



(10) **DE 10 2014 110 856 B4** 2016.04.14

# Patentschrift

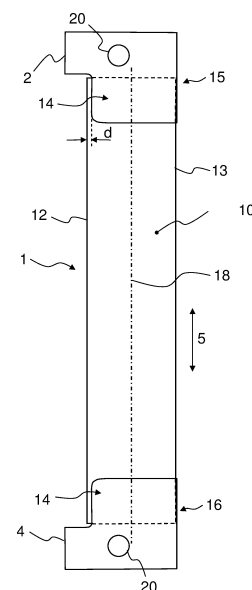
(51) Int Cl.: **G01N 3/08** (2006.01)  
**G01N 3/10** (2006.01)  
**G01N 3/20** (2006.01)  
**G01N 33/38** (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

|    |                  |    |
|----|------------------|----|
| DE | 196 37 808       | C1 |
| DE | 10 2007 005 671  | A1 |
| DE | 690 01 746       | T2 |
| DD | 2 33 187         | A1 |
| US | 2003 / 0 076 487 | A1 |
| US | 2014 / 0 083 198 | A1 |

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Kantenfestigkeit von scheibenförmigen Elementen aus sprödebrüchigem Material**

(57) Zusammenfassung: Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein verbessertes Messverfahren und eine entsprechende Messvorrichtung anzugeben, mit welchem die Kantenfestigkeit von scheibenförmigen Elementen aus sprödebrüchigem Material gemessen werden kann. Dazu wird eine lange Probe an den kurzen Kanten auseinandergezogen, wobei die Krafteinleitungspunkte neben dem Schwerpunkt der Probengrundfläche liegen.



### Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft allgemein die Bestimmung von Festigkeitsparametern von Werkstoffen. Im Speziellen betrifft die Erfindung die Bestimmung der Festigkeit von sprödbrüchigen Materialien, wie Glas, Glas-keramik oder Keramik. Besonders bevorzugt wird die Erfindung für die Bestimmung der Bruchfestigkeit von Glasscheiben verwendet.

**[0002]** Sprödbrüchige Materialien verhalten sich in Bezug auf ein Versagen unter einer Belastung anders als beispielsweise duktile Werkstoffe. Duktile Werkstoffe, insbesondere viele Metalle dehnen sich unter einer Biege- oder Zugbeanspruchung bis zur Streckgrenze und reißen dann bei einer vergleichsweise gut definierten Belastung. Der Bruch sprödbrüchiger Materialien hingegen erfolgt nicht bei einer Festigkeitsgrenze im Sinne eines Materialkennwerts, sondern statistisch mit einer von der einwirkenden Zugspannung abhängigen Wahrscheinlichkeit. Die Parameter der Bruchwahrscheinlichkeitsverteilung (z. B. Normal- oder Weibull-Verteilung) hängen primär von der Bearbeitung der Probe ab – sind aber im Gegensatz zu den duktilen Werkstoffen nur wenig materialabhängig.

**[0003]** Um Kenntnisse über die Festigkeit von sprödbrüchigen Materialien zu erhalten, müssen Bruchversuche durchgeführt werden. Aus diesen Versuchen können dann unter anderem die Parameter einer Bruchfestigkeits-Verteilung abgeleitet werden.

**[0004]** Wird ein scheibenförmiges Element aus sprödbrüchigem Material biegebelastet, so tritt als weiterer Effekt hinzu, dass die Festigkeit maßgeblich durch die Bruchfestigkeit der Kanten des Elements bestimmt wird. Brüche, welche in einer Fläche entstehen, sind dabei in der Regel seltener als Brüche, die von einer der Kanten des Elements ausgehen.

**[0005]** Es sind Verfahren bekannt, mit denen sich berührungslos die Kantenfestigkeit von Dünnglas bestimmen lässt. Die Offenlegungsschrift US 2014/0083198 A1 beschreibt z. B. ein Verfahren, bei dem Scheiben entlang der Kante lokal und berührungslos aufgeheizt werden. Dadurch entstehen an den Scheibenkanten Zugspannungen. Messungen mit diesem Verfahren sind jedoch zeitaufwändig und weder zur Gewinnung von statistischen Festigkeitsdaten noch zu einer Prozessüberwachung geeignet. Sie versagen außerdem prinzipiell bei niedrigdehnenden Gläsern (niedriger therm. Ausdehnungskoeffizient), wie sie beispielsweise in elektronischen Geräten eingesetzt werden.

**[0006]** Die DD 233 187 A1 betrifft die Ausbildung einer Werkstoffprobe kriechebeanspruchter Bauteile für Zeitstandsuntersuchungen. die Kopfteile der Probe mit ein- oder beidseitigen Kraftaufnahmebereichen für die Probenhalterung versehen sind, derart, daß die Kraftwirkungslinie während der Versuchsdauer außerhalb der Mittellängsachse der Probenversuchslänge verläuft.

**[0007]** Die DE 10 2007 005 671 A1 zeigt einen Probenhalter, welcher geeignet ist, um den Angriffswinkel einer Zugkraft gegenüber einer Symmetrieebene einer Probe zu ändern.

**[0008]** Aus der DE 690 01 746 T2 ist ein Test für Textilstreifen bekannt.

**[0009]** Die US 2003/0076487 A1 beschreibt eine kontaktlose und zerstörungsfreie Methode zur Messung von intrinsischen Spannungen in Glas.

**[0010]** Aus der DE 196 37 808 C1 ist ein Meßverfahren zur Messung der Biegesteifigkeit, bei welchem eine Materialbahn über Rollen geführt und dabei gebogen wird.

**[0011]** Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zu Grunde, ein verbessertes Messverfahren und eine entsprechende Messvorrichtung anzugeben, mit welchem die Kantenfestigkeit von scheibenförmigen Elementen aus sprödbrüchigem Material gemessen werden kann.

**[0012]** Diese Aufgabe der Erfindung wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den jeweiligen abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0013]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand der beigeschlossenen Figuren erläutert. In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder entsprechende Elemente. Es zeigen:

**[0014]** Fig. 1 eine übliche Meßanordnung zur Messung der Bruchfestigkeit von scheibenförmigen, sprödbrüchigen Elementen,

**[0015]** Fig. 2 eine streifenförmige Probe aus sprödbrüchigem Material, welche an ihren Enden mit Haltern einer erfindungsgemäßen Meßanordnung versehen ist,

**[0016]** Fig. 3 die in Fig. 2 dargestellte Anordnung in Aufsicht auf eine Kante der Probe,

**[0017]** Fig. 4 eine Verteilung der Linien gleicher mechanischer Spannungen (Isobaren) in einer streifenförmigen Probe,

**[0018]** Fig. 5 eine Meßanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

**[0019]** Fig. 6 eine Rolle eines Glasbands mit einem erfindungsgemäß ermittelten Biegeradius,

**[0020]** Fig. 7 bis Fig. 9 maximale und minimale Biegeradien für eine Biegeprüfung eines Glasartikels abhängig von aus Bruchtests gewonnenen statistischen Parametern

**[0021]** Fig. 10 einen Glasartikel in Form eines Glasbands, dem lokal eine Biegung mit einem durch Walzen vorgegebenen Biegeradius aufgezwungen wird.

**[0022]** Ein grundsätzliches Problem bei der Beurteilung der mechanischen Eigenschaften von Glasartikeln ist zunächst die statistische Natur der Festigkeit von Sprödmaterialien. Glas hat keine Festigkeit etwa im Sinne einer Streckgrenze wie bei duktilen Werkstoffen, sondern eine Bruchstatistik, die z. B. durch Mittelwert und Streuung gekennzeichnet ist. Die Messung der Glasfestigkeit ist daher an Stichproben mit ausreichendem Umfang durchzuführen (siehe beispielsweise: K. Nattermann, A. Habeck: „Bruchstatistik“ in „Festigkeit von Glas – Grundlagen und Messverfahren“, ISBN3-921089-30-1). Insbesondere zur Produktionsüberwachung sind auch sog. Regelkarten nützlich (z. B. nach ISO 7870), die Tendenzentwicklungen/Abweichungen vom Sollwert anzeigen.

**[0023]** Die Kantenfestigkeit von Dünnglasern kann mit Hilfe des 2-Punkt-Biegeverfahrens bestimmt werden. Fig. 1 zeigt eine Meßanordnung 2 zur Durchführung dieses Verfahrens. Bei diesem Verfahren werden Dünnglasproben 10 zwischen zwei Auflageplatten 25, 26 eingespannt und dann durch Zusammenfahren dieser Platten 25, 26 gebogen.

**[0024]** Dabei entsteht über die Probe ein inhomogener Spannungszustand, der in der Mitte der Probe 10 am höchsten ist. Dementsprechend ist auch der Biegeradius der Probe 10 in der Mitte zwischen den beiden Auflageplatten 25, 26 am kleinsten.

**[0025]** Die Bruchspannung kann nun bestimmt werden, indem der beim Bruch vorliegende minimale Biegeradius  $R_{\min}$  bestimmt und anhand dieses Wertes die korrespondierende Zugspannung an der Kante ermittelt wird. Dabei ist die Zugspannung  $\sigma$  umgekehrt proportional zum Biegeradius. Der Biegeradius  $R_{\min}$  seinerseits hängt vom Abstand  $a$  der beiden Auflageplatten 25, 26 ab. Um die Bruchspannung der Probe 10 zu bestimmen, kann also einfach der Abstand  $a$  der beiden Auflageplatten 25, 26 zum Zeitpunkt des Bruchs aufgezeichnet werden.

**[0026]** Die Länge des Messbereichs bei dieser Methode ist allerdings variabel und wird umso kleiner, je höher die Kantenfestigkeit ist. Im Allgemeinen werden die Messergebnisse an kleinen Proben verwendet, um die Festigkeit von deutlich größeren Produkten abzuschätzen. Dabei kann zur Umrechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit  $F$  folgende Beziehung verwendet werden:

$$F_{\text{Produkt}} = 1 - (1 - F_{\text{Probe}})^L \quad (1)$$

**[0027]** Der Exponent  $L$  ist gegeben durch

$$L = \text{Länge}_{\text{Produkt}} / \text{Länge}_{\text{Probe}} \quad (2)$$

**[0028]** Dabei bezeichnen  $F_{\text{Probe}}$  bzw.  $F_{\text{Produkt}}$  die Ausfallwahrscheinlichkeiten der Messprobe bzw. des Endproduktes,  $L_{\text{Probe}}$  die Messlänge an der Messprobe und  $L_{\text{Produkt}}$  die Kantenlänge des Endprodukts.

**[0029]** Wie man sieht, steht das Verhältnis zwischen Kantenlänge von Produkt und Probe im Exponenten der Formel, wodurch sein Einfluss auf das Ergebnis sehr groß ist. Entsprechend steigt mit größerem Exponenten auch die Unsicherheit bei der berechneten Ausfallwahrscheinlichkeit des Produktes.

