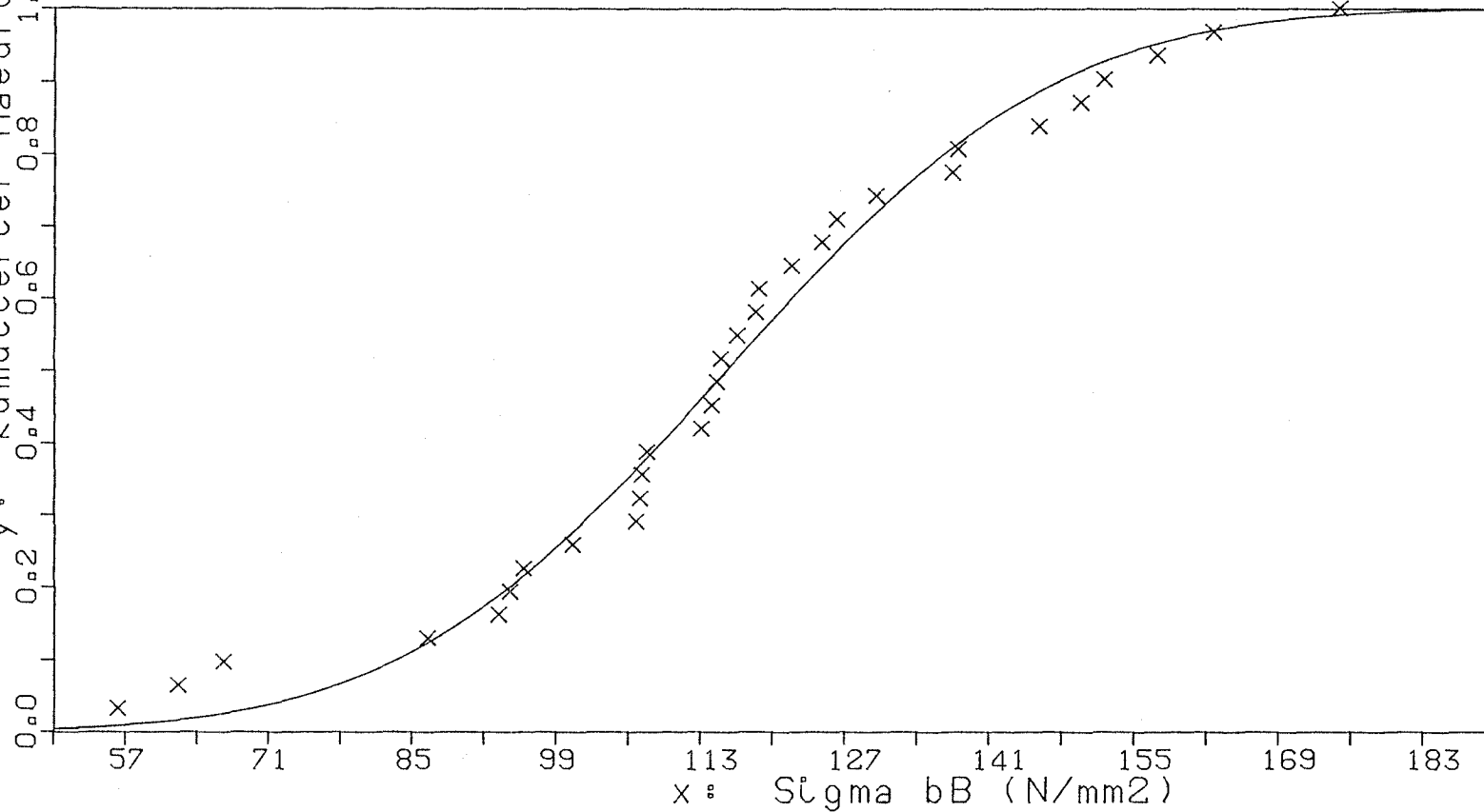
Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMBADB

Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N (x \mid m, s)$$

y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert (m) 115.463
Standardabw. (s) 25.031

Summe Abst. quad. 0.038
mittlerer Fehler 0.036

Korrelationskoeff. 0.993
Bestimmtheitsmass 0.985

Mittelwert 116.62
50%-Wert 115.46
5%-Wert 74.28
1%-Wert 57.22
0,1%-Wert 38.10

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMBADB

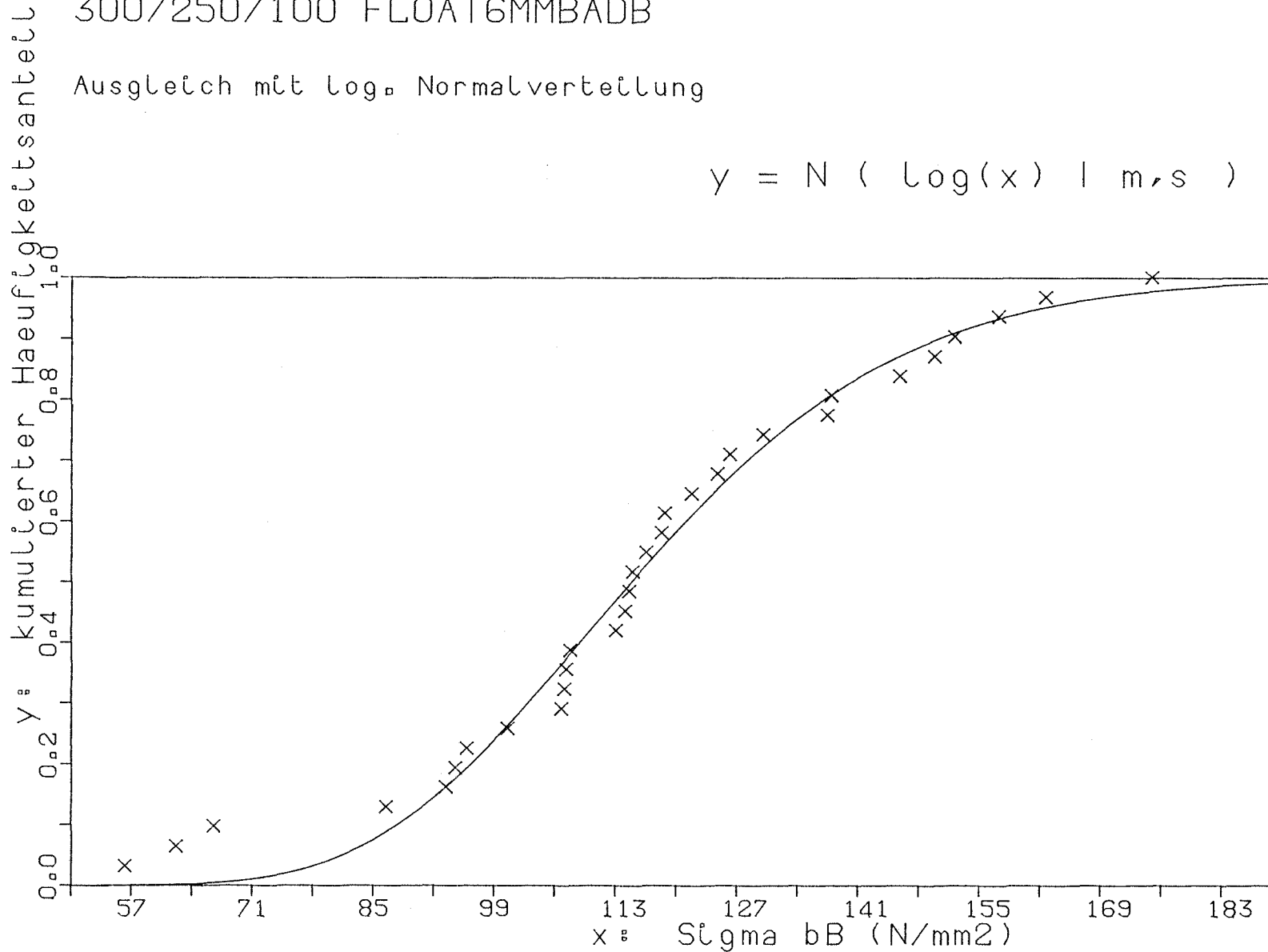
Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 2.060
Standardabw.(s) 0.091

Summe Abst. quad. 0.039
mittlerer Fehler 0.036

Korrelationskoeff. 0.992
Bestimmtheitsmass 0.985

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$



Mittelwert 116.62
50%-Wert 114.86
5%-Wert 81.34
1%-Wert 70.51
0,1%-Wert 60.07

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMBADB

Ausgleich mit Weibullverteilung

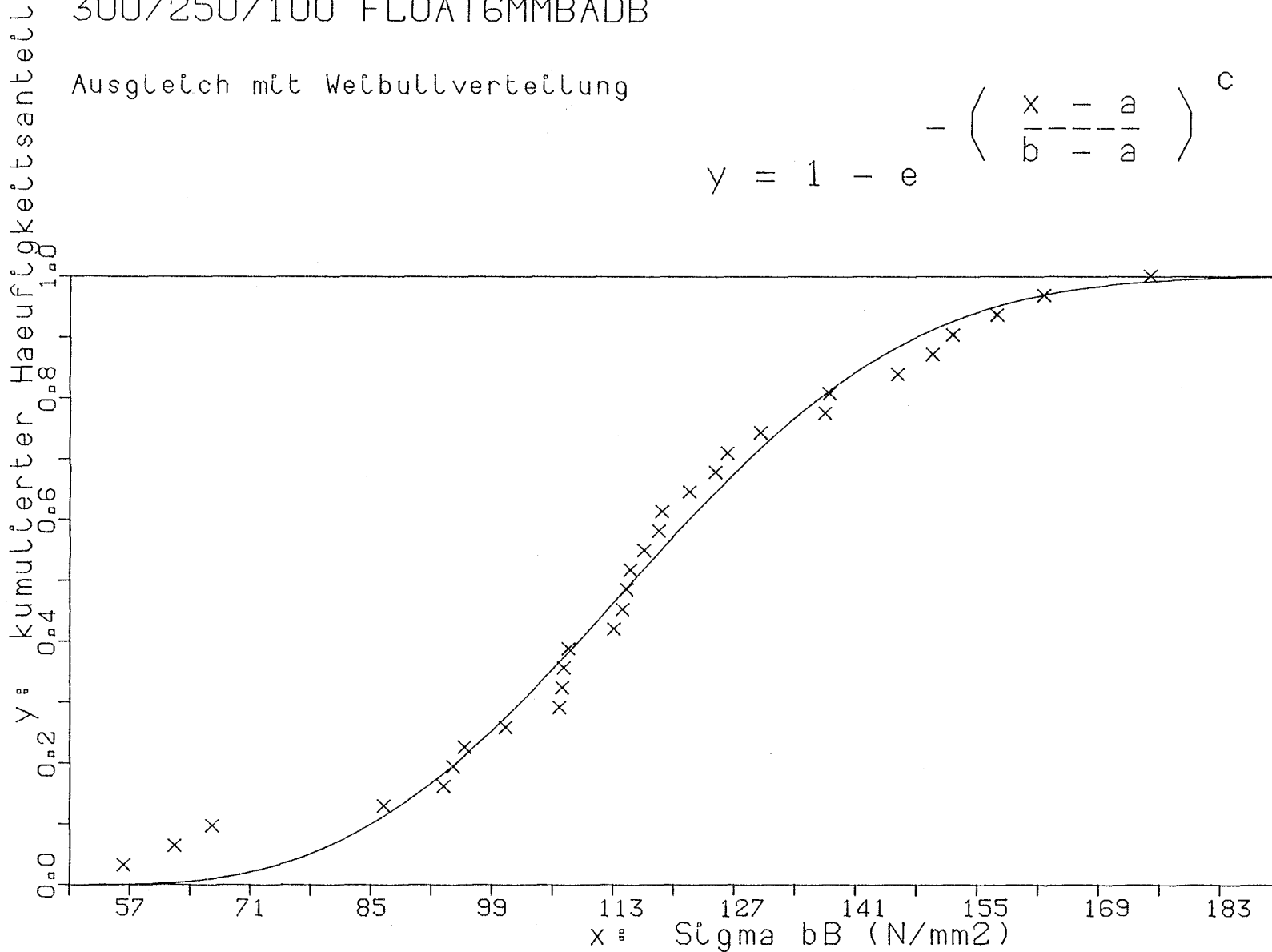
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x - a}{b - a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 51.851
 Verzerrung (b) 123.914
 Exponent (c) 2.896

Summe Abst. quad. 0.042
 mittlerer Fehler 0.037

Korrelationskoeff. 0.992
 Bestimmtheitsmass 0.984

Mittelwert 116.62
 50%-Wert 115.35
 5%-Wert 77.69
 1%-Wert 66.57
 0,1%-Wert 58.49



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMBADB

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

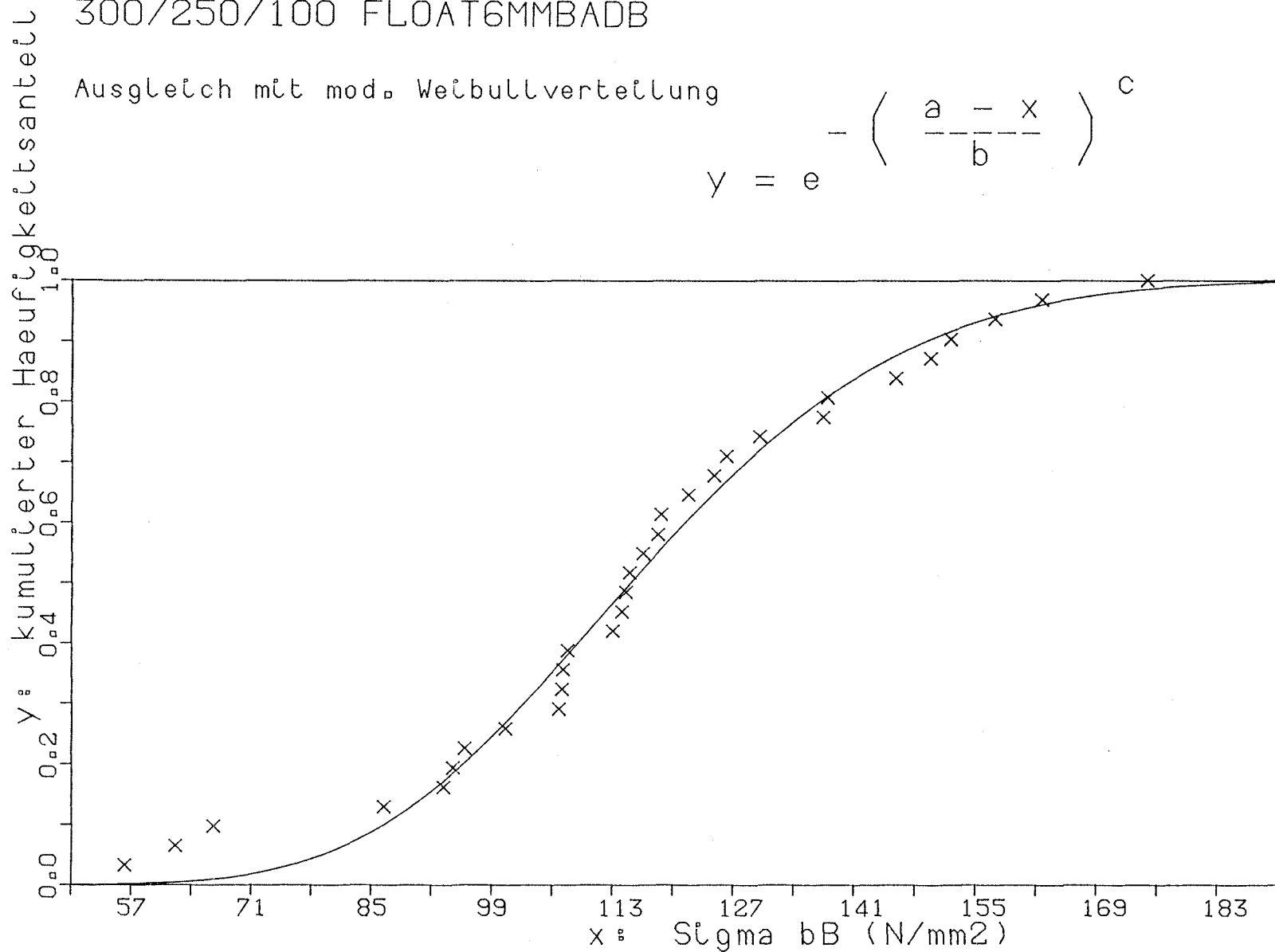
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 234.520
 Verzerrung (b) 127.554
 Exponent (c) 5.587

Summe Abst. quad. 0.038
 mittlerer Fehler 0.036

Korrelationskoeff. 0.993
 Bestimmtheitsmass 0.985

Mittelwert 116.62
 50%-Wert 115.07
 5%-Wert 79.29
 1%-Wert 66.87
 0.1%-Wert 54.25