**[0030]** Bei der 2-Punkt-Biegemethode wird durch die methodenbedingte sehr kurze Messlänge dieses Verhältnis und damit auch die Unsicherheit bei der Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit großer Produkte sehr groß. In das Verhältnis  $\text{Länge}_{\text{Produkt}}/\text{Länge}_{\text{Probe}}$  geht zudem eine "reduzierte Probenlänge" ein, die für jede Probe einzeln berechnet werden muss. Dies liegt daran, dass die Biegespannung über die Probenlänge inhomogen verteilt ist und so eine "fiktive" Messlänge mit konstanter Spannung berechnet werden muss. In diese Berechnung gehen weitere Annahmen ein, die die Ungenauigkeit des Ergebnisses für eine große Probe weiter erhöhen.

**[0031]** Da bei dieser Methode die komplette Probe **10** gebogen wird, werden auch immer beide Kanten der Probe **10** auf ihre Festigkeit hin geprüft. Sind bei einer Probe **10** die beiden Kanten mit unterschiedlichen Methoden präpariert worden, so kann mit diesem Messverfahren nur die Präparationsmethode getestet werden, die die schlechtere Festigkeitsqualität erzeugt.

**[0032]** Im Folgenden wird die Erfindung in den Ausführungsbeispielen anhand von streifenförmigen Proben von Dünngläsern beschrieben. Die Erfindung lässt sich aber in gleicher Weise auch auf andere scheibenförmige Elemente anwenden. Sofern nicht anders erwähnt, kann also anstelle eines Dünnglases oder einer Dünnglas-Probe auch ein anderes sprödebrüchiges Material, insbesondere Glaskeramik oder Keramik verwendet werden.

**[0033]** Zusammenfassend bestehen die Nachteile des aktuell üblichen Messverfahrens in folgenden Punkten:

- Die Messlänge ist sehr kurz. Dies führt zu großen Unsicherheiten bei der Umrechnung auf große Proben.
- Die Spannungsverteilungen über die Probenlänge sind inhomogen. Auch dies führt zu weiteren Unsicherheiten bei der Umrechnung auf große Proben.
- Beide Kanten werden gleichmäßig belastet, so dass unterschiedlich präparierte Kanten nicht unabhängig voneinander gemessen werden können.
- Durch die Biegung der gesamten Probe wird auch die Fläche unter in Richtung der Biegeachse gesehen hohe Zugspannung gesetzt, wodurch je nach Qualität von Kante und Oberfläche Brüche auf der Oberfläche auftreten können.
- Die Methode ist nur für Proben mit homogener Dicke geeignet, da sonst die Näherungsverfahren, die zur Berechnung der sich einstellenden Biegeverformung nicht mehr gültig sind.

**[0034]** Das Messverfahren und die Meßanordnung gemäß der Erfindung lösen praktisch alle fünf oben erwähnten Nachteile des bisher üblichen 2-Punkt-Biegeverfahrens:

- es können praktisch beliebig lange Proben verwendet werden,
- die Spannungen in den Proben sind über den Messbereich weitgehend konstant,
- die Zugspannung ist an den beiden Probenkanten deutlich verschieden, so dass der Bruch bevorzugt von einer vorbestimmbaren Kante ausgeht, diese also weitgehend unabhängig von der anderen Kante untersucht werden kann
- die Zugspannungen auf den Oberflächen werden durch das anliegende Spannungsprofil deutlich reduziert,
- auch inhomogen dicke Proben, deren Dickenverteilungen bekannt sind, können mit dieser Methode untersucht werden, da eine analytische Lösung zur Berechnung der Spannungsverteilung vorliegt.

**[0035]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß nun dadurch gelöst, indem eine lange Probe an den kurzen Kanten auseinandergezogen wird (Zugversuch). Die Krafteinleitungspunkte liegen dabei vorzugsweise neben dem Schwerpunkt der Probengrundfläche. Läge der Krafteinleitungspunkt im Schwerpunkt, so würde sich über die gesamte Probenbreite eine konstante Zugspannung einstellen. Durch die Verlagerung des Krafteinleitungspunkts wird ein zusätzliches Drehmoment aufgebracht, das zu einem typischerweise linearen oder zumindest annähernd linearen, jedenfalls aber von der Kante ausgehend abfallenden Spannungsverlauf über die Probenbreite führt.

**[0036]** Durch geeignete Wahl des Krafteinleitungspunkts, beziehungsweise dessen Position entlang der kurzen Kante der Probe kann so das Verhältnis zwischen den Spannungen an der Prüfkante und der gegenüberliegenden Kante eingestellt werden, wodurch die Prüfung einer ausgewählten Kante möglich ist.

**[0037]** Demgemäß sieht die Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung der Kantenfestigkeit von scheibenförmigen Elementen aus sprödebrüchigen Materialien vor, bei welchem eine streifenförmige Probe aus sprödebrüchigem Material bereitgestellt wird, welche zwei gegenüberliegende Seitenflächen und zwei sich in Längsrichtung der Probe erstreckende Längskanten aufweist. Jedes der beiden Enden der streifenförmigen Probe wird mit einem Halter verbunden. Die beiden Halter werden nun auseinandergezogen, so dass die streifenförmige Probe unter eine in deren Längsrichtung verlaufende Zugspannung versetzt wird. Die Zugkraft wird dabei asymmetrisch bezüglich der zwischen den beiden Längskanten verlaufenden Mittenlinie der Probe eingeleitet, so dass auf eine der Längskanten eine höhere Zugkraft ausgeübt wird, als auf die gegenüberliegende Längskante. Die Zugkraft wird nun erhöht, bis die Probe auseinanderreißt und die Zugkraft beim Reißen der Probe wird aufgezeichnet. Alternativ dazu kann die Zugkraft auch nur erhöht werden, bis ein vorgegebener Maximalwert erreicht wird. Dann kann festgestellt werden, ob die Probe dem Maximalwert der Zugkraft standhält. Damit kann festgestellt werden, ob das scheibenförmige Material bestimmten Anforderungen an die Kantenfestigkeit genügt.

**[0038]** Wird die Probe bis zum Reißen belastet, um statistische Parameter der Festigkeit des Glases zu ermitteln, so wird das vorgenannte Verfahren an einer Mehrzahl von Proben wiederholt. Vorzugsweise werden zur Ermittlung statistischer Festigkeitsparameter, wie etwa Weibull-Verteilung mindestens 10, vorzugsweise mindestens 20 Proben getestet. Auch bei der Ausführungsform mit Belastung bis zum vorgegebenen Maximalwert der Zugkraft kann zur Ermittlung statistischer Größen, wie etwa einer Ausfallwahrscheinlichkeit das Verfahren mit mehreren Proben wiederholt werden.

**[0039]** Fig. 2 zeigt zur Erläuterung des Verfahrens eine streifenförmige Probe **1** in Aufsicht auf eine der Seitenflächen **10**. Fig. 3 zeigt die Anordnung in Aufsicht auf eine der Längskanten **12**. Durch die streifenförmige Geometrie der Probe **1** weist diese zwei sich in Längsrichtung **5** erstreckende Längskanten **12**, **13** auf. An den Enden **15**, **16** der streifenförmigen Probe **1** ist jeweils ein Halter **2**, beziehungsweise **4** befestigt.

**[0040]** Die Probe **1** kann praktisch beliebig lange sein. Sie sollte vorzugsweise jedoch mindestens eine Länge von mindestens dem zweifachen der Grundkantenlänge haben, damit sich ein ausreichend homogenes Spannungsprofil im Messbereich der Längskante einstellt. Demgemäß wird vorzugsweise eine Probe verwendet, deren Länge mindestens doppelt so groß ist, wie deren Breite. Gemäß einem Ausführungsbeispiel werden Proben mit den Abmessungen 20 mm × 50 mm verwendet.

**[0041]** Ohne Beschränkung auf die spezielle Form der Halter **2**, **4**, wie sie in den Figuren dargestellt ist, wird für die Halter allgemein Metall als Material bevorzugt. Metall kann im Vergleich zu sprödebrüchigen Materialien, wie insbesondere Glas mehr Zugkräfte aufzunehmen. Denkbar sind für die Halter aber auch andere in Bezug auf Zugspannungen festere Materialien. Beispielsweise kann auch Kunststoff oder ein Verbundwerkstoff für die Halter verwendet werden.

**[0042]** Um Dünngläser mit einer Dicke beispielsweise im Bereich von 20 µm bis 300 µm zu prüfen, werden vorzugsweise plattenförmige Halter **2**, **4** mit einer Dicke im Bereich von 0,1 mm bis 0,5 mm bevorzugt. Gemäß einem Ausführungsbeispiel weisen die in den Fig. 2 und Fig. 3 gezeigten Halter **2**, **4** eine Dicke von 0,2 Millimetern auf. Selbstverständlich besteht aber hinsichtlich der Glasdicke keine Beschränkung hinsichtlich der Anwendbarkeit der Erfindung. So können auch dickere Gläser, beispielsweise mit Dicken bis 1,5 mm mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, gegebenenfalls mit entsprechend dickeren Haltern **2**, **4** getestet werden.

**[0043]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere auf Dünnglas-Proben, beispielsweise mit Dicken  $t$  aus der Menge {10 µm, 15 µm, 20 µm, 25 µm, 30 µm, 35 µm, 40 µm, 45 µm, 50 µm, 55 µm, 65 µm, 70 µm, 75 µm, 85 µm, 100 µm, 110 µm, 120 µm, 145 µm, 160 µm, 180 µm, 200 µm, 210 µm, 250 µm} angewandt werden.

**[0044]** Die Halter **2**, **4** weisen jeweils eine Krafteinleitungseinrichtung, hier in Gestalt einer Öse **20** auf, um über die Befestigungseinrichtung die angewendete Zugkraft auf den Halter **2**, **4** und damit auf die streifenförmige Probe **1** zu übertragen. Beispielsweise können die Ösen **20** in geeignete Befestigungen einer Zugeinrichtung eingehängt werden. Die Halter **2**, **4** werden so auf der Probe **1** befestigt, dass die Krafteinleitungseinrichtung gegenüber der Mittenlinie **18** der streifenförmigen Probe **1** zu einer der Kanten **12**, **13** der Probe **1** hin versetzt sind. Durch die Krafteinleitungseinrichtungen werden Krafteinleitungspunkte definiert, welche die Schwerpunkte der Zugkraft-Verteilung darstellen. Werden Ösen **20** oder komplementär dazu Stifte als Krafteinleitungseinrichtungen verwendet, befindet sich der Krafteinleitungspunkt typischerweise in der Mitte der Öse oder des Stifts.