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMBADB

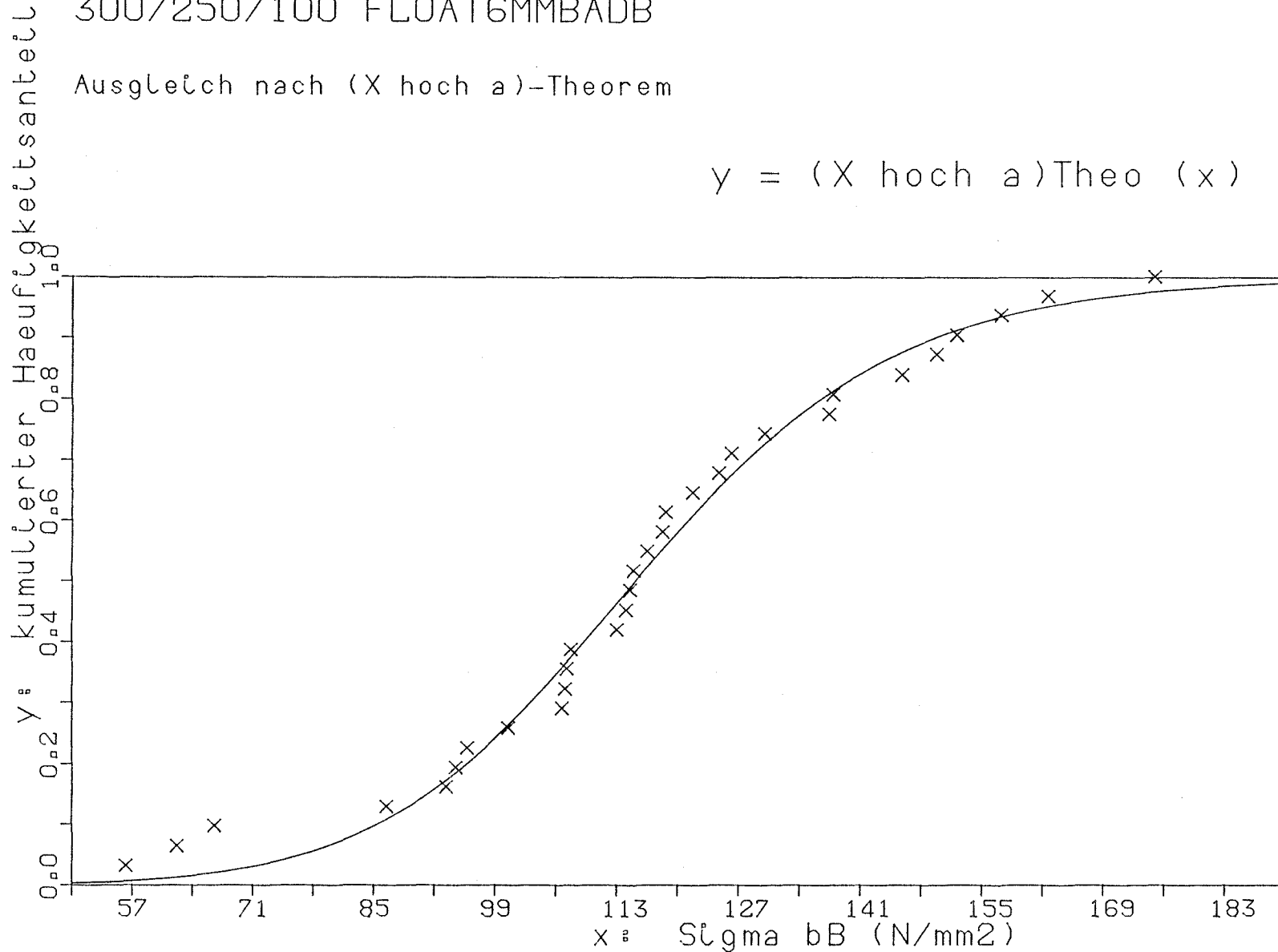
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(x _u)	0.003
X mittel	(x _m)	115.104
X oben	(x _o)	362.663
Exponent	(a)	5.319

Summe Abst. quad. 0.032
mittlerer Fehler 0.033

Korrelationskoeff. 0.994
Bestimmtheitsmass 0.987

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



Mittelwert	116.62
50%-Wert	115.10
5%-Wert	76.50
1%-Wert	59.43
0.1%-Wert	40.85

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMLUFTB

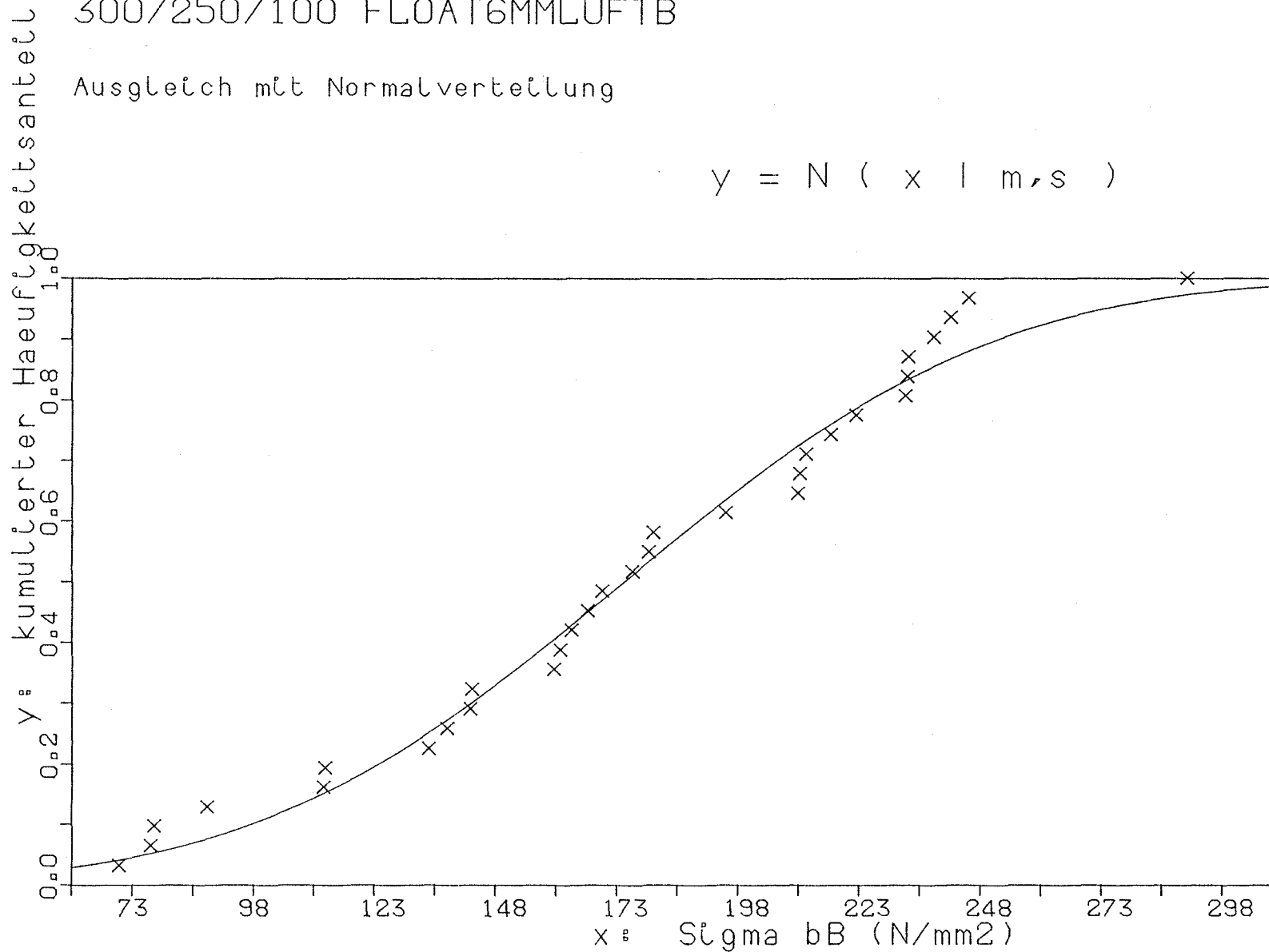
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N (x \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 174.152
Standardabw.(s) 60.210

Summe Abst. quad. 0.041
mittlerer Fehler 0.037

Korrelationskoeff. 0.992
Bestimmtheitsmass 0.984



Mittelwert 174.89
50%-Wert 174.15
5%-Wert 75.09
1%-Wert 34.05
0,1%-Wert -11.93

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMLUFTB

Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 2.233

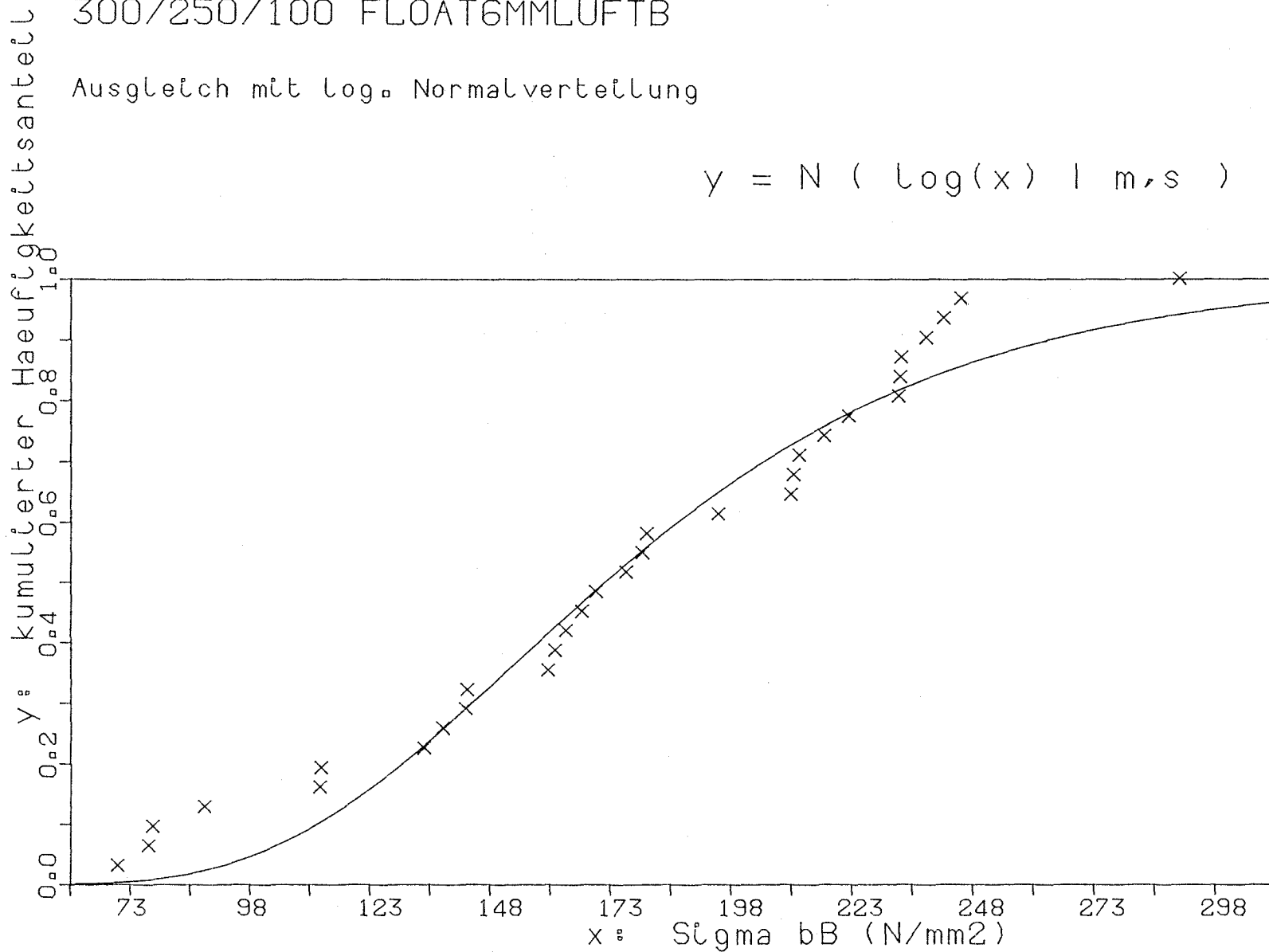
Standardabw. (s) 0.146

Summe Abst. quad. 0.085

mittlerer Fehler 0.053

Korrelationskoeff. 0.983

Bestimmtheitsmass 0.967



Mittelwert 174.89

50%-Wert 171.17

5%-Wert 98.45

1%-Wert 78.28

0,1%-Wert 60.56

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMLUFTB

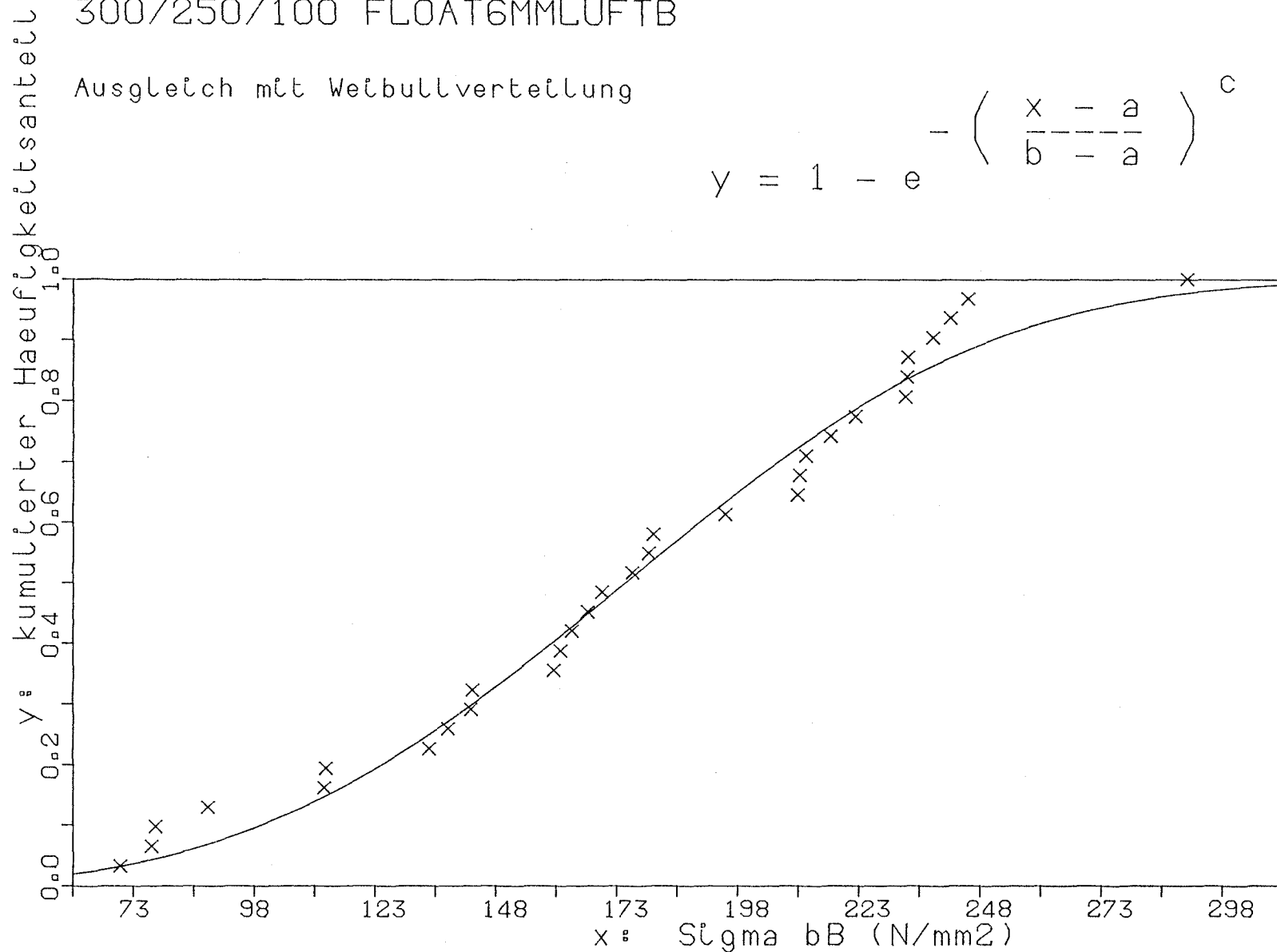
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 0.000
 Verzerrung (b) 194.570
 Exponent (c) 3.327

Summe Abst. quad. 0.041
 mittlerer Fehler 0.037

Korrelationskoeff. 0.992
 Bestimmtheitsmass 0.984



Mittelwert 174.89
 50%-Wert 174.28
 5%-Wert 79.69
 1%-Wert 48.82
 0.1%-Wert 24.41

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMLUFTB

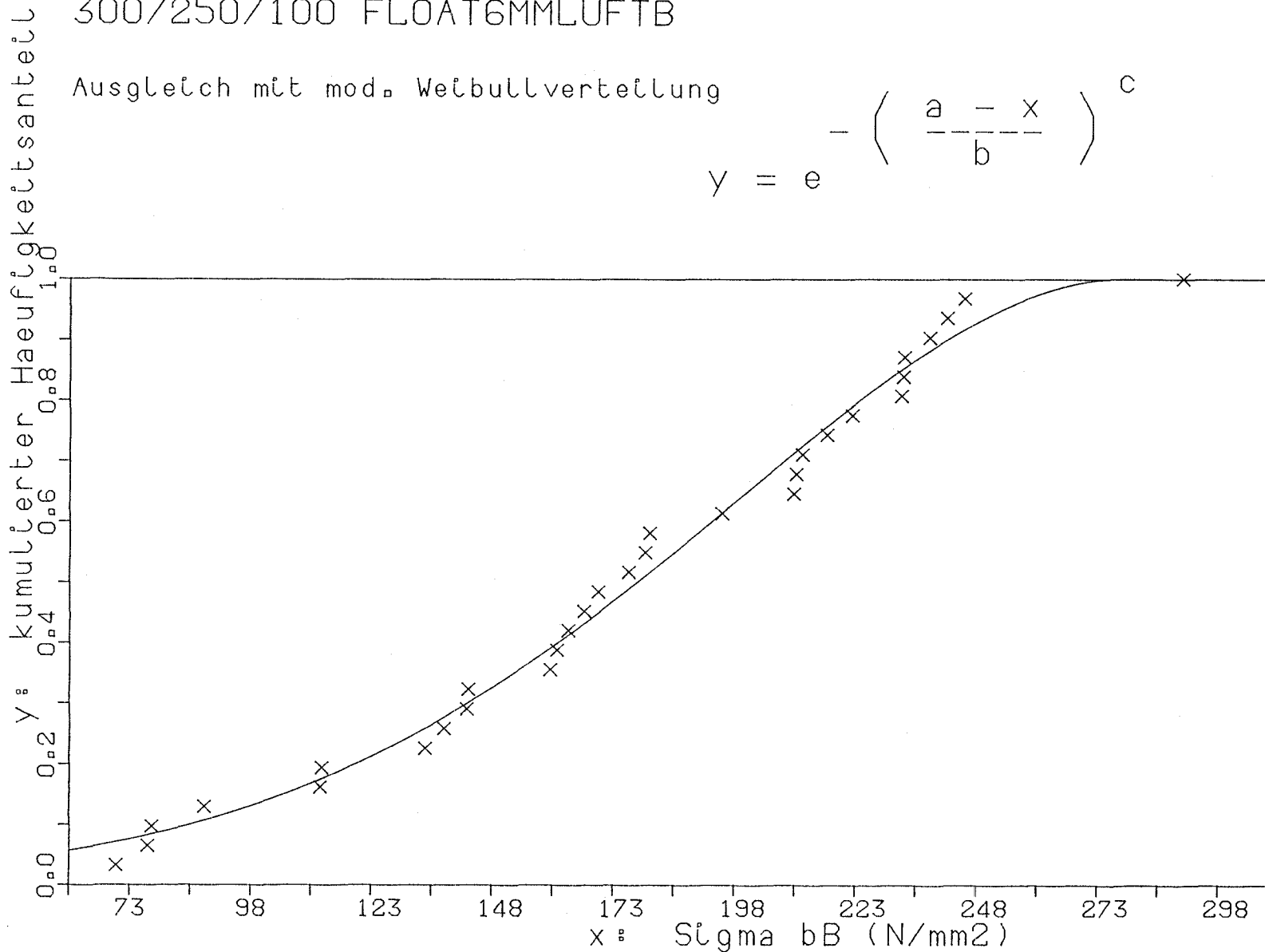
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschlebung (a) 276.270
 Verzerrung (b) 120.937
 Exponent (c) 1.813

Summe Abst. quad. 0.028
 mittlerer Fehler 0.031

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.989



Mittelwert 174.89
 50%-Wert 177.47
 5%-Wert 54.78
 1%-Wert -4.50
 0,1%-Wert -74.85

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT6MMLUFTB

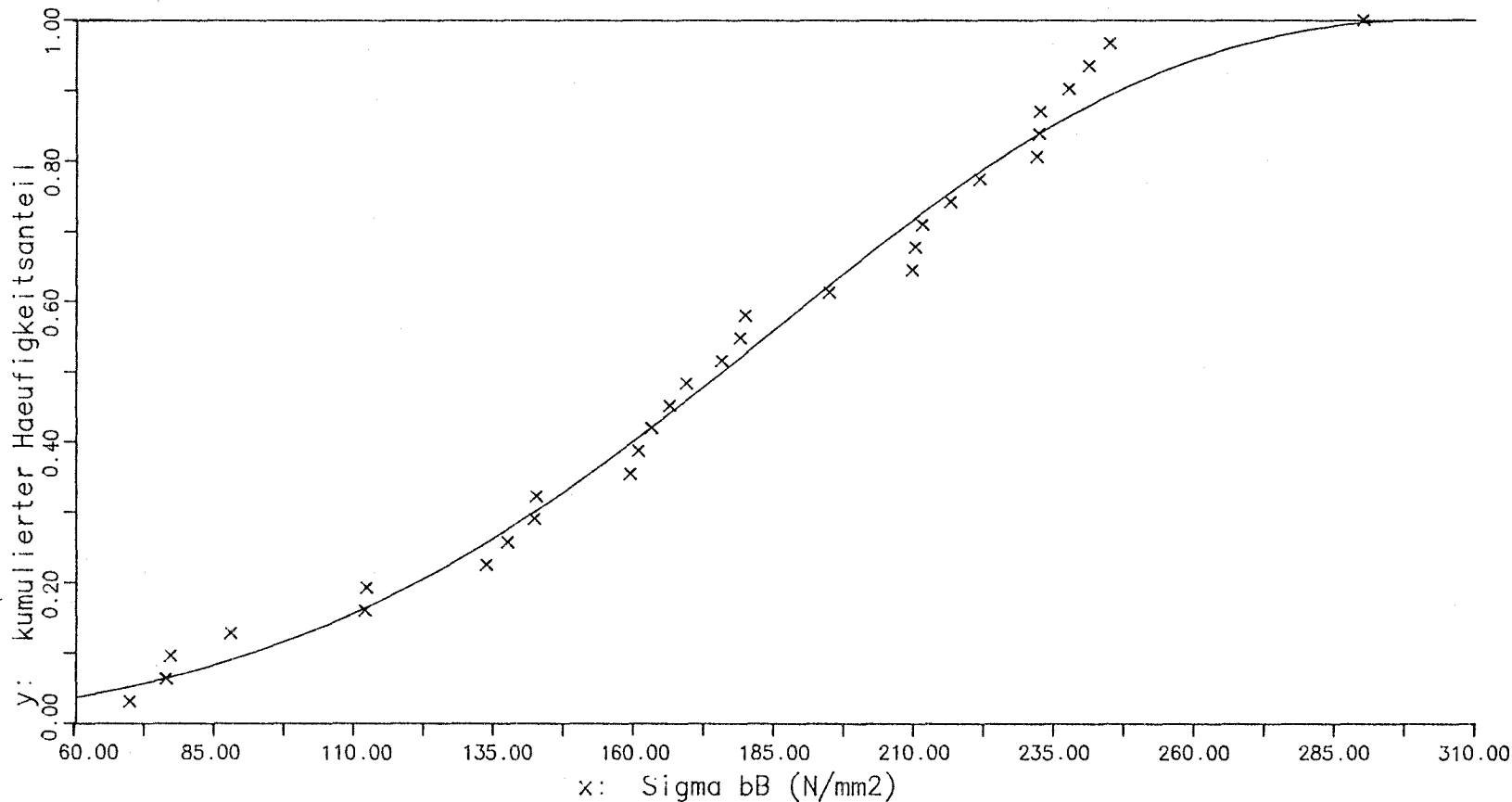
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	0.001
X mittel	(xm)	175.708
X oben	(xo)	301.296
Exponent	(a)	1.877

Summe Abst.quad. 0.032
mittlerer Fehler 0.032

Korrelationskoeff. 0.993
Bestimmtheitsmass 0.987

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



Mittelwert	174.89
50%-Wert	175.70
5%-Wert	68.01
1%-Wert	32.52
0,1%-Wert	10.28

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMBADA

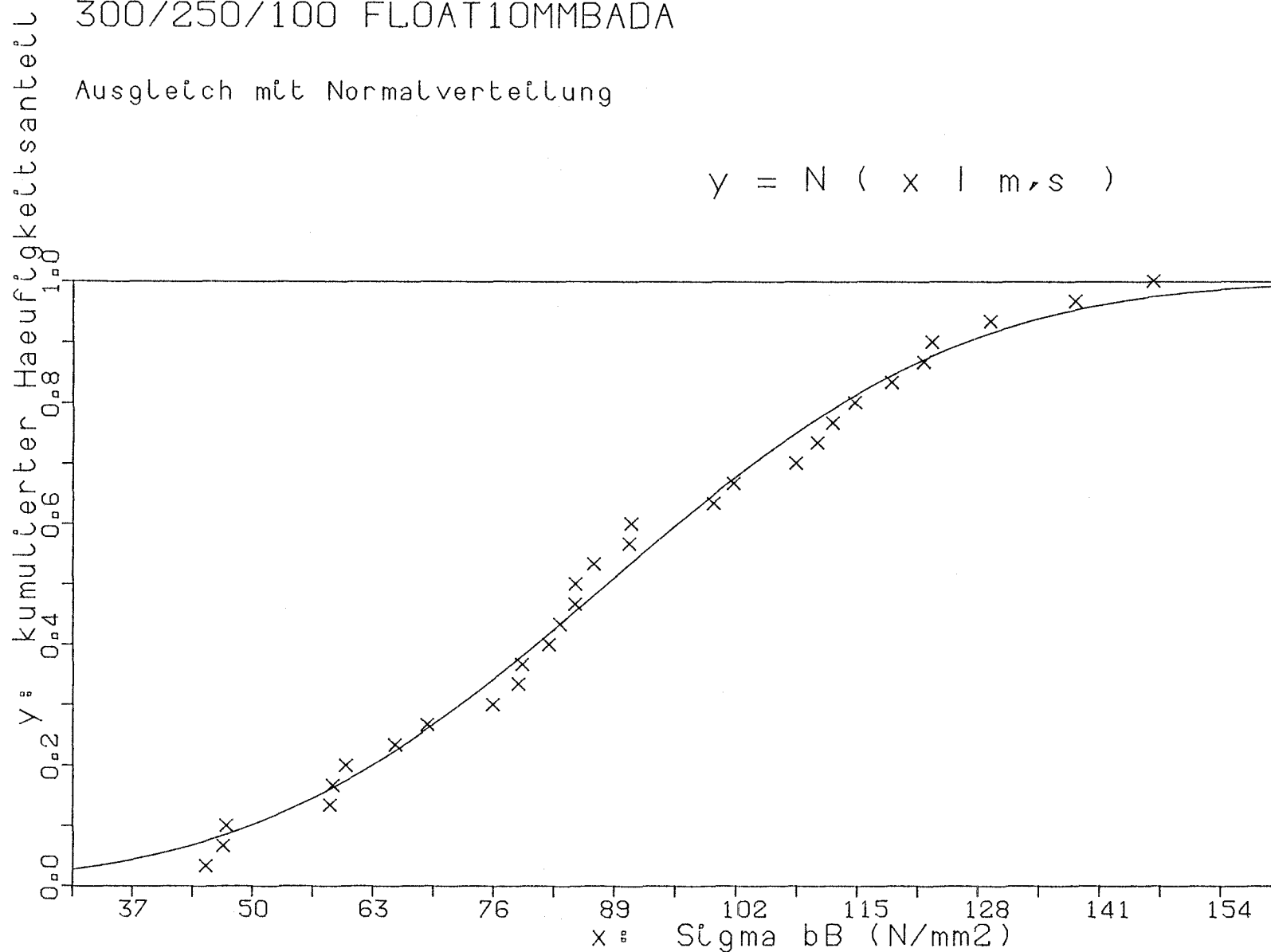
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$

Mittelwert (m) 87.659
Standardabw. (s) 30.053

Summe Abst. quad. 0.025
mittlerer Fehler 0.029

Korrelationskoeff. 0.995
Bestimmtheitsmass 0.990



Mittelwert 89.90
50%-Wert 87.66
5%-Wert 38.21
1%-Wert 17.73
0,1%-Wert -5.22

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMBADA

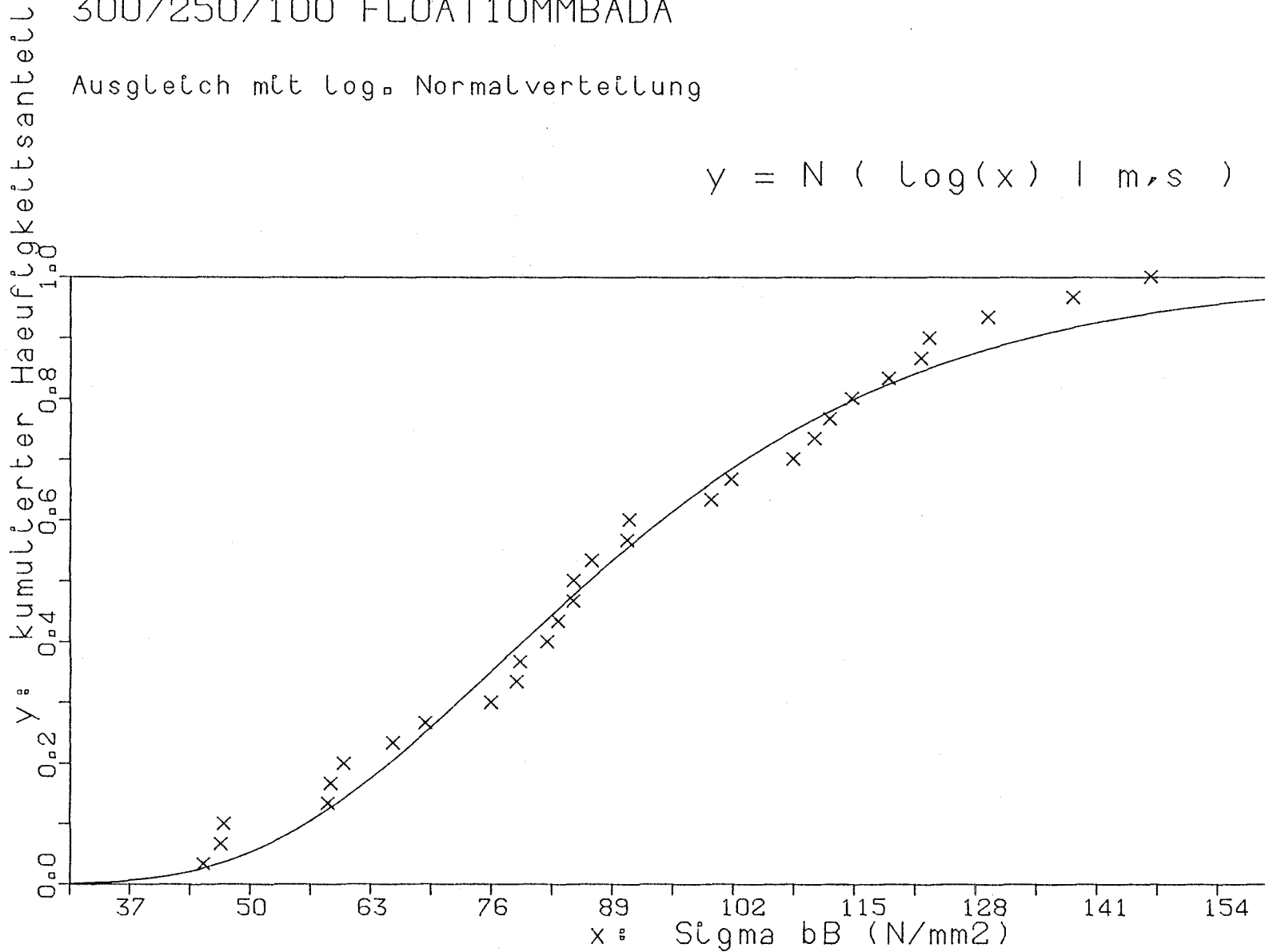
Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 1.934
Standardabw.(s) 0.149

Summe Abst. quad. 0.039
mittlerer Fehler 0.037

Korrelationskoeff. 0.992
Bestimmtheitsmass 0.984



Mittelwert 89.90
50%-Wert 85.86
5%-Wert 48.87
1%-Wert 38.70
0,1%-Wert 29.79

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMBADA

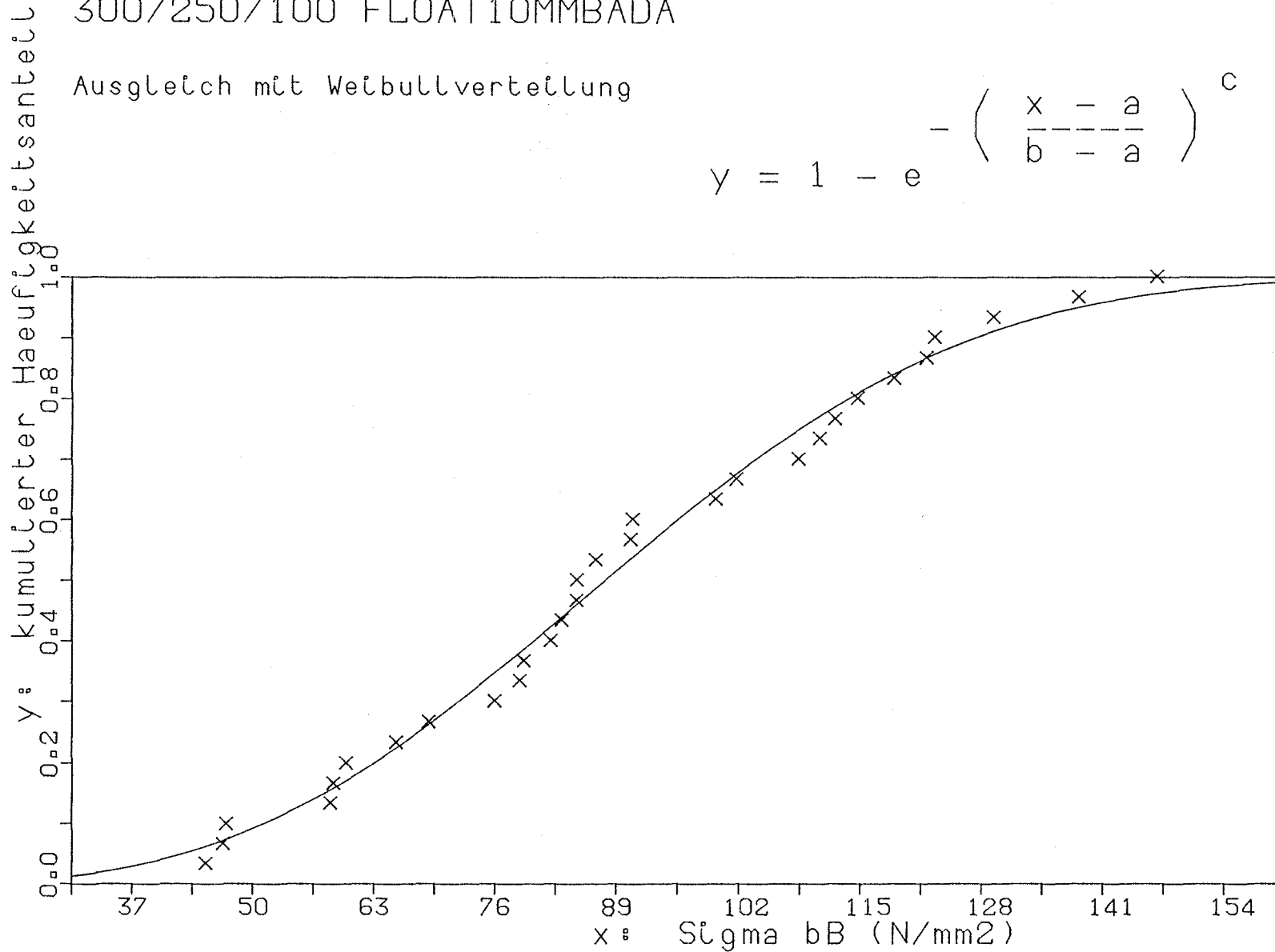
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschlebung (a) 11.062
 Verzerrung (b) 97.745
 Exponent (c) 2.878