**[0045]** Vorzugsweise werden die Halter **2**, **4** mit den Enden **14**, **15** der Probe **1** mittels einer Klebeverbindung **7** verbunden. Als Klebeverbindung **7** kann ein Ein- oder Zweikomponenten-Klebstoff verwendet werden. Möglich

ist gemäß noch einer Ausführungsform der Erfindung ein doppelseitig haftendes Klebeband. Die Verklebung erfolgt innerhalb eines Befestigungsabschnittes **14** der Halter. Der Befestigungsabschnitt **14** ist dabei der Teil des Halters **2, 4**, welcher mit der Probe **1** überlappt und definiert bei dem gezeigten Beispiel die Befestigungsfläche der Probe **1** mit dem jeweiligen Halter **2, 4**.

**[0046]** Wie anhand der **Fig. 2** und **Fig. 3** gezeigt, wird die Verbindung der Probe **1** mit dem jeweiligen Halter **2, 4** über eine Fläche hergestellt, deren Breite in Richtung quer zur Zugrichtung vorzugsweise möglichst groß ist. Damit wird erreicht, dass die Verteilung der Zugspannungen in der Probe **1** möglichst nahe am Halter **2, 4** bereits möglichst linear wird. Mit einer solchen flächigen Verbindung des Halters **2, 4** mit der Probe **1**, die sich über einen großen Teil der Probenbreite erstreckt, werden auch punktuelle Überhöhungen der Zugspannung in der Probe **1** möglichst vermieden.

**[0047]** Um dies zu verdeutlichen, zeigt **Fig. 4** eine Simulation der Spannungsverteilung in der Probe **1**. Dargestellt ist nur ein Halter und ein Längsabschnitt der Probe **1**. Werden, wie bevorzugt, gleichartige Halter **2, 4** verwendet, ist auch das Spannungsprofil symmetrisch bezüglich der Mitte der Probe **1**. Im in **Fig. 4** dargestellten Fall wurde der Krafteinleitungspunkt, beziehungsweise die Position der Öse **20** so gewählt, dass die Spannung an der Längskante **13** gerade Null ist.

**[0048]** Die Spannungsverteilung ist anhand von Zugspannungs-Isobaren **22**, also Linien betragsmäßig gleicher Zugspannung dargestellt. Die Öse **20** als Krafteinleitungseinrichtung ist gegenüber der Mittenlinie **18** der Probe **1** in der Darstellung der **Fig. 4** in Richtung zur Längskante **12** hin versetzt. Demgemäß liegt an der Längskante **12** eine höhere Zugspannung an, als an der gegenüberliegenden Längskante **13**.

**[0049]** Wie anhand von **Fig. 4** ersichtlich, laufen die Zugspannungs-Isobaren **22** bereits nach kurzem Längsabstand zum Befestigungsabschnitt **14** des Halters **2** parallel zur Längskante **12**. In diesem Bereich ist dann auch die Zugspannung an der Längskante **12** gleichbleibend. Um eine solche gleichbleibende Zugspannung über eine möglichst große Länge der zu prüfenden Längskante zu erzielen, ist es wie gesagt günstig, wenn sich der Befestigungsabschnitt **14** über eine möglichst große Breite der streifenförmigen Probe erstreckt. Allgemein, ohne Beschränkung auf die spezielle, in den **Fig. 2** bis **Fig. 4** gezeigte Ausbildung der Halter **2, 4** ist daher gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass zumindest einer der Halter **2, 4** mit der Probe **1** flächig verbunden wird, wobei die Befestigungsfläche eine Breite aufweist, welche sich über mindestens 3/4, vorzugsweise mindestens 5/6, besonders bevorzugt der Breite der streifenförmigen Probe erstreckt.

**[0050]** Wie insbesondere anhand von **Fig. 3** zu erkennen ist, reicht es im Allgemeinen aus, den Halter **2, 4** nur auf einer Seitenfläche der Probe **1**, hier auf der Seitenfläche **10** zu befestigen, also vorzugsweise anzukleben. Dies erleichtert die Präparation der Proben **1**. Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung werden also die Halter **2, 4** einseitig auf einer der Seitenflächen **10, 11** der Probe **1** befestigt. Dies führt an sich zu Spannungsunterschieden zwischen den beiden Seitenflächen **10, 11**. Es zeigt sich aber, dass diese Spannungsunterschiede vernachlässigbar sind. Bei höheren Kräften kann es gegebenenfalls zu einer Beulung der Probe kommen. In diesem Fall kann ein zweiter Halter spiegelsymmetrisch auf der gegenüberliegenden Seitenfläche befestigt werden.

**[0051]** Anhand der Beispiele der **Fig. 2** bis **Fig. 4** ist noch eine andere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung ersichtlich. Es gibt keinen Überlapp zwischen der zu prüfenden Glaskante (im Beispiel die Längskante **12**) und der Kante des Halters **2, 4**. Stattdessen läuft die Kante des Metallhalters über die kurze Probenkante in die Probe **1** hinein. Grund dafür ist, dass die Simulationen zeigten, dass an den Stellen, an denen sich Proben- und Halterkante kreuzen, Zugspannungen im sprödebrüchigen Material, wie insbesondere im Glas entstehen, die deutlich höher sind, als die Spannungen im Messbereich. Mit anderen Worten wird also der Halter **2, 4** so auf der Probe **1** flächig befestigt, dass die Befestigungsfläche (im Beispiel gegeben durch die Fläche des Befestigungsabschnitts **14**) zur zu prüfenden Längskante **12**, also der Längskante, auf welche die höhere Zugkraft ausgeübt wird, beabstandet ist. Bei den gezeigten Beispielen weist der Befestigungsabschnitt **14** einen Abstand  $d$  zur Längskante **12** auf, welcher etwa  $1/18$  der Breite der streifenförmigen Probe entspricht.

**[0052]** Je größer der Abstand  $d$  ist, desto größer wird allerdings auch der Abstand zum Befestigungsabschnitt **14**, an welchem die Zugspannungs-Isolinien **22** an der zu prüfenden Längskante parallel werden, so dass die Zugspannung entlang der Längskante konstant bleibt. Allgemein, ohne Beschränkung auf das Ausführungsbeispiel ist daher in Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, dass der Abstand der Befestigungsfläche zur Längskante höchstens  $1/10$  der Breite der streifenförmigen Probe **1** beträgt. Um andererseits den oben diskutierten Effekt einer Überhöhung der Zugspannung zu vermeiden, wird gemäß noch einer Weiterbildung der

Erfindung allgemein bevorzugt, dass der Abstand der Befestigungsfläche zur Längskante **12** mindestens so groß ist, wie die Dicke der Probe **1**. Diese vorgenannten Weiterbildungen sind insbesondere für Ränder ohne Borten geeignet. Sind aufgrund der Herstellung der Glasscheibe hingegen Borten vorhanden, so sollte gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung der Abstand  $d$  mindestens so groß wie die Breite der Borte sein. Anders gesagt wird die Befestigungsfläche in diesem Fall bevorzugt so gewählt, dass diese neben der Borte in einem Bereich von im wesentlichen konstanter Dicke der Probe liegt. Borten entstehen bei verschiedenen Herstellungsverfahren, wie etwa dem Down-Draw-Verfahren, dem Overflow-Fusion-Verfahren, sowie auch beim Ziehen eines Glasbands aus einem Vorkörper.

**[0053]** In der Nähe der Halter **2, 4** zur Krafteinleitung sind die Spannungen in der zu messenden Längskante nicht homogen. Dies ist in **Fig. 4** anhand der in den zum Befestigungsabschnitt **14** benachbarten Bereichen der Probe nicht geradlinig verlaufenden Zugspannungs-Isolinien zu erkennen. Erst in einem Abstand zur Glas-Grundkante von ca. dem Doppelten der Tiefe der Befestigungsfläche liegt an der zu prüfenden Längskante eine gleichbleibende Zugspannung an.

**[0054]** In diesem Bereich um den Halter **2, 4** zur Krafteinleitung sind die Kantenspannungen deutlich niedriger als im Messbereich weiter entfernt von der Grundkante. Sollte bei Messungen Brüche in diesem "Halterbereich" auftreten, sollten diese verworfen werden.

**[0055]** Über den Ansatz, dass in der Proben sowohl Kraft- als auch Momentengleichgewicht herrschen muss, kann in einem einfachen Fall mit homogener Dicke die Spannung an den Längskanten **12, 13** bestimmt werden. Für das Kraftgleichgewicht gilt:

$$\text{Kraftgleichgewicht: } F_z = \int_A \sigma dA \quad (3)$$

**[0056]** Weiterhin gilt:

$$\text{Momentengleichgewicht: } (x_F - x_s) \cdot F_z = \int_A (x - x_s) \cdot \sigma dA \quad (4)$$

**[0057]**  $F_z$  bezeichnet dabei die Kraft mit der gezogen wird, und  $\sigma$  die Spannungsverteilung in der Probe **1**.  $x_s$  ist die x-Koordinate des Schwerpunkts (die x-Achse läuft entlang der Breite der Probe, beziehungsweise senkrecht zur Zugrichtung) und berechnet sich über:

$$\text{Schwerpunkt der Grundfläche: } x_s = \frac{1}{A} \int_A x dA \quad (5)$$

**[0058]** Berücksichtigt man zudem noch, dass zwischen den beiden Längskanten **12, 13** der Probe **1** (in x-Richtung, welche die Richtung senkrecht zur Zugrichtung, beziehungsweise senkrecht zur Kante der Probe bezeichnet) ein linearer Spannungsverlauf herrscht und die Spannung über die Dicke der Probe (y-Richtung) homogen ist, ergibt sich:

(6) linearer Spannungsverlauf:

$$\sigma = \sigma_{\text{Kante1}} + \frac{\sigma_{\text{Kante1}} - \sigma_{\text{Kante2}}}{B} \cdot x_z$$

**[0059]** So kann für jede Probe in Abhängigkeit des Krafteinleitungspunkts  $x_F$  die Spannungsverteilung in der Probe berechnet werden. Dies gilt insbesondere auch, für Proben mit inhomogener Dicke, wenn die Dickenverteilung bekannt ist. Mit Methoden der technischen Mechanik, beispielsweise mittels einer Finite-Elemente-Rechnung kann die Verteilung der Spannungen ebenfalls und insbesondere für beliebige Formen und Dickenverteilungen der Probe errechnet werden.

**[0060]** Es ist weiterhin nicht notwendig, dass über die gesamte Breite der Probe eine Zugspannung vorliegt. Vielmehr ist es möglich, dass die Zugspannung an einer der Längskanten verschwindet, oder sogar, dass an der Längskante, welcher der zu prüfenden Längskante gegenüberliegt, eine Druckspannung vorliegt. Es sollte aber vermieden werden, dass die druckbelastete Kante beult. Weiter gilt, dass die Zugkraft so eingeleitet werden kann, dass die Zugspannung an einer Längskante (im Beispiel der **Fig. 2** die Längskante **12**) wesentlich größer ist, als an der gegenüberliegenden Längskante (Längskante **13** in **Fig. 2**). Auf diese Weise gehen Brüche überwiegend von der stärker belasteten Kante aus.