Summe Abst. quad. 0.024
 mittlerer Fehler 0.029

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.991



Mittelwert 89.90
 50%-Wert 87.38
 5%-Wert 41.95
 1%-Wert 28.59
 0,1%-Wert 18.93

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMBADA

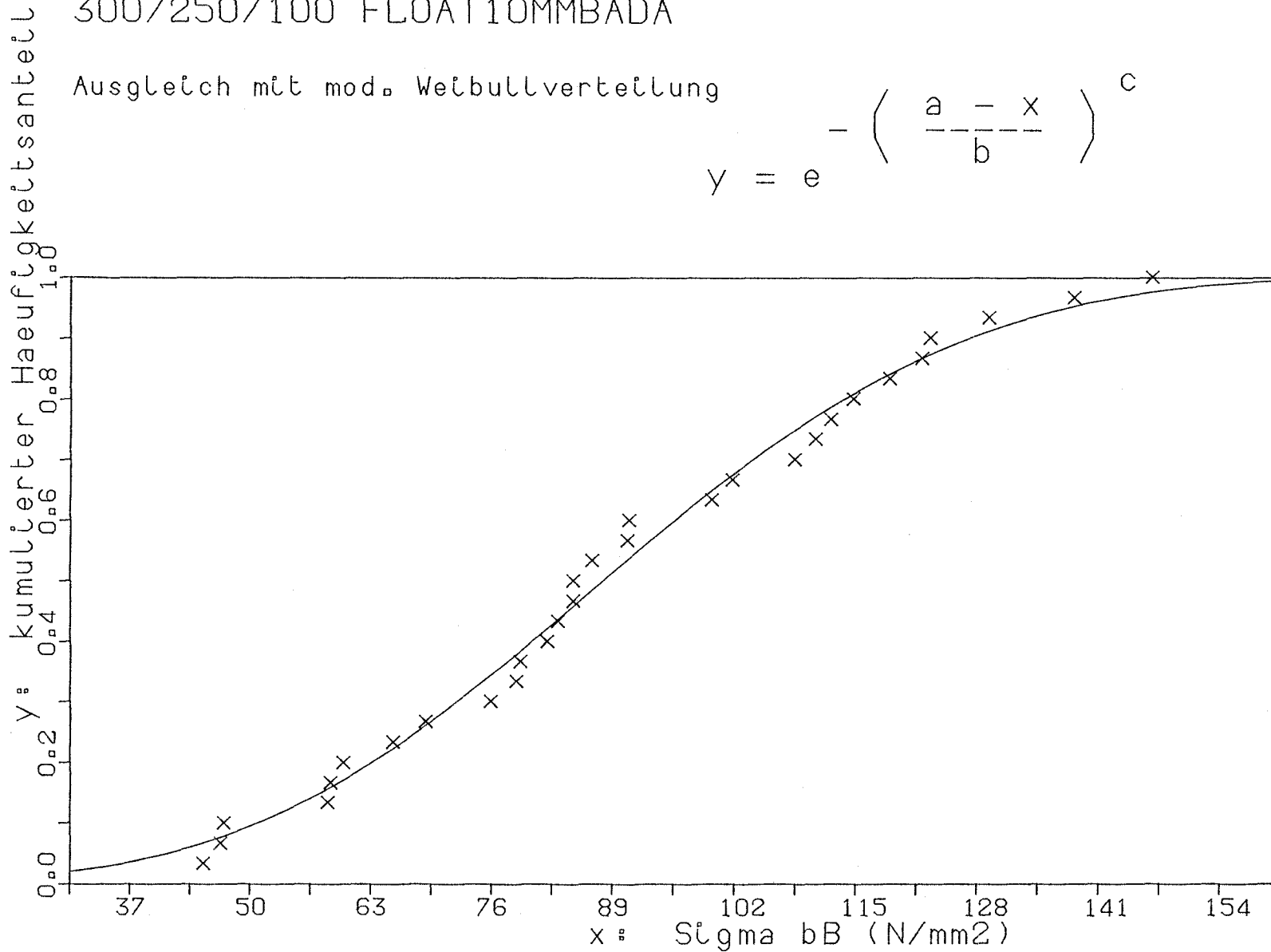
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschlebung (a) 188.707
 Verzerrung (b) 111.418
 Exponent (c) 3.845

Summe Abst. quad. 0.024
 mittlerer Fehler 0.028

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.991



Mittelwert 89.90
 50%-Wert 87.42
 5%-Wert 40.50
 1%-Wert 22.97
 0.1%-Wert 4.53

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1.

300/250/100 FLOAT10MMBADA

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

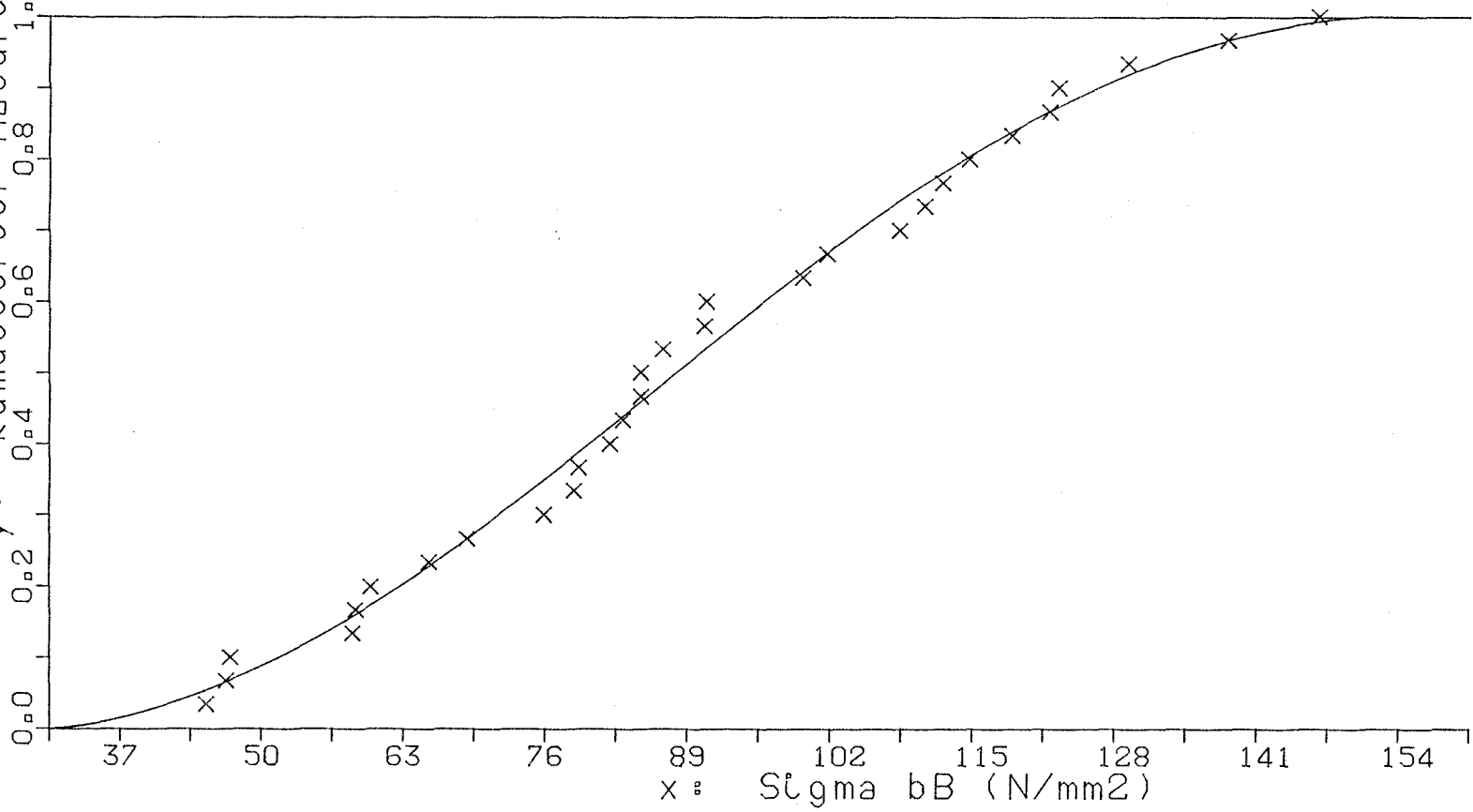
X unten	(x _u)	29.652
X mittel	(x _m)	87.447
X oben	(x _o)	151.011
Exponent	(a)	1.522

Summe Abst. quad. 0.022
mittlerer Fehler 0.028

Korrelationskoeff. 0.996
Bestimmtheitsmass 0.991

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

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



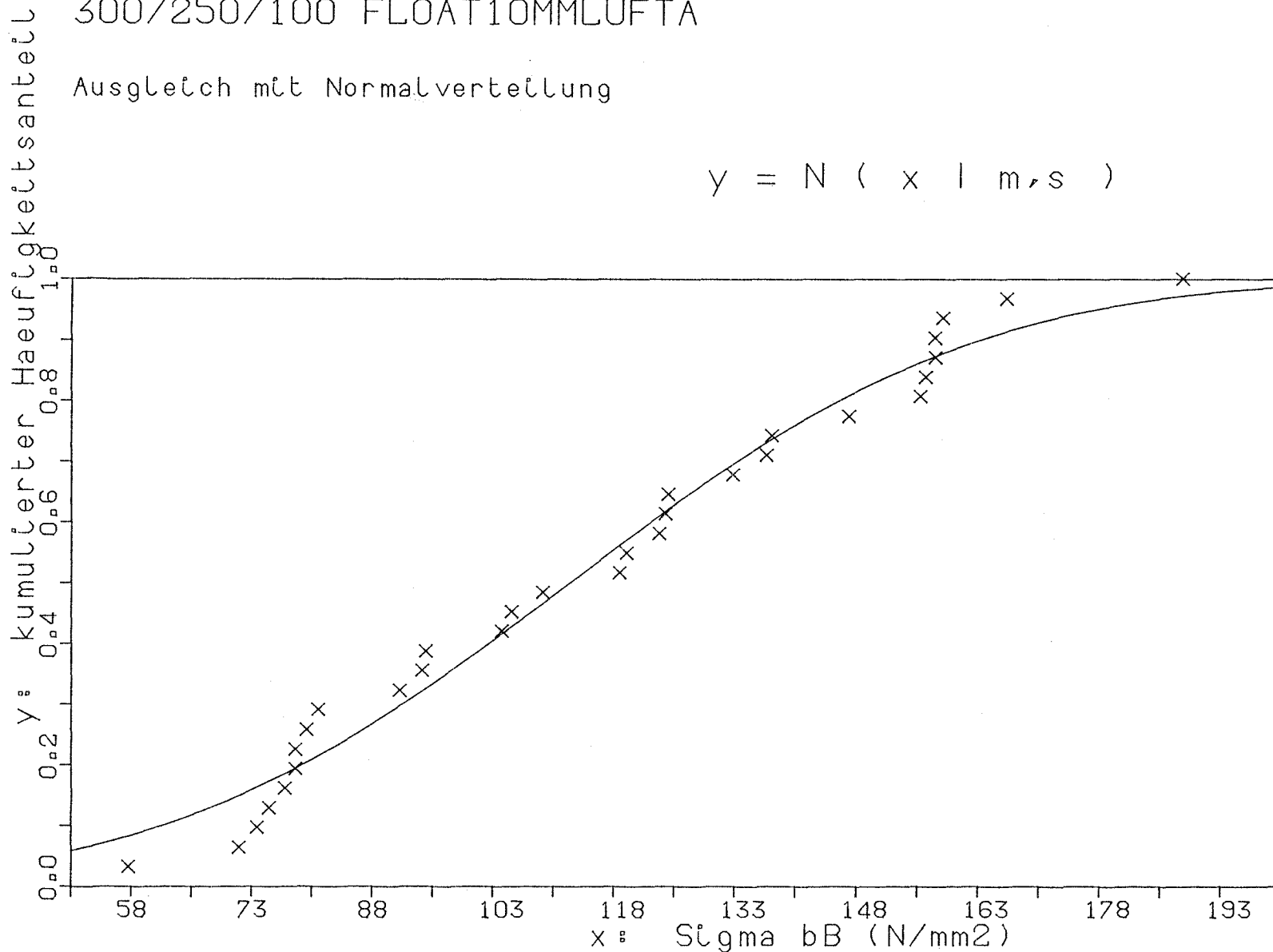
Mittelwert	89.90
50%-Wert	87.45
5%-Wert	43.75
1%-Wert	34.82
0.1%-Wert	30.82

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMLUFTA

Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$



Mittelwert (m) 111.983
Standardabw.(s) 39.609

Summe Abst. quad. 0.051
mittlerer Fehler 0.041

Korrelationskoeff. 0.990
Bestimmtheitsmass 0.980

Mittelwert 114.92
50%-Wert 111.98
5%-Wert 46.82
1%-Wert 19.82
0,1%-Wert -10.43

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMLUFTA

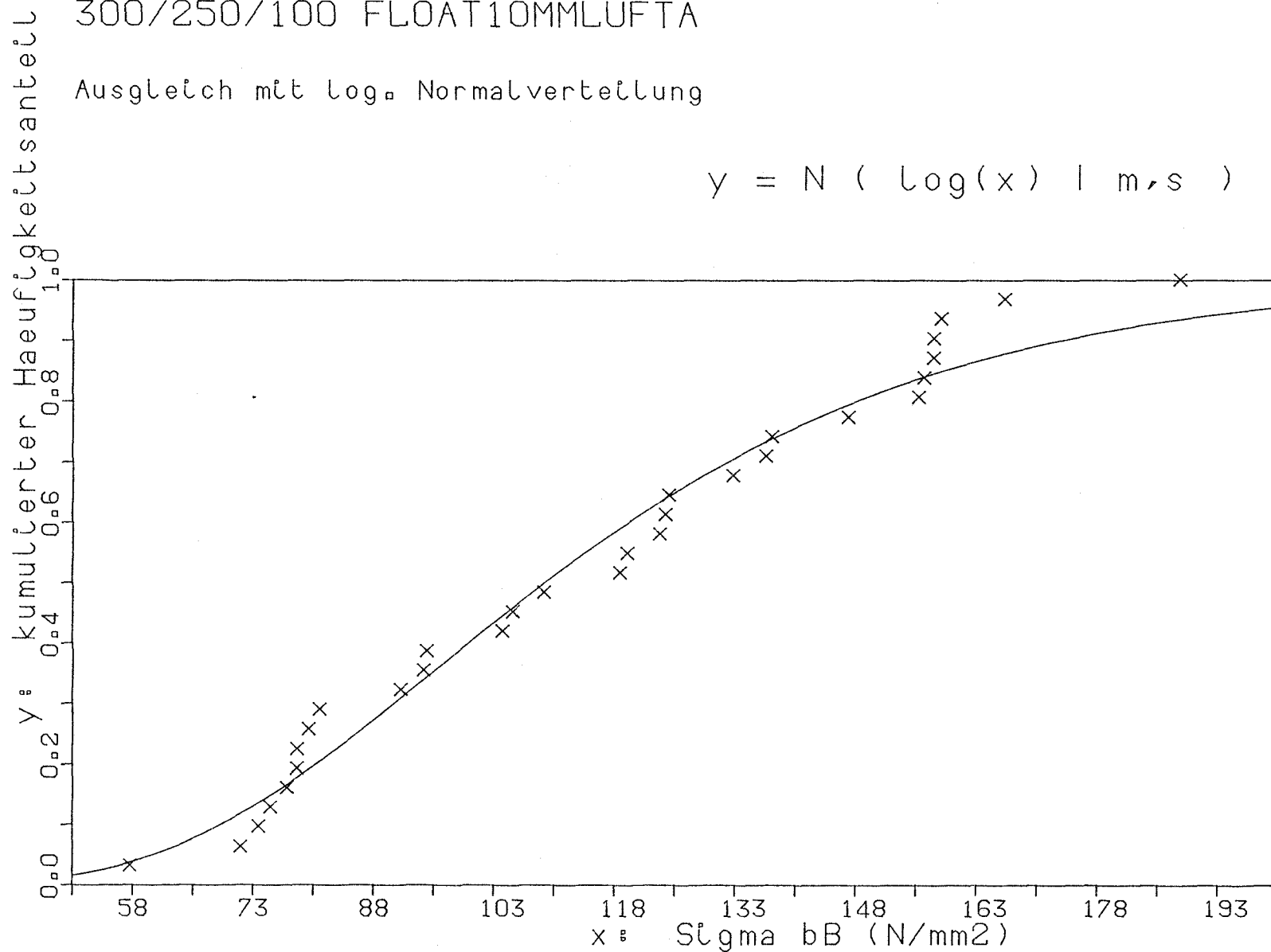
Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 2.037
Standardabw.(s) 0.157

Summe Abst. quad. 0.060
mittlerer Fehler 0.045

Korrelationskoeff. 0.988
Bestimmtheitsmass 0.977

$$y = N (\text{Log}(x) \mid m, s)$$



Mittelwert 114.92
50%-Wert 108.82
5%-Wert 60.02
1%-Wert 46.91
0,1%-Wert 35.59

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMLUFTA

Ausgleich mit Weibullverteilung

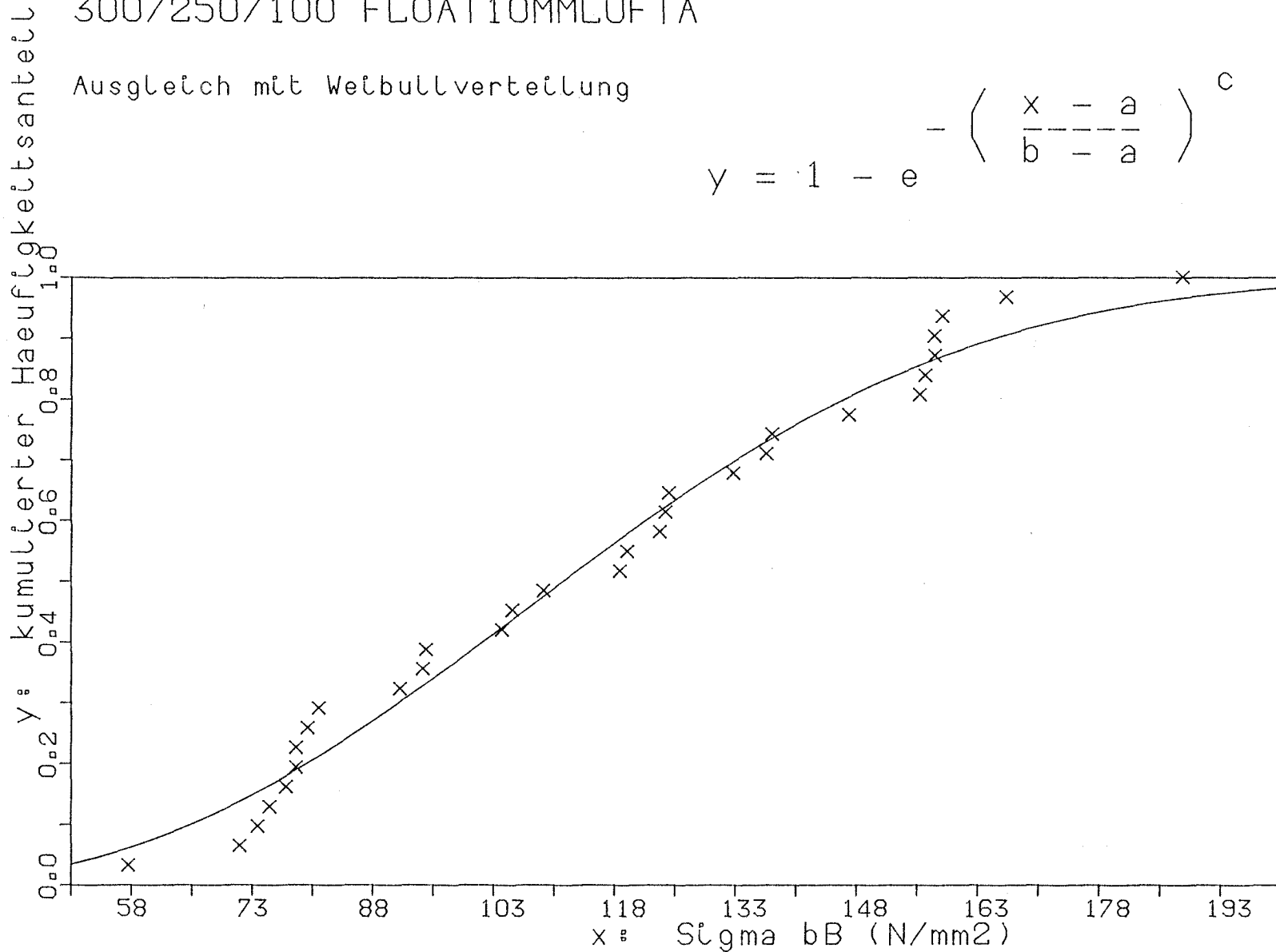
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 23.085
 Verzerrung (b) 124.806
 Exponent (c) 2.522

Summe Abst. quad. 0.047
 mittlerer Fehler 0.040

Korrelationskoeff. 0.991
 Bestimmtheitsmass 0.982

Mittelwert 114.92
 50%-Wert 111.05
 5%-Wert 54.42
 1%-Wert 39.50
 0,1%-Wert 29.66



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMLUFTA

Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

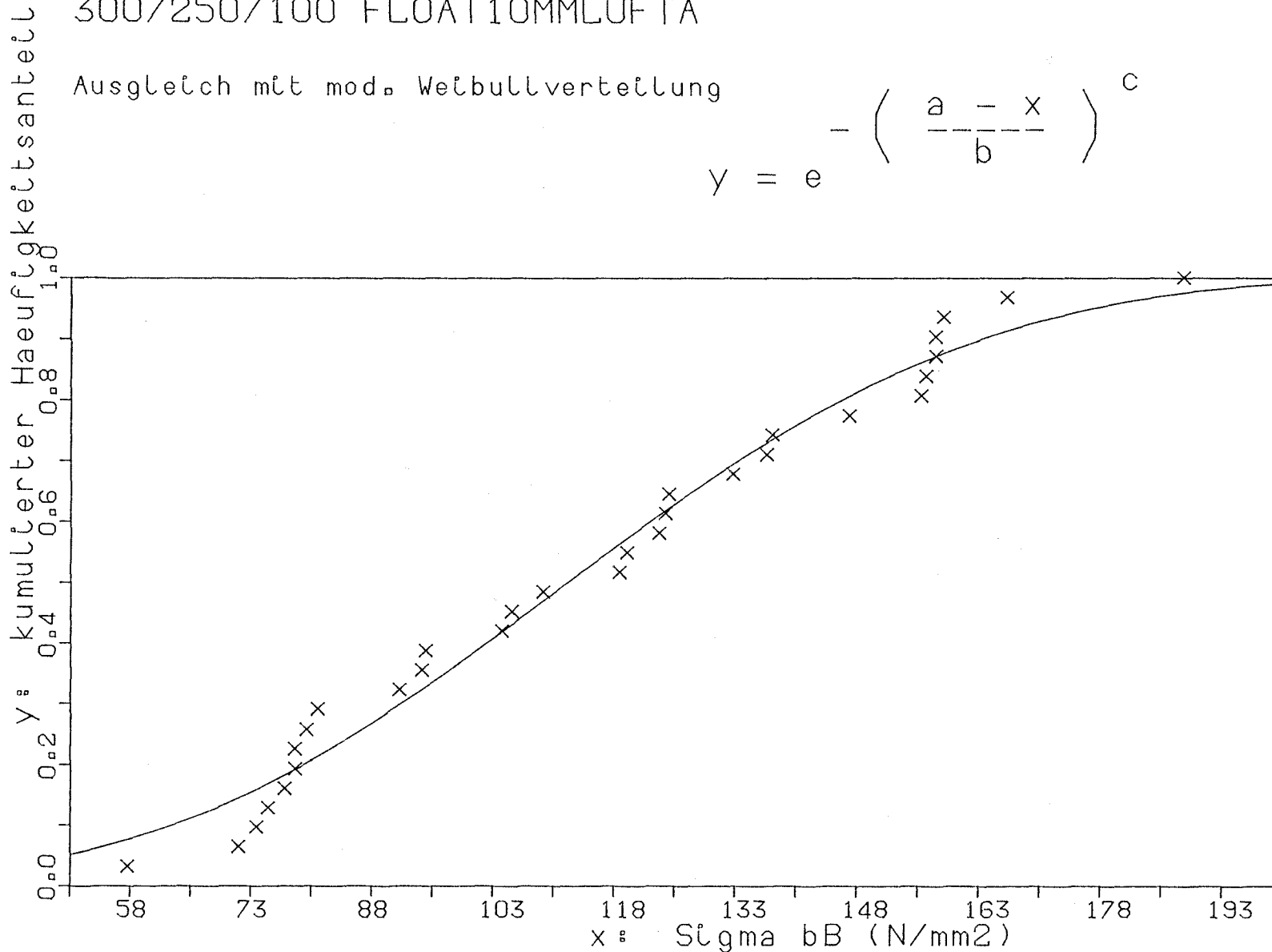
$$y = e^{-\left(\frac{a-x}{b}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 241.161
 Verzerrung (b) 142.855
 Exponent (c) 3.731

Summe Abst. quad. 0.048
 mittlerer Fehler 0.040

Korrelationskoeff. 0.991
 Bestimmtheitsmass 0.981

Mittelwert 114.92
 50%-Wert 111.67
 5%-Wert 49.47
 1%-Wert 26.06
 0,1%-Wert 1.36



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMLUFTA

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

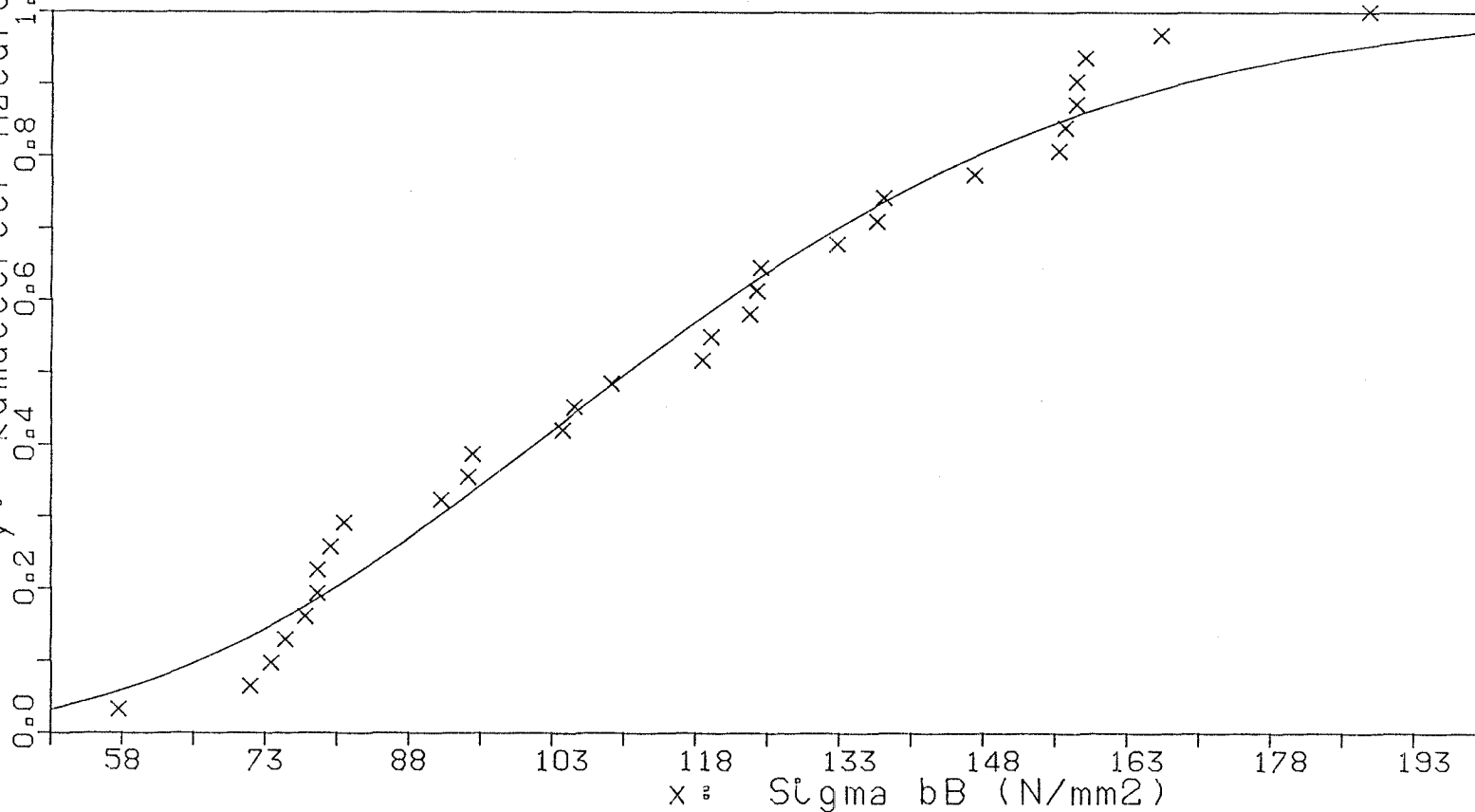
X unten	(x _u)	23.543
X mittel	(x _m)	110.373
X oben	(x _o)	262.267
Exponent	(a)	2.234

Summe Abst. quad. 0.052
mittlerer Fehler 0.042

Korrelationskoeff. 0.990
Bestimmtheitsmass 0.980

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

y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert	114.92
50%-Wert	110.37
5%-Wert	55.22
1%-Wert	39.80
0,1%-Wert	29.59

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMBADB

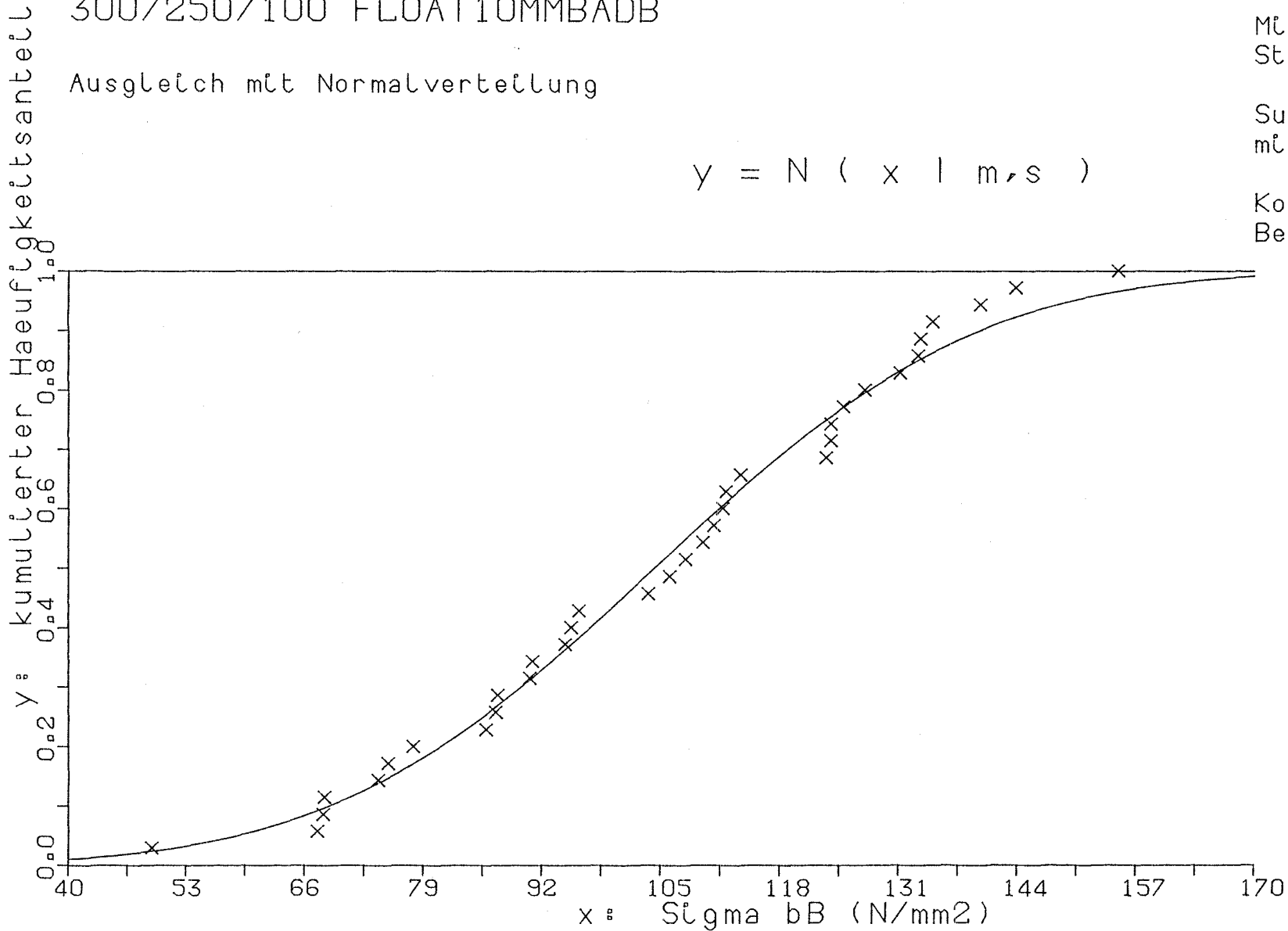
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$