**[0061]** Durch den abnehmenden Spannungsverlauf von einer zur andere Längskante gemäß Gleichung (6) und dem Beispiel der **Fig. 4** wird die Fläche deutlich weniger belastet, als bei der 2-Punkt-Biegung. Entsprechend treten viel seltener Flächenbrüche auf.

**[0062]** **Fig. 5** zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung **29** zur Bestimmung der Kantenfestigkeit von streifenförmigen Proben **1** aus sprödebrüchigem Material.

**[0063]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung **29** zur Bestimmung der Kantenfestigkeit von scheibenförmigen, sprödebrüchigen Materialien umfasst allgemein, ohne Beschränkung auf das dargestellte Ausführungsbeispiel:

- zwei beabstandete Halter **2, 4** zur Befestigung der Enden einer streifenförmige Probe **1** aus sprödebrüchigem Material, sowie
- eine Zug-Prüfeinrichtung **30**, welche eingerichtet ist, auf einen der Halter **2, 4** eine Zugkraft auszuüben, so dass die Zugkraft in Längsrichtung einer an den Haltern **2, 4** befestigten streifenförmigen Probe **1** eingeleitet wird, wobei
- die Zug-Prüfeinrichtung **30** weiter eingerichtet ist, die Zugkraft sukzessive zu erhöhen und den Momentanwert der Zugkraft oder einer zur Zugkraft korrespondierenden Größe anzuzeigen oder aufzuzeichnen, wenn die Probe unter der ausgeübten Zugkraft reißt. Auch hier kann die Zugkraft bis zu einer vorgegebenen Zugkraft erhöht werden, wobei die die Zug-Prüfeinrichtung **30** eingerichtet ist, aufzuzeichnen, ob die Probe einem vorgegebenen Maximalwert der Zugkraft oder einer zur Zugkraft korrespondierenden Größe standhält. Wie bereits erläutert weisen die Halter **2, 4** Krafteinleitungseinrichtungen auf, um die Zugkraft der Zug-Prüfeinrichtung **30** auf die Halter **2, 4** zu übertragen, wobei die Krafteinleitungseinrichtungen senkrecht zur Zugrichtung gesehen seitlich versetzt zur Mitte von Befestigungsabschnitten **13** der Halter **2, 4** angeordnet sind, so dass die Zugkraft auf die Längskanten **12, 13** einer an den Haltern **2, 4** befestigten Probe **1** unterschiedlich ist.

**[0064]** Um Verfälschungen der Messwerte zu vermeiden, ist es günstig, wenn eine Torsion der Probe **1** während der Prüfung verhindert wird. Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung werden dazu wie bei dem in **Fig. 5** gezeigten Beispiel zwei Schlitten **37** verwendet, die beide auf den gleichen Führungsschienen **39** laufen und sich so nur entlang der Achsen zueinander bewegen können.

**[0065]** Auf jedem dieser Schlitten **37** befindet sich ein Dorn **31**, in den die Halter **2, 4** mit deren Ösen **20** eingehängt werden können.

**[0066]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die ZugPrüfeinrichtung **30** eine pneumatische oder hydraulische Zugeinrichtung **32**. Bei dem dargestellten Beispiel ist dazu einer der Schlitten **37** über einen Pneumatikzylinder mit dem Rahmen zur Halterung der Führungsschienen **39** verbunden. Wird die Zugeinrichtung **32** mit einem Betriebsfluid **35** unter Druck beaufschlagt, so übt der Pneumatikzylinder eine Kraft auf den Schlitten **37** aus, welcher entlang der Führungsschienen weg vom gegenüberliegenden Halter **37** gerichtet ist.

**[0067]** Eine hydraulische oder pneumatische Zugeinrichtung **32** ist vorteilhaft, weil sich die auf die Probe ausgeübte Zugkraft leicht anhand des Drucks des Betriebsfluids **35** errechnen lässt. Gemäß noch einer Weiterbildung der Erfindung ist daher ein Drucksensor **34** zur Aufzeichnung des Drucks des Betriebsfluids **35** der pneumatischen oder hydraulischen Zugeinrichtung **32** vorgesehen. Der Druck des Betriebsfluids stellt also eine zur Zugkraft korrespondierende Größe dar. Geeignet als Betriebsfluid **35** ist beispielsweise Luft.

**[0068]** Der Drucksensor **34** ist an eine Aufzeichnungseinrichtung **40** angeschlossen, welche die Druckwerte aufzeichnen und/oder anzeigen kann. Wird der Druck des Betriebsfluids **35** nun sukzessive mittels einer Druckquelle **36** erhöht und reißt die Probe **1** unter der mittels des druckbeaufschlagten Betriebsfluids **35** ausgeübten Zugkraft, wird von der Aufzeichnungseinrichtung **40** der Momentanwert der Zugkraft oder eine zur Zugkraft korrespondierenden Größe angezeigt und/oder aufgezeichnet.

**[0069]** Die Druckquelle kann ebenfalls von der Aufzeichnungseinrichtung **40** oder einer übergeordneten Steuereinrichtung gesteuert werden, um den Druck nach und nach zu erhöhen. Gemäß einer einfachen Ausführungsform kann die Druckquelle **36** aber auch eingerichtet sein, zeitgesteuert den Druck des Betriebsfluids **35** zu erhöhen.

**[0070]** Um den Zeitpunkt zu ermitteln, wann die Probe **1** reißt und die zu diesem Zeitpunkt angelegte Zugkraft auszulesen oder abzuspeichern, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Beispielsweise kann der Druckverlauf aufgezeichnet werden und bei einem plötzlichen Druckabfall aufgrund der durch das Reißen schlagartig entfallenden Gegenkraft der Probe der vor dem Abfall herrschende Wert aufgezeichnet und/oder angezeigt werden.



Eine weitere, einfache Möglichkeit besteht darin, einen Schalter **42** vorzusehen, welcher durch den sich bei einem Reißen der Probe **1** bewegenden Schlitten **37** betätigt wird. Das vom Schalter **42** ausgelöste Schaltsignal triggert dann die Aufzeichnung des Momentanwerts der Zugkraft, beziehungsweise einer korrespondierenden Größe, wie etwa den Druckmesswert des Drucksensors **34** im Beispiel der **Fig. 5**.

**[0071]** Eine hydraulische oder pneumatische Erzeugung der Zugkraft zum Testen von Proben **1** bietet einen weiteren besonderen Vorteil. An eine Druckquelle **36** können mehrere pneumatische oder hydraulische Zügeinrichtungen **32** gleichzeitig angeschlossen werden. Demgemäß können auch mehrere Proben **1** gleichzeitig mit den Zügeinrichtungen **32** getestet werden. Durch den Druck des Betriebsfluids wird dann bei gleichartigen Zügeinrichtungen **32** die gleiche Zugkraft an die Proben **1** angelegt werden. Die Zugkraft, beziehungsweise der Druck des Betriebsfluids kann dann sukzessive so weit erhöht werden, bis alle Proben **1** gerissen sind. Jedes Reißen wird detektiert und jeweils die beim Reißen herrschende momentane Zugkraft oder die zur Zugkraft korrespondierende Größe aufgezeichnet.

**[0072]** Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung werden also mehrere Proben an ihren beiden Haltern **2**, **4** gleichzeitig auseinandergezogen, wobei die Zugkraft zum Auseinanderziehen pneumatisch oder hydraulisch mit einem gemeinsamen, druckbeaufschlagten Betriebsfluid erzeugt wird.

**[0073]** Die Erfindung ist unter anderem dazu geeignet, die Parameter einer Bruchwahrscheinlichkeitsverteilung unter Biegebelastung zu ermitteln und anhand dieser Parameter einen Biegeradius zu ermitteln, welchem ein Artikel aus dem getesteten sprödebrüchigen Material mit hinreichend hoher Wahrscheinlichkeit standhält. Dabei kann auch eine vorbestimmte Lebensdauer unter der Biegebeanspruchung mit vorbestimmter maximaler Ausfallrate ermittelt werden. Eine Anwendung hierzu ist das Aufrollen von Dünnglas-Bändern. Mit dem Aufrollen entfällt das Erfordernis, das Glasband direkt nach der Herstellung zu zerteilen. Vielmehr kann ein langes Glasband auf diese Weise gelagert und/oder transportiert werden, um es zu einem späteren Zeitpunkt durch Abrollen und Zuschneiden weiterzuverarbeiten. Problematisch ist hierbei, dass aufgrund der großen Länge des Glasbands (typische Längen liegen bei beispielsweise 20 bis 300 Metern) auch die Bruchwahrscheinlichkeit ansteigt. Ein einziger Bruch führt aber meistens dazu, dass die gesamte Glasrolle unbrauchbar wird.

**[0074]** Gemäß einem Aspekt der Erfindung betrifft die Erfindung daher auch die Herstellung eines scheibenförmigen Glasartikels, wobei mit Proben eines solchen Glasartikels die Kantenfestigkeit mit dem erfindungsgemäßen Verfahren überprüft, anhand der Kantenfestigkeit ein minimaler Biegeradius bestimmt und ein weiterer Glasartikel, welcher vorzugsweise gleichartig zu dem Glasartikel ist, aus welchem die Proben gewonnen wurden, gebogen wird, wobei der Biegeradius den ermittelten minimalen Biegeradius nicht unterschreitet. Als gleichartige Glasartikel werden solche Glasartikel angesehen, welche aus dem gleichen Glas mit gleicher Dicke hergestellt sind und die gleichartig hergestellte Kanten aufweisen.

**[0075]** Insbesondere kann der Glasartikel wie gesagt ein Glasband sein, wobei das Glasband nach dessen Herstellung zu einer Rolle aufgerollt wird, wobei der Biegeradius an der Innenseite der Glasrolle den minimalen Biegeradius nicht unterschreitet.

**[0076]** **Fig. 6** zeigt eine solche Glasrolle **103** aus einem solchen Glasband **100**. Die Innenseite **104** der Glasrolle wird durch die innerste Lage des aufgerollten Glasbands **100** gebildet, wobei das Glasband **100** auch auf einen Wickelkern aufgewickelt sein kann. Durch das spiralförmige Aufwickeln wird der Biegeradius der einzelnen Lagen des Glasbands **100** nach außen hin größer. Der für die Bruchwahrscheinlichkeit maßgebliche minimale Biegeradius tritt daher an der Innenseite **104** auf. Um das Glasmaterial zu schützen, kann zusätzlich ein Bahnmaterial **107** eingewickelt werden, so dass die einzelnen Lagen des Glasbands **100** nicht direkt aufeinanderliegen, sondern durch das Bahnmaterial **107** getrennt sind. Wie weiter unten dargelegt, kann ein Glasartikel, wie beispielsweise eine Glasrolle **100** mittels der Erfindung hinsichtlich einer garantierten Festigkeit bei gleichzeitig möglichst kompakten Abmessungen optimiert werden.