Mittelwert (m) 104.371
Standardabw.(s) 27.831

Summe Abst. quad. 0.029
mittlerer Fehler 0.029

Korrelationskoeff. 0.995
Bestimmtheitsmass 0.990



Mittelwert 105.08
50%-Wert 104.37
5%-Wert 58.58
1%-Wert 39.61
0,1%-Wert 18.36

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMBADB

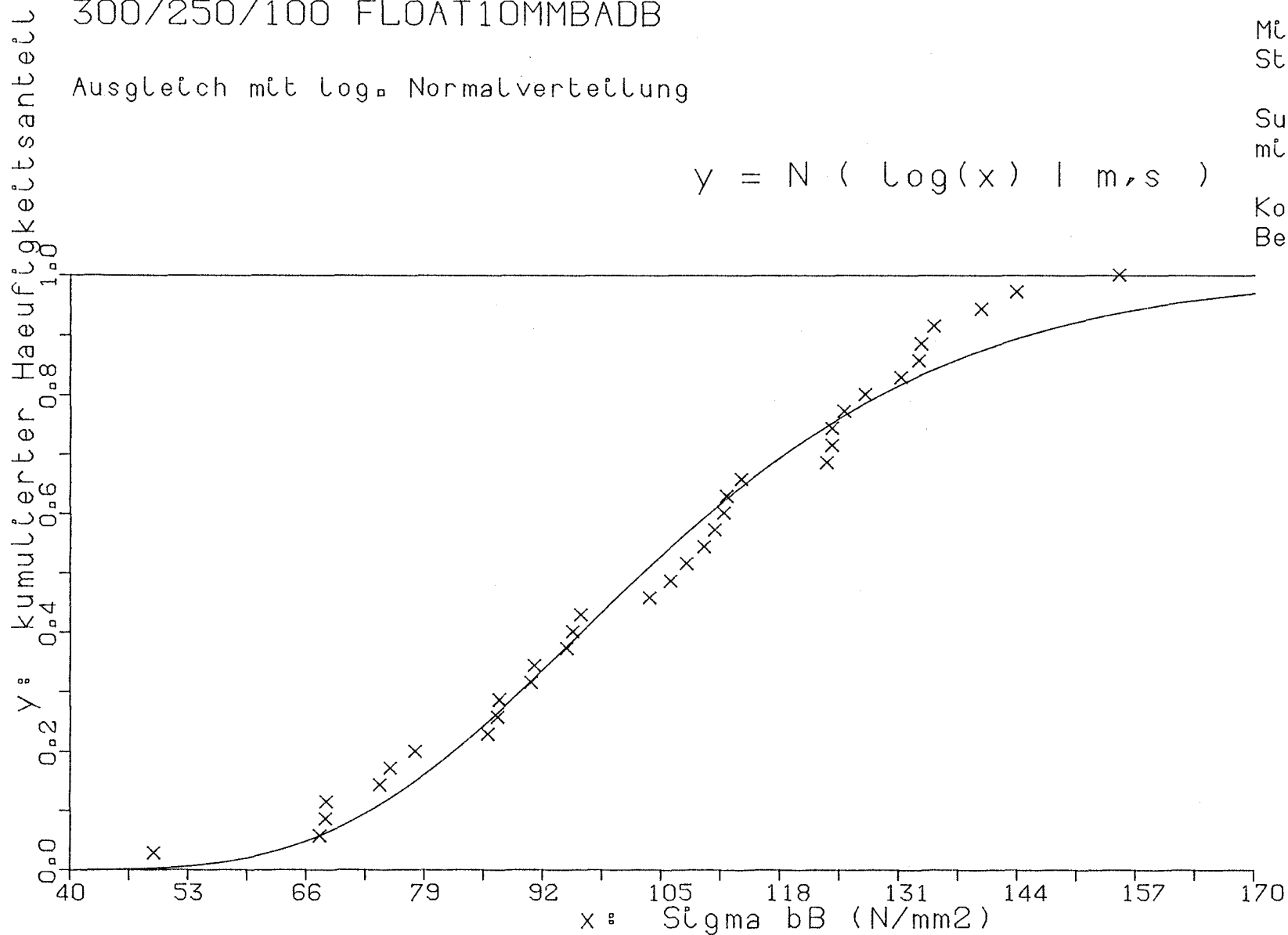
Ausgleich mit log. Normalverteilung

Mittelwert (m) 2.013
Standardabw.(s) 0.117

Summe Abst. quad. 0.055
mittlerer Fehler 0.040

Korrelationskoeff. 0.991
Bestimmtheitsmass 0.981

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$



Mittelwert 105.08
50%-Wert 102.93
5%-Wert 66.19
1%-Wert 55.13
0,1%-Wert 44.91

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMBADB

Ausgleich mit Weibullverteilung

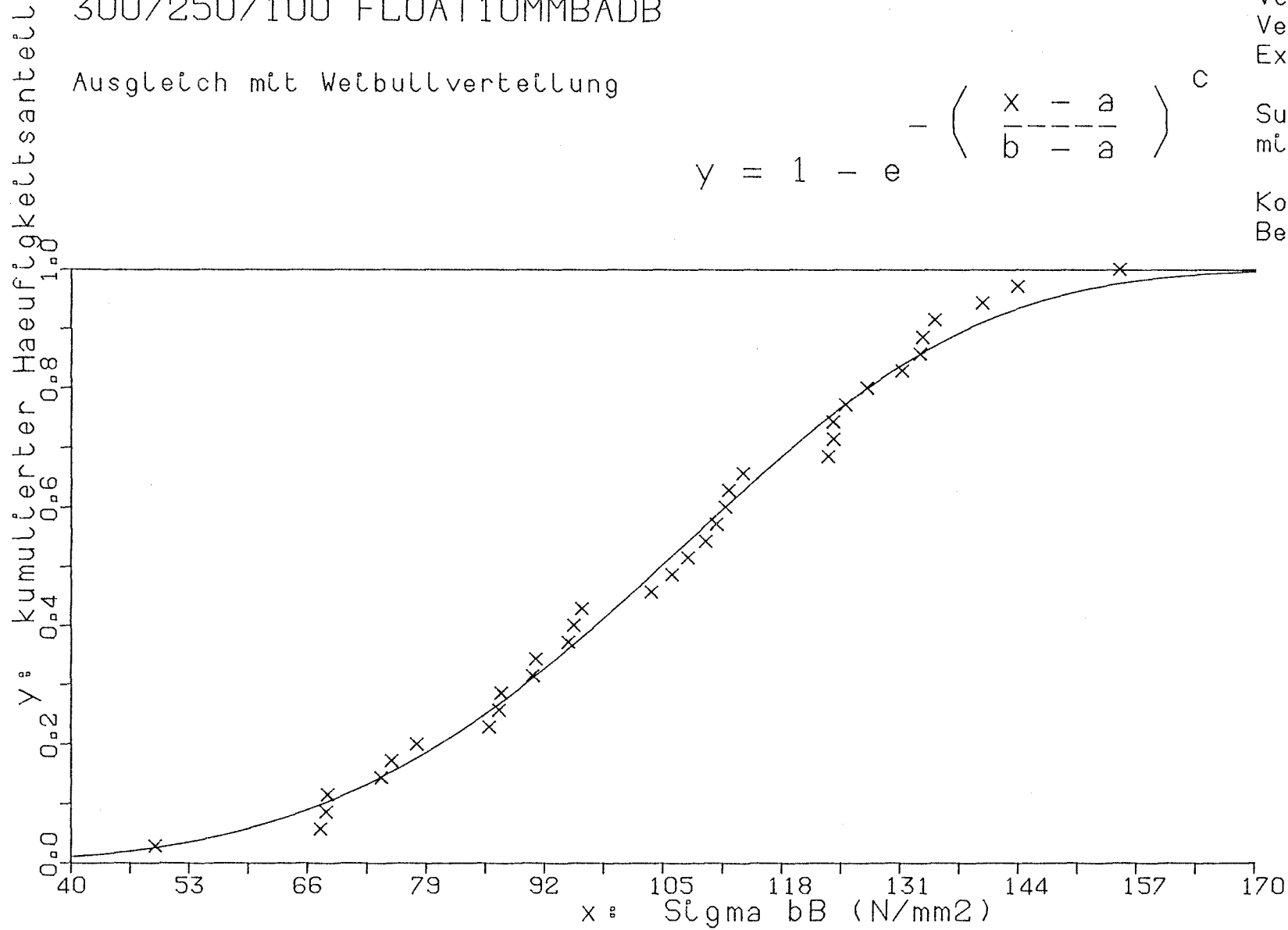
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x - a}{b - a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 0.000
 Verzerrung (b) 114.107
 Exponent (c) 4.308

Summe Abst. quad. 0.025
 mittlerer Fehler 0.027

Korrelationskoeff. 0.996
 Bestimmtheitsmass 0.991

Mittelwert 105.08
 50%-Wert 104.80
 5%-Wert 57.26
 1%-Wert 39.22
 0,1%-Wert 22.96



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMBADB

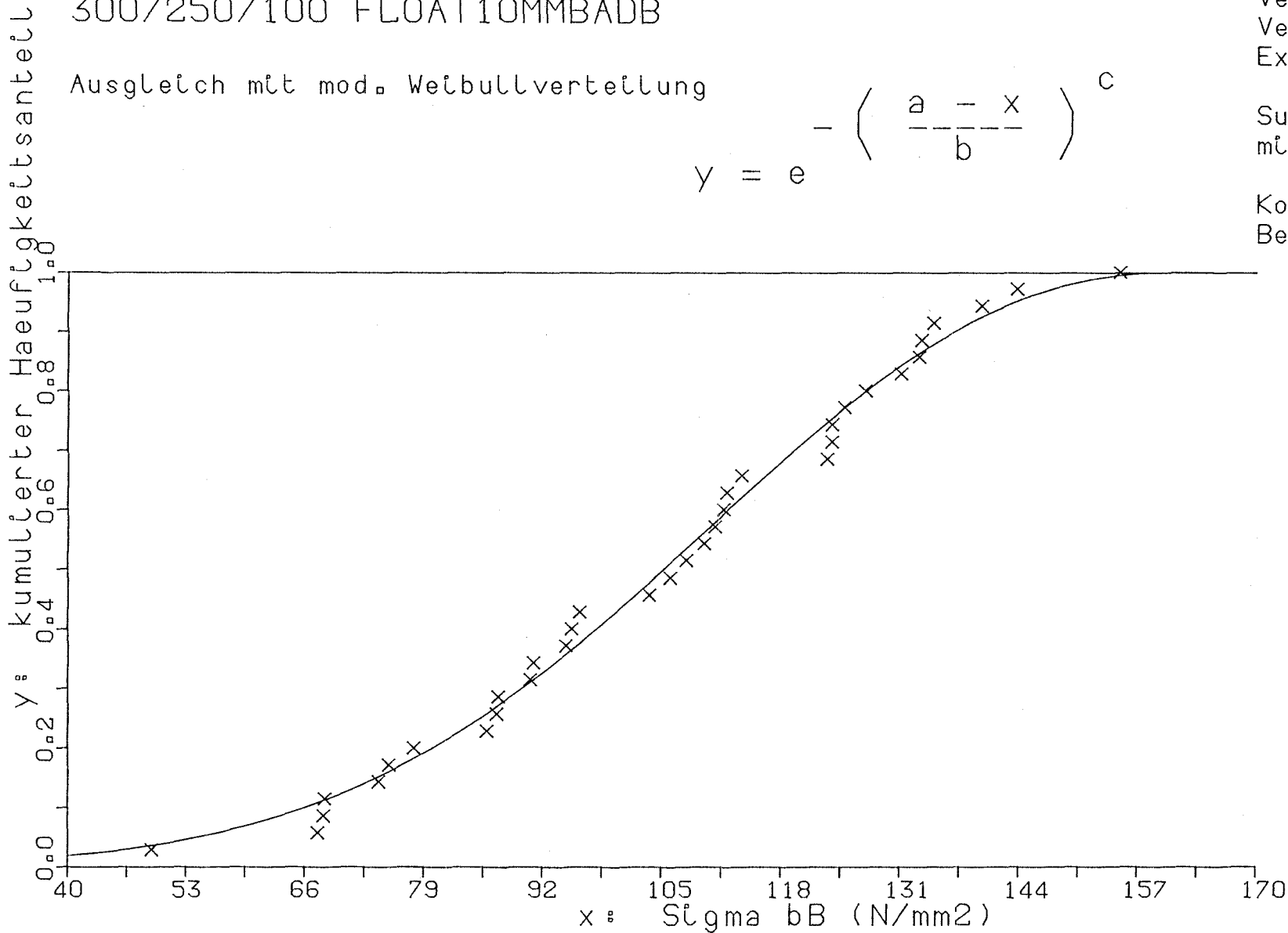
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschlebung (a) 161.360
 Verzerrung (b) 65.957
 Exponent (c) 2.261

Summe Abst. quad. 0.022
 mittlerer Fehler 0.026

Korrelationskoeff. 0.996
 Bestimmtheitsmass 0.992



Mittelwert 105.08
 50%-Wert 105.27
 5%-Wert 54.21
 1%-Wert 31.76
 0,1%-Wert 6.31

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMBADB

Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

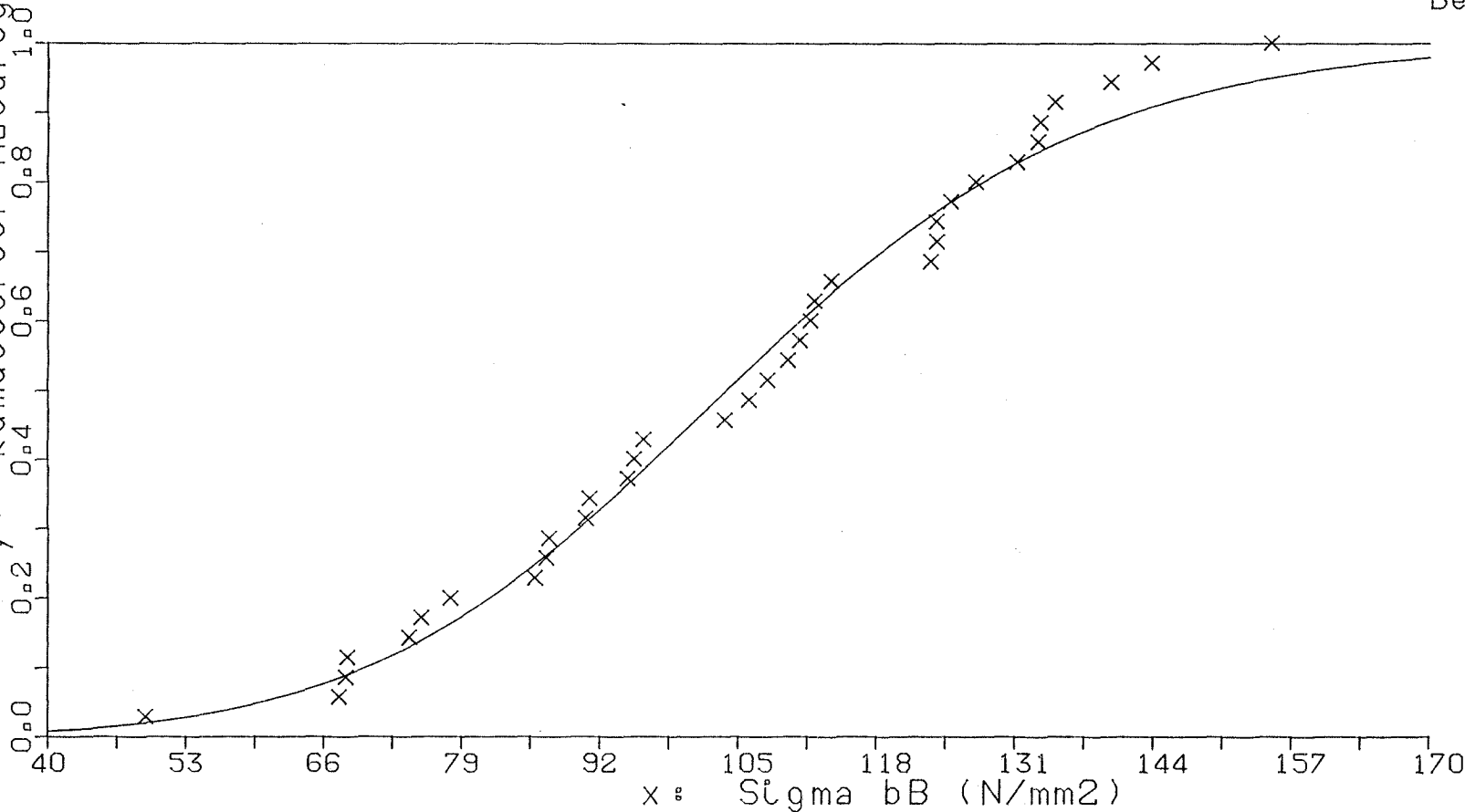
X unten	(xu)	0.000
X mittel	(xm)	103.914
X oben	(xo)	261.470
Exponent	(a)	3.707