**[0077]** Der Glasartikel besteht bevorzugt aus einem Lithium-Aluminiumsilikatglas, Kalk-Natron-Silikatglas, Borosilikatglas, Alkali-Aluminosilikatglas, alkalifreien oder alkaliarmen Aluminosilikatglas. Solche Gläser werden beispielsweise mittels Ziehverfahren, wie ein Downdraw-Ziehverfahren, Overflow-Fusion oder mittels Float-Technologie gewonnen.

**[0078]** Vorteilhaft kann ein eisenarmes oder eisenfreies Glas, insbesondere mit einem  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Gehalt kleiner 0,05 Gew.-%, vorzugsweise kleiner 0,03 Gew.-% verwendet werden, da dieses verminderte Absorption aufweist und somit insbesondere eine erhöhte Transparenz ermöglicht.

**[0079]** Für andere Anwendungen werden aber auch Graugläser oder gefärbte Gläser bevorzugt.

**[0080]** Gemäß einer Ausführungsform wird ein Glas oder eine Glaskeramik verwendet, das/die für seinen/ihren Gebrauch vorgespannt ist. Dieses Glas oder diese Glaskeramik kann chemisch durch Ionenaustausch oder thermisch oder in einer Kombination thermisch und chemisch vorgespannt sein.

**[0081]** Als Glasmaterial kann auch ein optisches Glas dienen, wie beispielsweise ein Schwerflintglas, Lanthenschwerflintglas, Flintglas, Leichtflintglas, Kronglas, Borosilikat-Kronglas, Barium-Kronglas, Schwerkronglas oder Fluorkronglas.

**[0082]** Vorteilhaft kann ein eisenarmes oder eisenfreies Glas, insbesondere mit einem  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Gehalt kleiner 0,05 Gew.-%, vorzugsweise kleiner 0,03 Gew.-% verwendet werden, da dieses verminderte Absorption aufweist und somit insbesondere eine erhöhte Transparenz ermöglicht.

**[0083]** Für andere Anwendungen werden aber auch Graugläser oder gefärbte Gläser bevorzugt.

**[0084]** Die Erfindung ist insbesondere dazu geeignet, die mechanischen Eigenschaften ohnehin schon hochfester Gläser zu optimieren. Hochfeste Gläser werden typischerweise für Anwendungen verwendet, in denen die Gläser auch einer hohen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt wird. Derartige Gläser sind mithin dahingehend ausgelegt, auf die Fläche wirkenden Biegespannungen zu widerstehen. Gerade hier stellen die Kanten der Gläser die maßgebliche Schwachstelle dar. Letztlich bricht eine Glasscheibe aus einem hochfesten Glas doch sehr schnell, wenn die Kante der Scheibe Fehler aufweist und ebenfalls einer Biegebeanspruchung ausgesetzt wird. Mittels der Erfindung kann nun überprüft werden, ob die Kanten, etwa bei der Konfektionierung einzelner Glasscheiben durch Zerteilen einer größeren Scheibe in ihrer Qualität gleichbleiben. So ist es beispielsweise denkbar, dass durch Abnutzung ein Ritzrad Schäden an den Glaskanten hinterlässt. Ist dies der Fall, wird die Festigkeit der gesamten Glasscheibe deutlich herabgesetzt. Mit dem Verfahren können nun solche Änderungen des hergestellten Produkts sehr präzise erfasst und die Wirksamkeit von Verbesserungen bei der Ausbildung der Kanten geprüft werden. Nachfolgend werden hochfeste Gläser angegeben, mit denen mittels der Erfindung durch Überwachung der Kantenfestigkeit eine Festigkeitssteigerung erzielt werden kann.

**[0085]** Geeignet sind gemäß einer Ausführungsform Gläser mit folgender Bestandteilen der molaren Zusammensetzung in Molprozent:

|                         | Bestandteil mol-% |
|-------------------------|-------------------|
| $\text{SiO}_2$          | 56–70             |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 10,5–16           |
| $\text{B}_2\text{O}_3$  | 0–3               |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | 0–3               |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | 10–15             |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 0–2               |
| $\text{MgO}$            | 0–3               |
| $\text{ZnO}$            | 0–3               |
| $\text{TiO}_2$          | 0–2,1             |
| $\text{SnO}_2$          | 0–1               |
| F                       | 0,001–5           |

**[0086]** Zusätzlich gilt dabei als Nebenbedingung, dass der Quotient des molaren Gehalts von Fluor zum molaren Gehalt von  $\text{B}_2\text{O}_3$ , also  $\text{F}/\text{B}_2\text{O}_3$  in einem Bereich von 0,0003 bis 15, vorzugsweise bis 0,0003 bis 11, besonders bevorzugt 0,0003 bis 10 liegt. Diese Gläser sind chemisch vorspannbar und können in mobilen Anzeigen als Deckgläser verwendet werden.

**[0087]** Bevorzugt enthält die Zusammensetzung dabei folgende Komponenten:

## Komponente Mol-%

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| SiO <sub>2</sub>                | 61–70    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 11–14    |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 0–0,5    |
| Li <sub>2</sub> O               | 0–0,1    |
| Na <sub>2</sub> O               | 11–15    |
| K <sub>2</sub> O                | 0–2      |
| MgO                             | 0–3      |
| CaO                             | 0 (frei) |
| ZnO                             | 0–1      |
| CeO <sub>2</sub>                | 0–0,05   |
|                                 |          |
| ZrO <sub>2</sub>                | 0 (frei) |
| SnO <sub>2</sub>                | 0–0,3    |
| F                               | 0,001–3  |
|                                 |          |
| F/B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,002–6  |

**[0088]** Besonders bevorzugt enthält die Zusammensetzung folgende Komponenten:

## Komponente mol-%

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| SiO <sub>2</sub>                | 64–70    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 11–14    |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 0–0,5    |
|                                 |          |
| Li <sub>2</sub> O               | 0–0,1    |
| Na <sub>2</sub> O               | 11–15    |
| K <sub>2</sub> O                | 0–2      |
| MgO                             | 0–3      |
| CaO                             | 0 (frei) |
| ZnO                             | < 0,1    |
| CeO <sub>2</sub>                | 0–0,05   |
|                                 |          |
| ZrO <sub>2</sub>                | 0 (frei) |
| SnO <sub>2</sub>                | 0–0,3    |
| F                               | 0,001–1  |
|                                 |          |
| F/B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,002–2  |

**[0089]** Bevorzugt werden gemäß einer Weiterbildung der Erfindung weiterhin Borosilikatgläser folgender Glaszusammensetzungen verwendet, bestehend aus (in Gew.-%)

SiO<sub>2</sub> 60–85

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1–10

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5–20

Summe Li<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 2–16

Summe MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO: 0–15

Summe TiO<sub>2</sub> + ZrO<sub>2</sub> 0–5

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0–2,

sowie ggf. Zusätzen von färbenden Oxiden, wie z. B. Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CoO, NiO, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, CuO, CeO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Selten-Erd-Oxide in Gehalten von 0–5 Gew.-%, bzw. für „Schwarzes Glas“ von 0–15 Gew.-%, sowie Läutermittel wie As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, Cl, F, CeO<sub>2</sub> von 0–2 Gew.-%.

**[0090]** Noch eine geeignete Gruppe von Gläsern sind alkalifreie Borosilikatgläser. Hier wird folgende Zusammensetzung in Gewichtsprozent bevorzugt:

| Komponente Gew.-%              |          |
|--------------------------------|----------|
| SiO <sub>2</sub>               | > 58–65  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | > 14–25  |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | > 6–10,5 |
| MgO                            | 0–< 3    |
| CaO                            | 0–9      |
| BaO                            | > 3–8    |
| ZnO                            | 0–< 2    |

**[0091]** Diese Gläser werden auch in der US 2002/0032117 A1 beschrieben, deren Inhalt bezüglich der Glaszusammensetzungen und Glaseigenschaften vollständig auch zum Gegenstand der vorliegenden Anmeldung gemacht wird. Ein Glas dieser Klasse wird mit dem Handelsnamen AF32 von der Anmelderin vertrieben.

**[0092]** Die nachfolgende Tabelle listet den Gehalt von Komponenten eines weiteren geeigneten alkalifreien Borosilikatglases, sowie in der rechten Spalte ein auf diesem Glas basierender Zusammensetzungsbereich einer Klasse von Gläsern mit ähnlichen Eigenschaften:

| Komponente                     | Beispiel<br>Gew.-% | Bereich<br>(Gew.-%) |
|--------------------------------|--------------------|---------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 70                 | 67–73               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10                 | 8–12                |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 10                 | 8–12                |
| CaO                            | 6                  | 4–9                 |
| BaO                            | 1                  | 0,5–2               |
| SrO                            | 3                  | 2–4                 |

**[0093]** Noch eine weitere Klasse bevorzugter Glastypeen sind Borosilikatgläser mit den folgenden Bestandteilen in Gewichtsprozent:

| Komponente Gew.-%              |        |
|--------------------------------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 30–85  |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 3–20   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0–15   |
| Na <sub>2</sub> O              | 3–15   |
| K <sub>2</sub> O               | 3–15   |
| ZnO                            | 0–12   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,5–10 |
| CaO                            | 0–0,1  |

**[0094]** Ein Glas dieser Klasse von Gläsern ist das Schott-Glas D263. Die Gläser mit genaueren Zusammensetzungen werden auch in der US 2013/207058 A1 beschrieben, deren Inhalt bezüglich der Zusammensetzung

zungen der Gläser und deren Eigenschaften vollumfänglich auch zum Gegenstand der vorliegenden Anmeldung gemacht wird.