Summe Abst. quad.	0.038
mittlerer Fehler	0.034

Korrelationskoeff.	0.993
Bestimmtheitsmass	0.987

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

Y: kumulierter Häufigkeitsanteil



Mittelwert	105.08
50%-Wert	103.91
5%-Wert	60.04
1%-Wert	41.92
0,1%-Wert	24.28

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMLUFTB

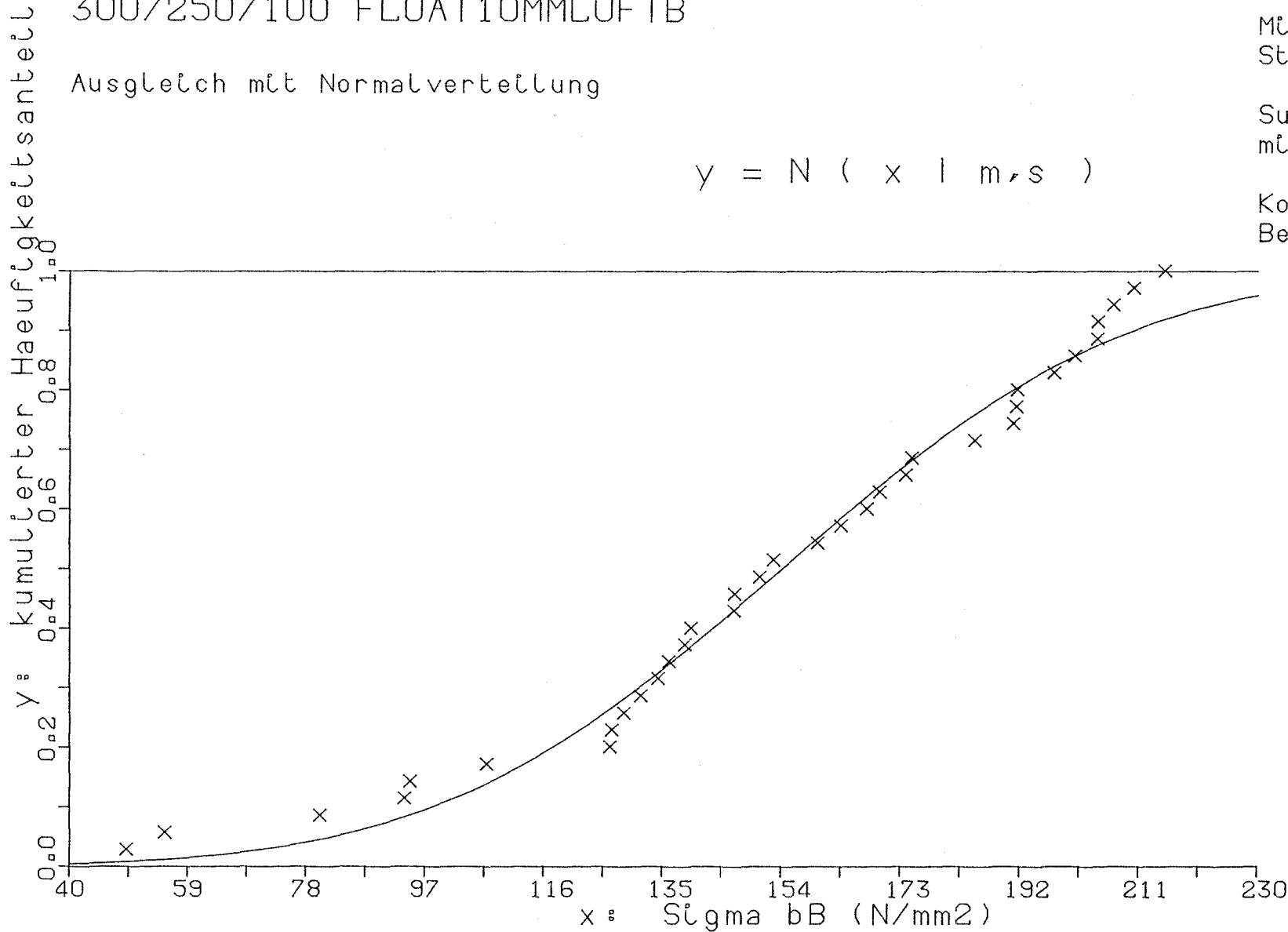
Ausgleich mit Normalverteilung

$$y = N(x | m, s)$$

Mittelwert (m) 154.204
Standardabw. (s) 43.687

Summe Abst. quad. 0.043
mittlerer Fehler 0.035

Korrelationskoeff. 0.993
Bestimmtheitsmass 0.985



Mittelwert 152.77
50%-Wert 154.20
5%-Wert 82.33
1%-Wert 52.55
0,1%-Wert 19.19

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMLUFTB

Ausgleich mit log. Normalverteilung

$$y = N (\log(x) \mid m, s)$$

Mittelwert (m) 2.183

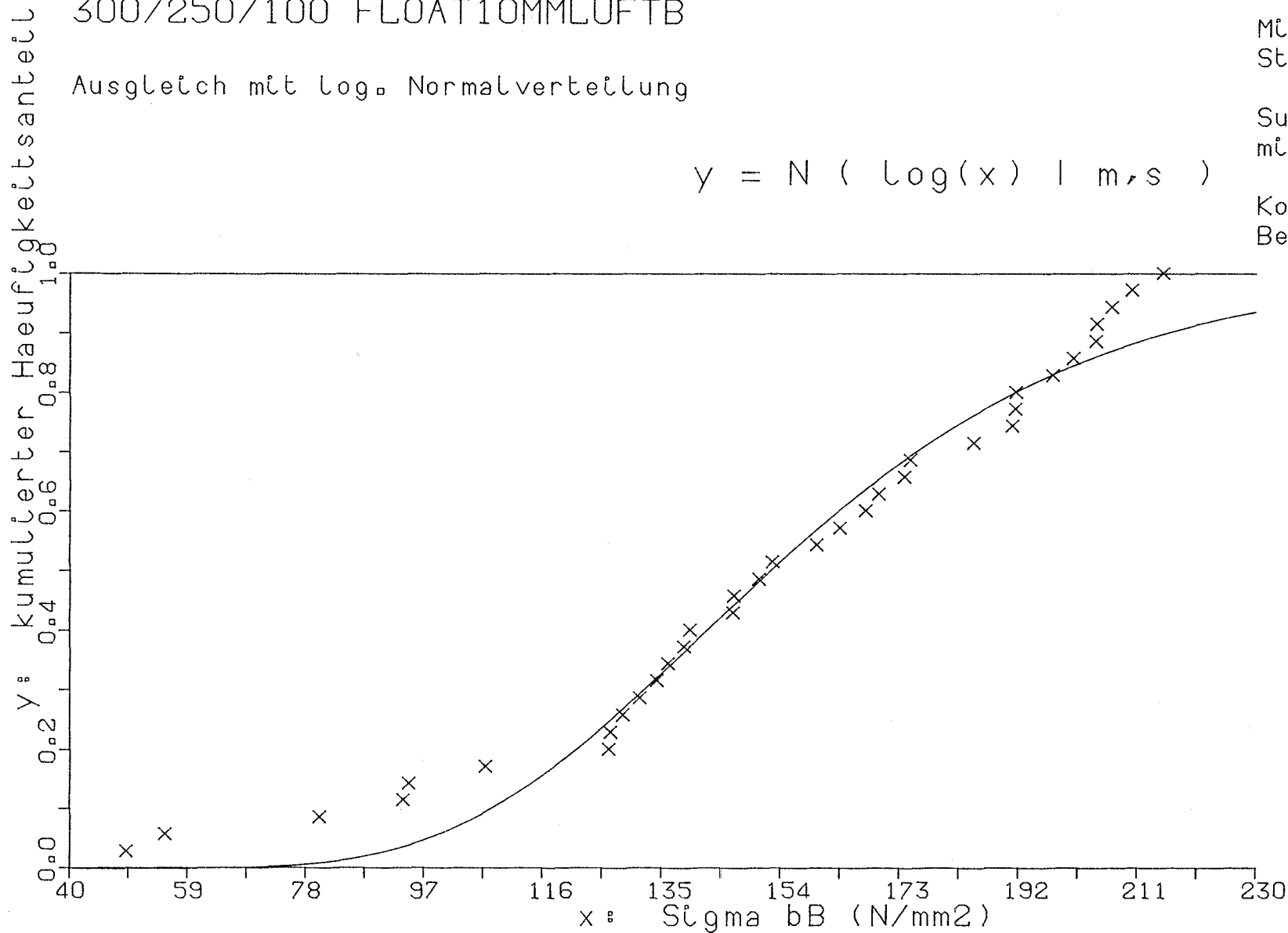
Standardabw. (s) 0.118

Summe Abst. quad. 0.075

mittlerer Fehler 0.047

Korrelationskoeff. 0.987

Bestimmtheitsmass 0.974



Mittelwert 152.77

50%-Wert 152.48

5%-Wert 97.54

1%-Wert 81.06

0.1%-Wert 65.88

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMLUFTB

Ausgleich mit Weibullverteilung

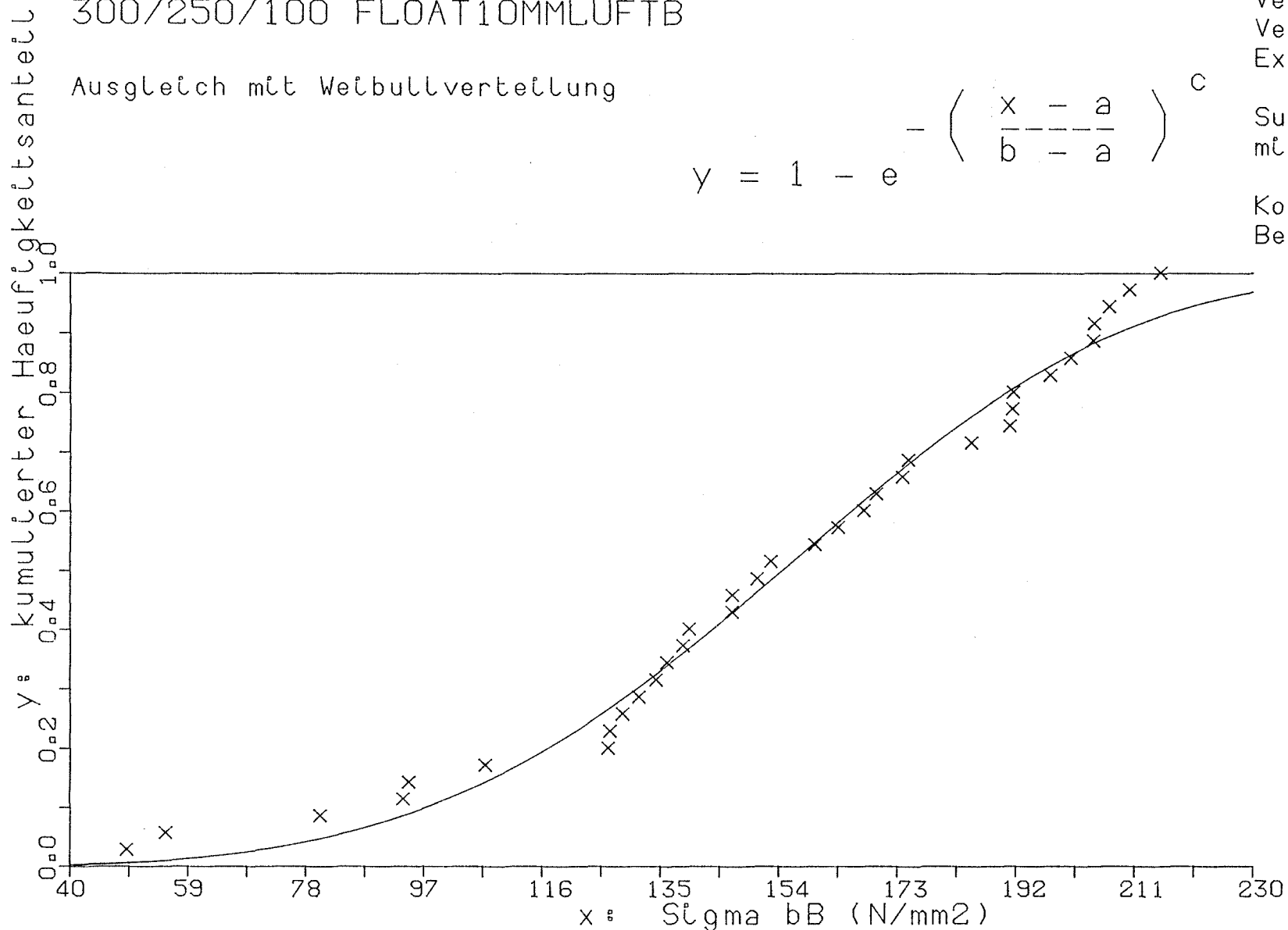
$$y = 1 - e^{-\left(\frac{x - a}{b - a}\right)^c}$$

Verschiebung (a) 2.891
 Verzerrung (b) 169.299
 Exponent (c) 3.965

Summe Abst. quad. 0.040
 mittlerer Fehler 0.034

Korrelationskoeff. 0.993
 Bestimmtheitsmass 0.986

Mittelwert 152.77
 50%-Wert 154.61
 5%-Wert 81.57
 1%-Wert 55.06
 0,1%-Wert 32.04



Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMLUFTB

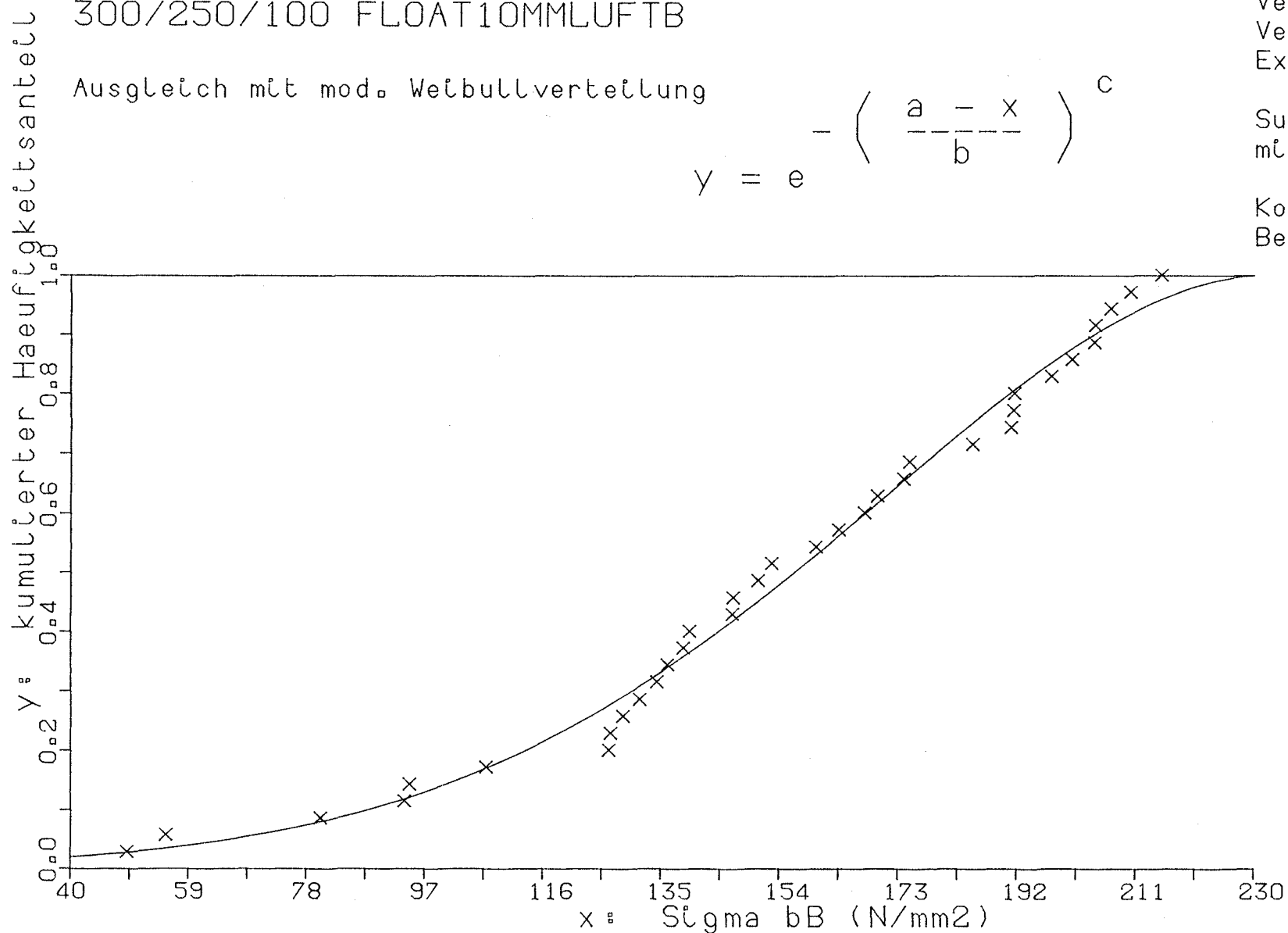
Ausgleich mit mod. Weibullverteilung

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

Verschiebung (a) 231.752
 Verzerrung (b) 91.768
 Exponent (c) 1.857

Summe Abst. quad. 0.029
 mittlerer Fehler 0.029

Korrelationskoeff. 0.995
 Bestimmtheitsmass 0.990



Mittelwert 152.77
 50%-Wert 156.42
 5%-Wert 66.04
 1%-Wert 22.85
 0,1%-Wert -28.14