**[0095]** Auch Kalk-Natron-Gläser sind geeignet. In der nachfolgenden Tabelle sind zwei Ausführungsbeispiele und der Anteil in Gewichtsprozent für Komponenten gemäß einem bevorzugten Zusammensetzungsbereich aufgelistet:

|                                | Glas 1 | Glas 2 | Bereich: |
|--------------------------------|--------|--------|----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 74.42  | 71.86  | 63–81    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.75   | 0.08   | 0–2      |
| MgO                            | 0.30   | 5.64   | 0–6      |
| CaO                            | 11.27  | 9.23   | 7–14     |
| Li <sub>2</sub> O              | 0.00   | 0.00   | 0–2      |
| Na <sub>2</sub> O              | 12.9   | 13.13  | 9–15     |
| K <sub>2</sub> O               | 0.19   | 0.02   | 0–1.5    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01   | 0.04   | 0–0.6    |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00   | 0.00   | 0–0.2    |
| MnO <sub>2</sub>               | 0.00   | 0.00   | 0–0.2    |
| Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | 0.00   | 0.00   | 0–0.1    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.01   | 0.01   | 0–0.8    |
| SO <sub>3</sub>                | 0.16   | 0.00   | 0–0.2    |
| Se                             | 0.00   | 0.00   | 0–0.1    |

**[0096]** Das Glas 2 eignet sich dabei besonders gut zur Herstellung von Glasscheiben im Float-Verfahren.

**[0097]** Gemäß einer Ausführungsform werden weiterhin Kalk-Natron-Silikatgläser folgender Zusammensetzungen als Glas verwendet, bestehend aus (in Gew.-%):

SiO<sub>2</sub> 40–80

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0–6

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0–5

Summe Li<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 5–30

Summe MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO: 5–30

Summe TiO<sub>2</sub> + ZrO<sub>2</sub> 0–7

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0–2,

sowie ggf. Zusätzen von färbenden Oxiden, wie z. B. Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CoO, NiO, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, CuO, CeO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Selten-Erd-Oxide in Gehalten von 0–5 Gew.-% bzw. für „Schwarzes Glas“ von 0–15 Gew.-%, sowie Läutermittel wie As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, Cl, F, CeO<sub>2</sub> von 0–2 Gew.-%.

**[0098]** Gemäß noch einer Ausführungsform der Erfindung werden Lithium-Aluminiumsilikatgläser folgender Zusammensetzungen für das Glasmaterial verwendet, bestehend aus (in Gew.-%):

SiO<sub>2</sub> 55–69

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 19–25

Li<sub>2</sub>O 3–5

Summe Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 0–3

Summe MgO + CaO + SrO + BaO: 0–5

ZnO 0–4

TiO<sub>2</sub> 0–5

ZrO<sub>2</sub> 0–3

Summe TiO<sub>2</sub> + ZrO<sub>2</sub> + SnO<sub>2</sub> 2–6

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0–8

F 0–1

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0–2,

sowie ggf. Zusätzen von färbenden Oxiden, wie z. B.  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , Selten-Erd-Oxide in Gehalten von 0–1 Gew.-%, sowie Läutermittel wie  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{CeO}_2$  von 0–2 Gew.-%.

**[0099]** Bevorzugt werden weiterhin Alkali-Alumosilikatgläser folgender Glaszusammensetzungen als Trägermaterial verwendet, bestehend aus (in Gew.-%)

$\text{SiO}_2$  40–75

$\text{Al}_2\text{O}_3$  10–30

$\text{B}_2\text{O}_3$  0–20

Summe  $\text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  4–30

Summe  $\text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} + \text{BaO} + \text{ZnO}$ : 0–15

Summe  $\text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2$  0–15

$\text{P}_2\text{O}_5$  0–10,

sowie ggf. Zusätzen von färbenden Oxiden, wie z. B.  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , Selten-Erd-Oxide in Gehalten von 0–5 Gew.-% bzw. für „Schwarzes Glas“ von 0–15 Gew.-%, sowie Läutermittel wie  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{CeO}_2$  von 0–2 Gew.-%.

**[0100]** Bevorzugt werden weiterhin alkalifreie Aluminosilikatgläser folgender Glaszusammensetzungen als Trägermaterial verwendet, bestehend aus (in Gew.-%)

$\text{SiO}_2$  50–75

$\text{Al}_2\text{O}_3$  7–25

$\text{B}_2\text{O}_3$  0–20

Summe  $\text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  0–0,1

Summe  $\text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} + \text{BaO} + \text{ZnO}$ : 5–25

Summe  $\text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2$  0–10

$\text{P}_2\text{O}_5$  0–5,

sowie ggf. Zusätzen von färbenden Oxiden, wie z. B.  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , Selten-Erd-Oxide in Gehalten von 0–5 Gew.-% bzw. für „Schwarzes Glas“ von 0–15 Gew.-%, sowie Läutermittel wie  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{CeO}_2$  von 0–2 Gew.-%.

**[0101]** Bevorzugt werden weiterhin alkaliarme Aluminosilikatgläser folgender Glaszusammensetzungen verwendet, bestehend aus (in Gew.-%):

$\text{SiO}_2$  50–75

$\text{Al}_2\text{O}_3$  7–25

$\text{B}_2\text{O}_3$  0–20

Summe  $\text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  0–4

Summe  $\text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} + \text{BaO} + \text{ZnO}$ : 5–25

Summe  $\text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2$  0–10

$\text{P}_2\text{O}_5$  0–5,

sowie ggf. Zusätzen von färbenden Oxiden, wie z. B.  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , Selten-Erd-Oxide in Gehalten von 0–5 Gew.-% bzw. für „Schwarzes Glas“ von 0–15 Gew.-%, sowie Läutermittel wie  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{CeO}_2$  von 0–2 Gew.-%.

**[0102]** Verwendet werden können beispielsweise dünne Gläser wie sie die Schott AG, Mainz unter den Bezeichnungen D263, D263 eco, B270, B270 eco, Borofloat, Xensation Cover, Xensation cover 3D, AF45, AF37, AF32 oder AF32 eco vertreibt.

**[0103]** In einer weiteren Ausführung ist das sprödebrüchige Material eine Glaskeramik, insbesondere in Form einer Glaskeramikscheibe, wobei die Glaskeramik aus einem keramisierten Alumosilikatglas oder Lithium-Alumino-Silikatglas insbesondere aus einem chemisch und/oder thermisch gehärteten keramisierten Alumosilikatglas oder Lithium-Alumino-Silikatglas besteht. In einer weiteren Ausführung umfasst das sprödebrüchige Material ein keramisierbares Ausgangsglas, welches im Brandfall unter Hitzeeinwirkung keramisiert oder weiter fortschreitend keramisiert und damit eine erhöhte Brandschutzsicherheit bewirkt.

**[0104]** Bevorzugt wird eine Glaskeramik oder ein keramisierbares Glas mit folgender Zusammensetzung des Ausgangsglases verwendet (in Gew.-%):

$\text{Li}_2\text{O}$  3,2–5,0

$\text{Na}_2\text{O}$  0–1,5

$\text{K}_2\text{O}$  0–1,5

Summe  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  0,2–2,0

MgO 0,1–2,2  
 CaO 0–1,5  
 SrO 0–1,5  
 BaO 0–2,5  
 ZnO 0–1,5  
 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 19–25  
 SiO<sub>2</sub> 55–69  
 TiO<sub>2</sub> 1,0–5,0  
 ZrO<sub>2</sub> 1,0–2,5  
 SnO<sub>2</sub> 0–1,0  
 Summe TiO<sub>2</sub> + ZrO<sub>2</sub> + SnO<sub>2</sub> 2,5–5,0  
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0–3,0

**[0105]** In einer anderen Ausführung wird eine Glaskeramik oder ein keramisierbares Glas mit folgender Zusammensetzung des Ausgangsglases bevorzugt verwendet (in Gew.-%):

Li<sub>2</sub>O 3–5  
 Na<sub>2</sub>O 0–1,5  
 K<sub>2</sub>O 0–1,5  
 Summe Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 0,2–2  
 MgO 0,1–2,5  
 CaO 0–2  
 SrO 0–2  
 BaO 0–3  
 ZnO 0–1,5  
 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15–25  
 SiO<sub>2</sub> 50–75  
 TiO<sub>2</sub> 1–5  
 ZrO<sub>2</sub> 1–2,5  
 SnO<sub>2</sub> 0–1,0  
 Summe TiO<sub>2</sub> + ZrO<sub>2</sub> + SnO<sub>2</sub> 2,5–5  
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0–3,0

**[0106]** In einer anderen Ausführung wird eine Glaskeramik oder ein keramisierbares Glas mit folgender Zusammensetzung des Ausgangsglases bevorzugt verwendet (in Gew.-%):

Li<sub>2</sub>O 3–4,5  
 Na<sub>2</sub>O 0–1,5  
 K<sub>2</sub>O 0–1,5  
 Summe Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 0,2–2  
 MgO 0–2  
 CaO 0–1,5  
 SrO 0–1,5  
 BaO 0–2,5  
 ZnO 0–2,5  
 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0–1  
 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 19–25  
 SiO<sub>2</sub> 55–69  
 TiO<sub>2</sub> 1,4–2,7  
 ZrO<sub>2</sub> 1,3–2,5  
 SnO<sub>2</sub> 0–0,4  
 Summe TiO<sub>2</sub> + SnO<sub>2</sub> kleiner 2,7  
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0–3  
 Summe ZrO<sub>2</sub> + 0,87 (TiO<sub>2</sub> + SnO<sub>2</sub>) 3,6–4,3

**[0107]** Die Glaskeramik enthält vorzugsweise Hochquarz-Mischkristalle oder Keatit-Mischkristalle als vorherrschende Kristallphase. Die Kristallitgröße beträgt vorzugsweise kleiner 70 nm, besonders bevorzugt kleiner gleich 50 nm, ganz besonders bevorzugt kleiner gleich 10 nm.

**[0108]** Das erfindungsgemäße Verfahren, beziehungsweise die Vorrichtung sind nun auch dazu geeignet, einen Bruchtest für großflächige Glasartikel, wie beispielsweise Dünnglasbänder **100**, insbesondere in Form einer Glasrolle **103** mit einem aufgerollten Dünnglasband **100** derart festzulegen, dass der Glasartikel eine

definierte Zugbeanspruchung, insbesondere aufgrund einer Biegebelastung garantiert ohne Bruch übersteht. Dazu kann der Glasartikel vor seiner Weiterverwendung oder Weiterverarbeitung einer definierten Biegebelastung ausgesetzt werden, welche durch die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gewonnenen Daten ausgelegt wird. Der Glasartikel widersteht dann dementsprechend jedenfalls einer Biegebelastung dieser Größe mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ohne einen Bruch. Diese Ausführungsform der Erfindung wird nachfolgend genauer erläutert.

**[0109]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung der Kantenfestigkeit von scheibenförmigen, sprödebrüchigen Materialien wird eine Stichprobe aus  $N$  Werten für die Bruch-Spannungen  $\sigma_1 \dots \sigma_N$  gezogen und daraus die Werte

$$(7) \quad R_i = \frac{E}{2\sigma_i} \cdot t_i$$

berechnet, wobei  $E$  den Elastizitätsmodul des Glases und  $t_i$  die Dicke  $i$ -ten Probe an der Kante bezeichnet. Die Werte  $R_i$  sind zu den Zugspannungen korrespondierende Biegeradien, bei welchen die Kanten mit gleicher Zugspannung belastet wären. Aus diesen Werten wiederum werden für die Stichproben ein Mittelwert  $\langle R \rangle$  für den Biegeradius und eine Varianz  $s$  berechnet vorzugsweise gemäß:

$$(8) \quad \langle R \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i, \quad \text{bzw.}$$

$$(9) \quad s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (R_i - \langle R \rangle)^2}.$$

**[0110]** Dann wird der gesamte Glasartikel, insbesondere in Form einer Glasbahn gebogen, so dass in Abhängigkeit von der relativen Varianz  $s/\langle R \rangle$  ihr Biegeradius  $R_{PT}$  für beide Biegerichtungen in dem durch die Kurven  $R_{PT,min}$  und  $R_{PT,max}$  in **Fig. 7** definierten Bereich liegt. Das Biegen kann durch Führen des Glasartikels über Rollen erfolgen. Bei dem in **Fig. 7** gezeigten Diagramm ist auf der Ordinate das Verhältnis von Biegeradius des Glasartikels zum Mittelwert  $\langle p \rangle$  des Biegeradius beim Bruch der Proben **1** als Funktion der relativen Varianz  $s/\langle R \rangle$  aufgetragen.

**[0111]** Bevorzugt wird, dass der Umfang  $N$  der Stichprobe wenigstens 20 beträgt, dass von der Stichprobe 10% der größten und 10% kleinsten Werte für die Zugspannung oder der korrespondierenden Biegeradien  $R_i$  verworfen werden und nur von dem Rest (der sog. „gestutzten Stichprobe“) der Mittelwert und die Varianz nach den Gleichungen (8) und (9) gebildet werden. Dann kann der Glasartikel gebogen, vorzugsweise über Rollen gezogen werden, so dass in Abhängigkeit von der relativen Varianz  $s/\langle R \rangle$  dessen Biegeradius  $R_{PT}$  für beide entgegengesetzten Biegerichtungen in dem durch die Kurven  $R_{PT,min}$  und  $R_{PT,max}$  in **Fig. 8** definierten Bereich liegt.

**[0112]** Die Werte  $R_{PT,max}$  und  $R_{PT,min}$  sind Funktionen der relativen Varianz  $s/\langle R \rangle$ . Ist die relative Varianz hoch, bedeutet dies eine große Streuung der Biegespannungen, beziehungsweise korrespondierend der Biegeradien bei den Bruchversuchen. Entsprechend werden bei höherer Streuung auch größere Biegeradien für den Bruchtest des gesamten Glasartikels gewählt, um eine bestimmte Bruchfestigkeit entsprechend dem gewählten Biegeradius gewährleisten zu können.

**[0113]** Mit der Wahl eines Biegeradius zwischen den Kurven  $R_{PT,max}/\langle R \rangle(s/\langle R \rangle)$  und  $R_{PT,min}/\langle R \rangle(s/\langle R \rangle)$  gemäß **Fig. 6** oder **Fig. 7**, die an der relativen Varianz der Bruchfestigkeit von Proben eines gleichartigen Glasartikels orientiert sind und einen engen Bereich mit möglichst kleinem Biegeradius definieren, wird ermöglicht, sehr hohe Bruchfestigkeiten zu gewährleisten und dennoch den Ausschuss beim Bruchtest auf Glasartikel zu beschränken, die tatsächlich maßgebliche Schwachstellen aufweisen.

**[0114]** Die Bereiche zwischen den Kurven  $R_{PT,max}/\langle R \rangle$  und  $R_{PT,min}/\langle R \rangle$  der **Fig. 7** und **Fig. 8** sind leicht gegeneinander verschoben. Für beide oben genannten Testbedingungen, nämlich einer Stichprobe einerseits, für welche die Werte im Bereich von  $R_{PT,max}/\langle R \rangle$  bis  $R_{PT,min}/\langle R \rangle$  gemäß **Fig. 7** günstig sind und einer bereinigten Stichprobe, für welche sich entsprechende Biegeradien im Bereich von  $R_{PT,max}/\langle R \rangle$  bis  $R_{PT,min}/\langle R \rangle$  gemäß **Fig. 8** ergeben, kann ein einhüllender Bereich angegeben werden. **Fig. 9** zeigt dazu die Kurven  $R_{PT,max}/\langle R \rangle$  und  $R_{PT,min}/\langle R \rangle$  der **Fig. 7** und **Fig. 8**, sowie bevorzugte Grenzwerte  $R_{min}/\langle R \rangle(s/\langle R \rangle)$ ,  $R_{max}/\langle R \rangle(s/\langle R \rangle)$ ,



zwischen denen die Kurven  $R_{PT,max}/\langle R \rangle$  und  $R_{PT,min}/\langle R \rangle$  liegen. Der Biegeradius für den Bruchtest des gesamten dünnen, flächigen Glasartikels wird daher gemäß einer Ausführungsform der Erfindung so gewählt, dass er im Bereich von  $R_{min}(s/\langle R \rangle)$ ,  $R_{max}(s/\langle R \rangle)$  liegt. Dabei können für die Biegeradien  $R_{min}(s/\langle R \rangle)$ ,  $R_{max}(s/\langle R \rangle)$  folgende Beziehungen angesetzt werden:

$$i) \quad \frac{R_{min}}{\langle R \rangle} = 1 + \exp\left(\frac{s}{\langle R \rangle \cdot 0,053} - 2,9\right), \quad \text{und}$$

$$ii) \quad \frac{R_{max}}{\langle R \rangle} = 3,5 + \exp\left(\frac{s}{\langle R \rangle \cdot 0,051} - 2,3\right).$$

**[0115]** Demgemäß betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur Bereitstellung eines scheibenförmigen Glasartikels (beispielsweise eines Dünnglasbands **100** oder einer Glasrolle **103**) mit hoher Bruchfestigkeit, bei welchem

- mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung der Kantenfestigkeit von scheibenförmigen, sprödebrüchigen Materialien, an einer Mehrzahl von Proben **1** (Gesamtanzahl  $N$ ) ausgewertet wird, bei welcher Zugspannung die Proben **1** jeweils gebrochen sind,
- aus diesen Werten der Mittelwert  $\langle R \rangle$  der Biegeradien  $R_i$ , welchen der Zugspannung entsprechen, bei welchen die Proben **1** jeweils gebrochen sind, sowie mit dem Mittelwert  $\langle R \rangle$
- die Varianz  $s$  vorzugsweise gemäß

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (R_i - \langle R \rangle)^2}$$

berechnet wird, und wobei dann

- ein Glasartikel aus dem gleichen Glasmaterial, wie die Proben (**1**), vorzugsweise ein Glasband (**100**) gebogen wird, um zu prüfen, ob der Glasartikel einem Biegeradius  $R_{PT}$  oder einer korrespondierenden Zugspannung standhält, wobei
- der Biegeradius  $R_{PT}$  so gewählt wird, dass dieser im Bereich der von der relativen Varianz  $s/\langle R \rangle$  abhängigen Radien  $R_{min}$  bis  $R_{max}$  liegt, wobei
- die Radien  $R_{min}$  und  $R_{max}$  gegeben sind durch die oben angegebenen Gleichungen i) und ii).

**[0116]** Die Radien  $R_i$  können insbesondere gemäß Gleichung (7) bestimmt werden.

**[0117]** Unter einem gleichen Glasmaterial wird dabei im Sinne der Erfindung ein Glas der gleichen Zusammensetzung, gleicher Dicke mit gleichartiger Kantenbearbeitung verstanden. Insbesondere können dazu die Proben **1** selbst aus dem Glasartikel geschnitten werden. Alternativ können die Proben **1** aus einem zuvor oder danach in gleicher Weise wie der eigentliche, bereitzustellende Glasartikel hergestellten weiteren Glasartikel gewonnen werden. Unterscheiden sich beispielsweise die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren geprüften Kanten der Proben **1** zu der oder den Kanten des Glasartikels in ihrer Beschaffenheit, kann von den Messergebnissen der Zugfestigkeit der Proben **1** nicht mehr ohne weiteres auf die Kantenfestigkeit des Glasartikels rückgeschlossen werden.

**[0118]** Fig. 10 zeigt dazu schematisch einen Glasartikel in Form eines Glasbands **100**, welches entlang des Pfeils fortbewegt und über Rollen oder Walzen **8**, **9** geführt wird, so dass dem Glasband **100** lokal eine Biegung mit einem durch die Walzen **8**, **9** vorgegebenen Biegeradius  $R_{PT}$  aufgezwungen wird. Der Glasartikel wird vorzugsweise mit Biegungen in entgegengesetzten Biegerichtungen geprüft. Dazu sind bei dem Beispiel der Fig. 10 die Walzen **8**, **9** oberhalb und unterhalb des Glasbands **100** angeordnet, so dass das Glasband mit jeder der beiden Seitenflächen **10**, **11** um eine der Walzen **8**, **9** gebogen wird.

**[0119]** Um gewährleisten zu können, dass der gesamte vorzugsweise sehr großflächige und langgestreckte Glasartikel in Form eines Glasbands der Biegespannung mit einem Biegeradius im Bereich von  $R_{min}$  bis  $R_{max}$  widersteht, werden dessen Längskanten gemäß einer Weiterbildung entlang zumindest  $\frac{3}{4}$  ihrer gesamten Länge, vorzugsweise entlang deren gesamten Länge mindestens mit dem Biegeradius  $R_{PT}$  gebogen.

**[0120]** Wie bereits erwähnt, kann zur Ermittlung der Größen  $\langle R \rangle$  (Mittelwert des Biegeradius beim Bruch) und  $s$  (Varianz der Biegeradien beim Bruch) eine bereinigte Stichprobe verwendet werden, indem die Biegeradien

oder Zugspannungen beim Bruch von mindestens zwanzig Proben und Umrechnung mit Gleichung (7) ermittelt und die größten und kleinsten Werte, vorzugsweise 10% der größten und kleinsten Werte von Biegeradius oder Zugspannung verworfen und Mittelwert und Varianz mit den verbleibenden Werten berechnet werden.

**[0121]** Mit der vorstehend beschriebenen Ausführungsform der Erfindung ist nun ein scheibenförmiger Glasartikel mit garantierter oder vorbestimmter Bruchfestigkeit unter einer Biegebelastung mit vorbestimmtem Biegeradius herstellbar, wobei dessen Kante, beziehungsweise zumindest eine Kante des Glasartikels entlang deren gesamter Kantenlänge einer Biegebelastung mit einem Biegeradius  $R_{PT}$  standhält, wobei der Biegeradius entsprechend den oben angegebenen Gleichungen i), ii) im Bereich von

$$\text{iii) } R_{\min} = \langle R \rangle \cdot \left\{ 1 + \exp\left(\frac{s}{\langle R \rangle \cdot 0,053} - 2,9\right) \right\} \text{ bis}$$

$$\text{iv) } R_{\max} = \langle R \rangle \cdot \left\{ 3,5 + \exp\left(\frac{s}{\langle R \rangle \cdot 0,051} - 2,3\right) \right\}$$

liegt, wobei  $\langle R \rangle$  den Mittelwert und

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (R_i - \langle R \rangle)^2}$$

die Varianz der Biegeradien beim Bruch einer Mehrzahl von N Proben aus dem gleichen Glasmaterial wie das Glasmaterial des Glasartikels sind, wobei die Biegeradien  $R_i$ , bei welchen die Proben **1** jeweils brechen, vorzugsweise mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Überprüfung der Bruchfestigkeit flächiger Proben **1** aus sprödebrüchigem Material bestimmt sind.