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

300/250/100 FLOAT10MMLUFTB

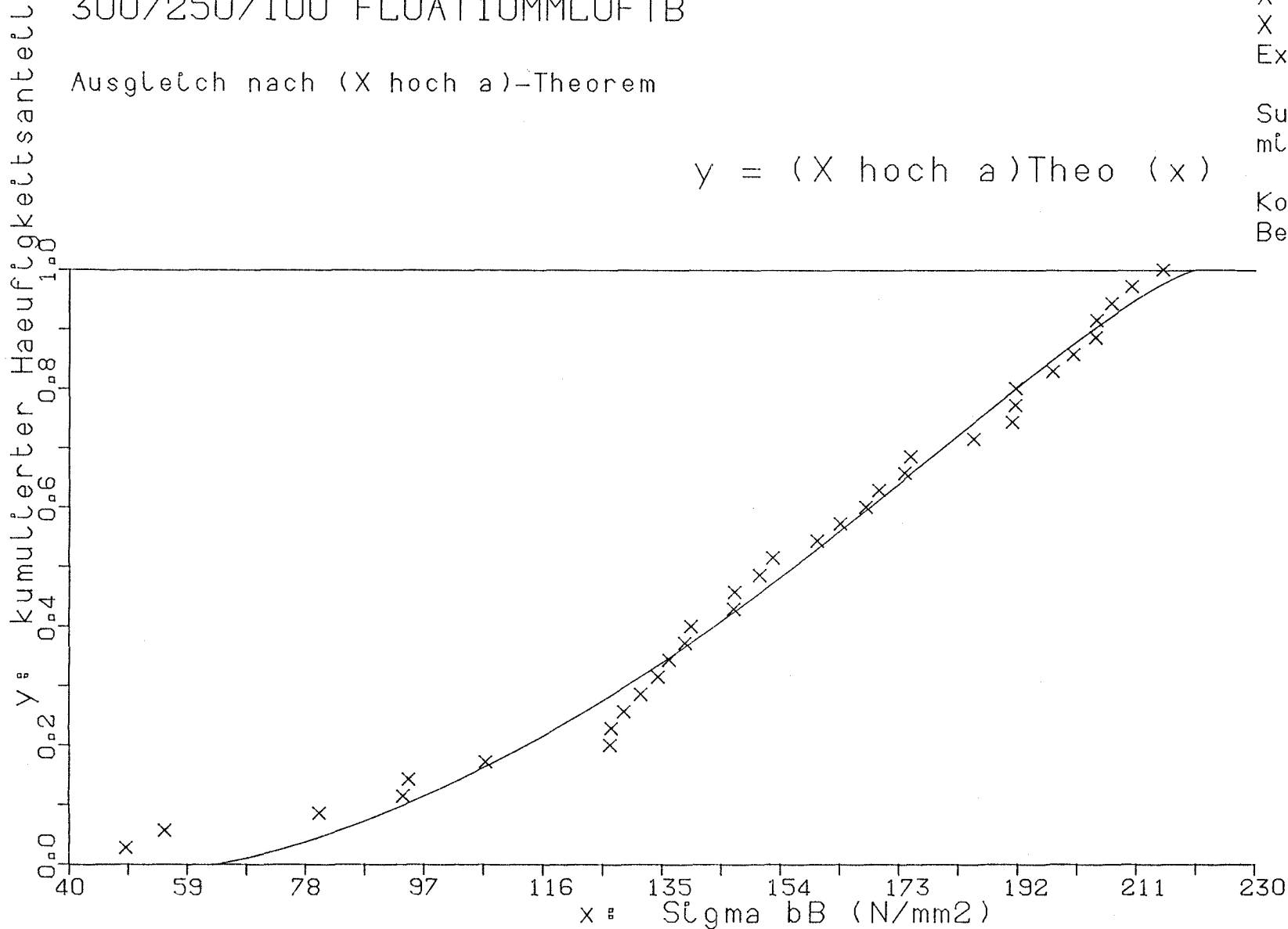
Ausgleich nach (X hoch a)-Theorem

X unten	(xu)	62.968
X mittel	(xm)	156.307
X oben	(xo)	220.270
Exponent	(a)	1.229

Summe Abst. quad. 0.033
mittlerer Fehler 0.031

Korrelationskoeff. 0.994
Bestimmtheitsmass 0.989

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



Mittelwert	152.77
50%-Wert	156.31
5%-Wert	81.42
1%-Wert	68.24
0,1%-Wert	63.80

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

FLOAT6MMBADB

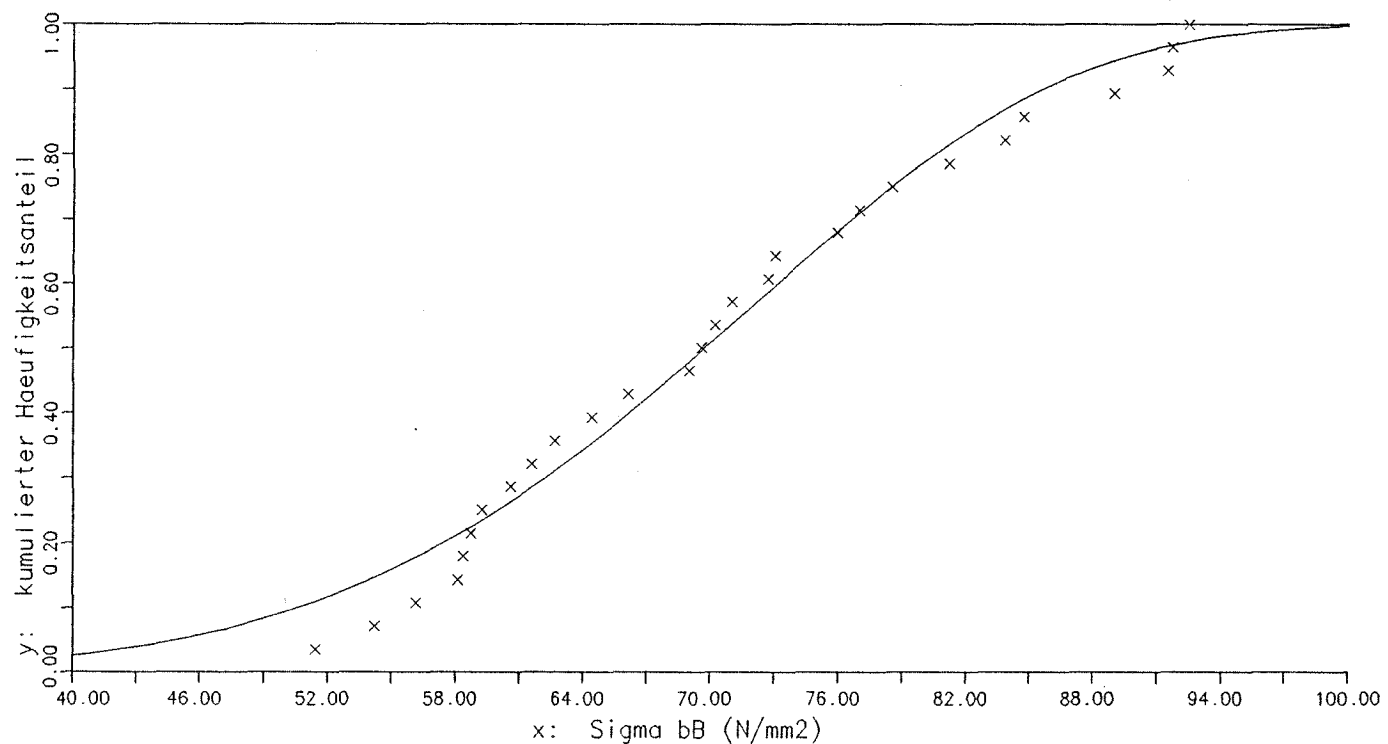
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung(a) -0.000
 Verzerrung (b) 74.239
 Exponent (c) 5.855

Summe Abst.quad. 0.042
 mittlerer Fehler 0.041

Korrelationskoeff. 0.990
 Bestimmtheitsmass 0.981



Mittelwert 70.81
 50%-Wert 69.73
 5%-Wert 44.70
 1%-Wert 33.84
 0,1%-Wert 22.82

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

FLOAT10MMBADA

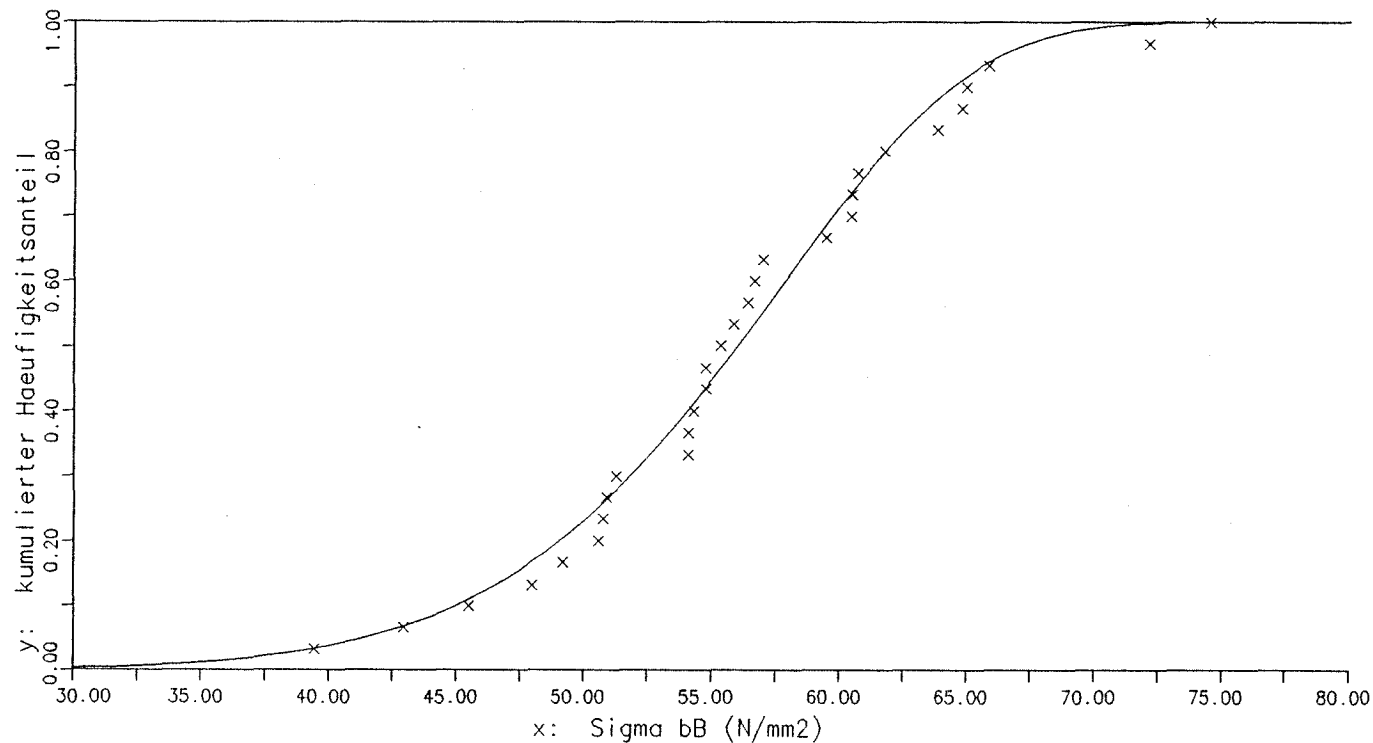
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung(a) -0.000
Verzerrung (b) 58.435
Exponent (c) 8.585

Summe Abst.quad. 0.037
mittlerer Fehler 0.037

Korrelationskoeff. 0.992
Bestimmtheitsmass 0.985



Mittelwert 56.35
50%-Wert 55.99
5%-Wert 41.34
1%-Wert 34.19
0,1%-Wert 26.13

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

FLOAT10MMLUFTB

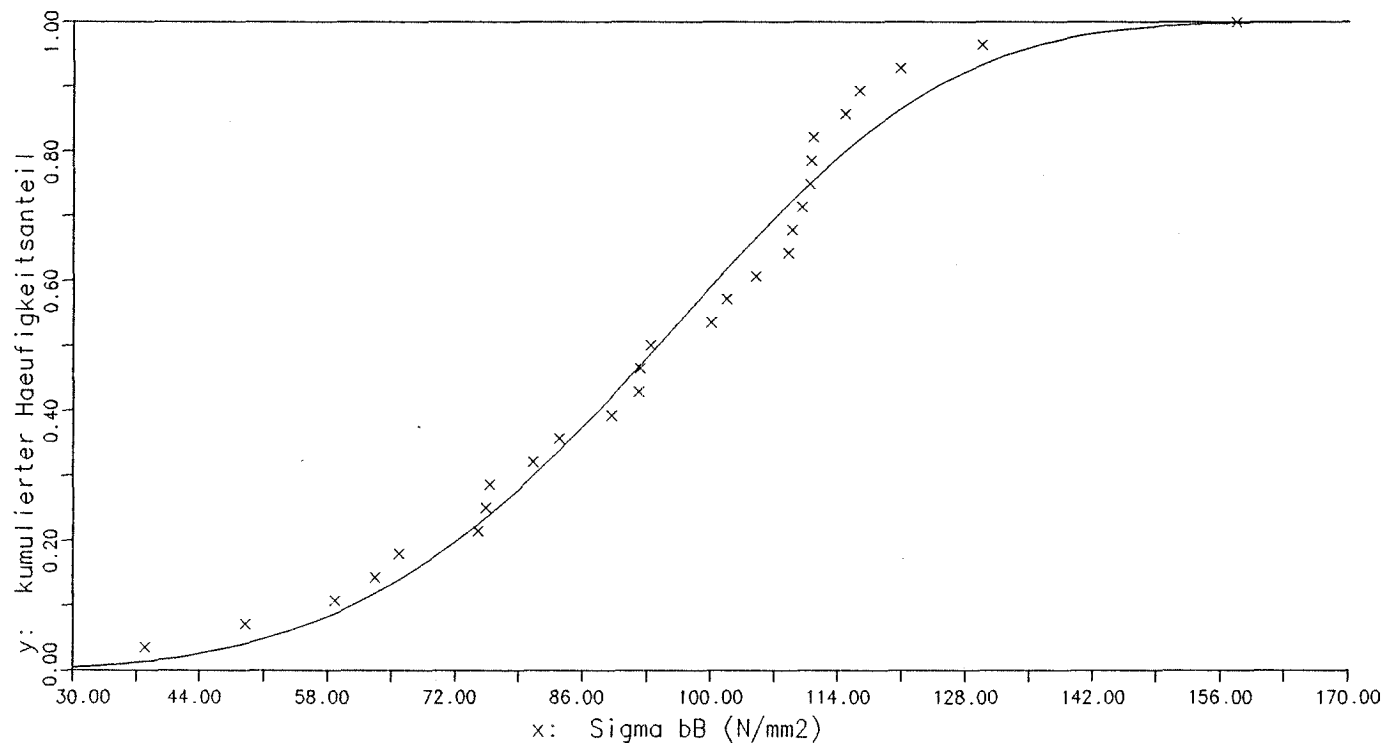
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung(a) -0.000
 Verzerrung (b) 102.638
 Exponent (c) 4.272

Summe Abst.quad. 0.046
 mittlerer Fehler 0.043

Korrelationskoeff. 0.990
 Bestimmtheitsmass 0.980



Mittelwert 94.19
 50%-Wert 94.20
 5%-Wert 51.21
 1%-Wert 34.97
 0,1%-Wert 20.37

Biegefestigkeit von Flachglas, BAM-Fg 2.1

ESG6MMLUFTB

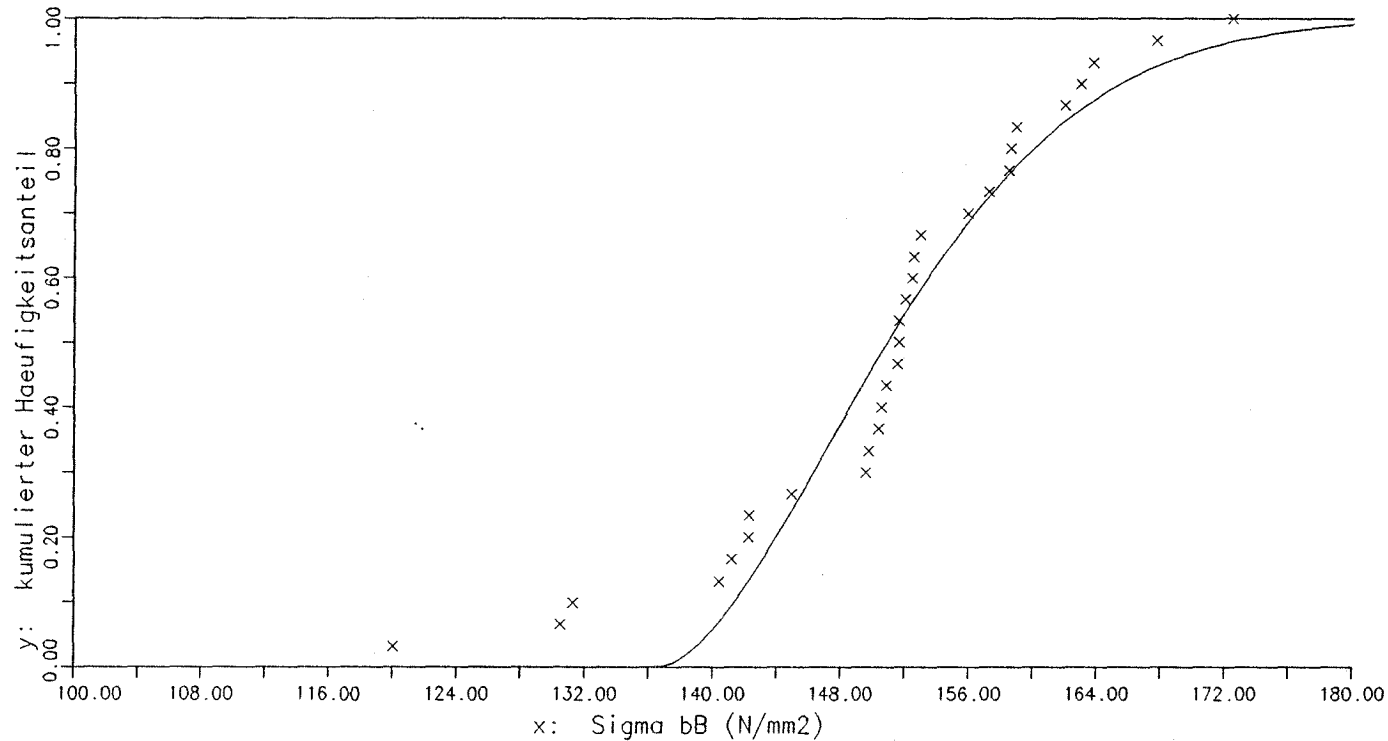
Ausgleich mit Weibullverteilung

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

Verschiebung(a) 136.506
 Verzerrung (b) 154.344
 Exponent (c) 1.722

Summe Abst.quad. 0.129
 mittlerer Fehler 0.069

Korrelationskoeff. 0.973
 Bestimmtheitsmass 0.948



Mittelwert 150.90
 50%-Wert 150.92
 5%-Wert 139.68
 1%-Wert 137.74
 0,1%-Wert 136.83