**[0122]** Besonders bevorzugt ist der Glasartikel ein Dünnglasband mit einer Länge von mindestens 20 Metern, vorzugsweise mindestens 50 m. Vorzugsweise ist das Glasband **100** entlang der gesamten Kantenlänge von mindestens 20 Metern auf Bruchfestigkeit geprüft und es kann ein entsprechender Biegeradius gewährleistet werden, welchem das Glasband standhält.

**[0123]** Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die Erfindung nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt ist, sondern vielmehr in vielfältiger Weise variiert werden kann, wobei insbesondere auch die Merkmale der einzelnen Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden können.

#### Bezugszeichenliste

|               |                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------|
| <b>1</b>      | Probe                                           |
| <b>2, 4</b>   | Halter                                          |
| <b>5</b>      | Längsrichtung von <b>1</b>                      |
| <b>7</b>      | Klebeverbindung                                 |
| <b>10, 11</b> | Seitenfläche von <b>1</b>                       |
| <b>12, 13</b> | Längskante von <b>1</b>                         |
| <b>14</b>     | Befestigungsabschnitt von <b>2, 4</b>           |
| <b>15, 16</b> | Enden                                           |
| <b>18</b>     | Mittenlinie                                     |
| <b>20</b>     | Öse                                             |
| <b>22</b>     | Zugspannungs-Isolinie                           |
| <b>25, 26</b> | Auflageplatte                                   |
| <b>29</b>     | Vorrichtung zur Bestimmung der Kantenfestigkeit |
| <b>30</b>     | Zug-Prüfeinrichtung                             |
| <b>31</b>     | Dorn                                            |
| <b>32</b>     | pneumatische oder hydraulische Zugeinrichtung   |
| <b>34</b>     | Drucksensor                                     |
| <b>35</b>     | Betriebsfluid                                   |

|            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| <b>36</b>  | Druckquelle                          |
| <b>37</b>  | Schlitten                            |
| <b>39</b>  | Führungsschiene                      |
| <b>40</b>  | Aufzeichnungseinrichtung             |
| <b>42</b>  | Schalter                             |
| <b>100</b> | Glasband                             |
| <b>103</b> | Glasrolle                            |
| <b>104</b> | Innenseite <b>104</b> von <b>103</b> |
| <b>107</b> | Bahnmaterial                         |

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Kantenfestigkeit von scheibenförmigen, sprödbrüchigen Materialien, bei welchem

- eine streifenförmige Probe (**1**) aus sprödbrüchigem Material bereitgestellt wird, welche zwei gegenüberliegende Seitenflächen (**10**, **11**) und zwei sich in Längsrichtung (**5**) der Probe (**1**) erstreckende Längskanten (**12**, **13**) aufweist, wobei
- jedes der beiden Enden (**15**, **16**) der streifenförmigen Probe (**1**) mit einem Halter (**2**, **4**) verbunden und
- die beiden Halter (**2**, **4**) auseinandergezogen werden, so dass die streifenförmige Probe (**1**) unter eine in deren Längsrichtung (**5**) verlaufende Zugspannung versetzt wird, wobei
- die Zugkraft asymmetrisch bezüglich der zwischen den beiden Längskanten (**12**, **13**) verlaufenden Mittenlinie (**18**) der Probe (**1**) eingeleitet wird, so dass auf eine der Längskanten (**12**) eine höhere Zugkraft ausgeübt wird, als auf die gegenüberliegende Längskante (**13**), und wobei
- die Zugkraft erhöht wird, bis die Probe (**1**) auseinanderreißt, und
- die Zugkraft beim Reißen der Probe (**1**) aufgezeichnet wird.

2. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halter (**2**, **4**) so auf der Probe **1** befestigt werden, dass Krafteinleitungseinrichtungen der Halter (**2**, **4**) gegenüber der Mittenlinie (**18**) der streifenförmigen Probe (**1**) zu einer der Kanten (**12**, **13**) der Probe (**1**) hin versetzt sind.

3. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halter (**2**, **4**) mit der Probe (**1**) mittels einer Klebeverbindung (**7**) verbunden werden.

4. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halter (**2**, **4**) einseitig auf einer der Seitenflächen (**10**, **11**) der Probe (**1**) befestigt werden.

5. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einer der Halter (**2**, **4**) mit der Probe **1** flächig verbunden wird, wobei die Befestigungsfläche eine Breite aufweist, welche sich über mindestens 3/4, vorzugsweise mindestens 5/6 der Breite der Probe (**1**) erstreckt.

6. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halter (**2**, **4**) so auf der Probe **1** flächig befestigt werden, dass die Befestigungsfläche zur Längskante (**12**), auf welche die höhere Zugkraft ausgeübt wird, beabstandet ist.

7. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Proben (**1**) gleichzeitig auseinandergezogen werden, wobei die Zugkraft zum Auseinanderziehen pneumatisch oder hydraulisch mit einem gemeinsamen, druckbeaufschlagten Betriebsfluid (**35**) erzeugt wird.

8. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Probe (**1**) verwendet wird, deren Länge mindestens doppelt so groß ist, wie deren Breite.

9. Verfahren zur Herstellung eines scheibenförmigen Glasartikels, wobei mit Proben eines solchen Glasartikels die Kantenfestigkeit mit dem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche überprüft, anhand der Kantenfestigkeit ein minimaler Biegeradius bestimmt und ein weiterer Glasartikel, welcher vorzugsweise gleichartig zu dem Glasartikel ist, aus welchem die Proben gewonnen wurden, gebogen wird, wobei der Biegeradius den ermittelten minimalen Biegeradius nicht überschreitet.

10. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, wobei als Glasartikel ein Glasband hergestellt wird, und wobei das Glasband nach dessen Herstellung zu einer Rolle aufgerollt wird, wobei der Biegeradius des Glasbands an der Innenseite der Rolle den minimalen Biegeradius nicht überschreitet.

11. Verfahren zur Bereitstellung eines scheibenförmigen Glasartikels mit hoher Bruchfestigkeit, bei welchem
- mittels eines Verfahrens gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, an einer Mehrzahl von Proben **1** ausgewertet wird, bei welcher Zugspannung die Proben **1** jeweils gebrochen sind,
  - aus diesen Werten der Mittelwert  $\langle R \rangle$  der Biegeradien  $R_i$ , welche der Zugspannung entsprechen, bei welchen die Proben (**10**) jeweils gebrochen sind, sowie mit dem Mittelwert  $\langle R \rangle$
  - die Varianz  $s$  gemäß

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (R_i - \langle R \rangle)^2}$$

berechnet wird, und wobei dann

- ein Glasartikel aus dem gleichen Glasmaterial, wie die Proben (**1**), vorzugsweise ein Glasband (**100**) gebogen wird, um zu prüfen, ob der Glasartikel einem Biegeradius  $R_{PT}$  oder einer korrespondierenden Zugspannung standhält, wobei
- der Biegeradius  $R_{PT}$  so gewählt wird, dass dieser im Bereich der von der relativen Varianz  $s/\langle R \rangle$  abhängigen Radien  $R_{min}$  bis  $R_{max}$  liegt, wobei
- die Radien  $R_{min}$  und  $R_{max}$  gegeben sind durch

$$\frac{R_{min}}{\langle R \rangle} = 1 + \exp\left(\frac{s}{\langle R \rangle \cdot 0,053} - 2,9\right), \quad \text{und}$$

$$\frac{R_{max}}{\langle R \rangle} = 3,5 + \exp\left(\frac{s}{\langle R \rangle \cdot 0,051} - 2,3\right).$$

12. Verwendung des Verfahrens gemäß einem der vorstehenden Ansprüche zur Herstellung eines scheibenförmigen Glasartikels mit vorbestimmter Bruchfestigkeit unter einer Biegebelastung mit vorbestimmtem Biegeradius, wobei zumindest eine Kante des Glasartikels entlang deren gesamter Kantenlänge einer Biegebelastung mit einem Biegeradius  $R_{PT}$  standhält, wobei der Biegeradius im Bereich von

$$R_{min} = \langle R \rangle \cdot \left\{ 1 + \exp\left(\frac{s}{\langle R \rangle \cdot 0,053} - 2,9\right) \right\} \quad \text{bis}$$

$$R_{max} = \langle R \rangle \cdot \left\{ 3,5 + \exp\left(\frac{s}{\langle R \rangle \cdot 0,051} - 2,3\right) \right\}$$

liegt, wobei  $\langle R \rangle$  den Mittelwert und

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (R_i - \langle R \rangle)^2}$$

die Varianz der Biegeradien beim Bruch einer Mehrzahl  $N$  von Proben (**1**) aus dem gleichen Glasmaterial wie das Glasmaterial des Glasartikels sind, wobei die Biegeradien  $R_i$ , bei welchen die Proben (**1**) jeweils brechen, mittels eines Verfahrens zur Überprüfung der Bruchfestigkeit flächiger Proben (**1**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 bestimmt sind.

13. Verwendung gemäß dem vorstehenden Anspruch zur Herstellung eines Dünnglasbands (**100**) mit einer Länge von mindestens 20 Metern.

14. Vorrichtung (**29**) zur Bestimmung der Kantenfestigkeit von scheibenförmigen, sprödebrüchigen Materialien, umfassend
- zwei beabstandete Halter (**2**, **4**) zur Befestigung der Enden einer streifenförmigen Probe (**1**) aus sprödebrüchigem Material, sowie

- eine Zug-Prüfeinrichtung (30), welche eingerichtet ist, auf einen der Halter (2, 4) eine Zugkraft auszuüben, so dass die Zugkraft in Längsrichtung einer an den Haltern (2, 4) befestigten streifenförmigen Probe (1) eingeleitet wird, wobei
- die Zug-Prüfeinrichtung (30) weiter eingerichtet ist, die Zugkraft sukzessive zu erhöhen und den Momentanwert der Zugkraft oder einer zur Zugkraft korrespondierenden Größe anzuzeigen oder aufzuzeichnen, wenn die Probe unter der ausgeübten Zugkraft reißt, und wobei die Halter (2, 4)
- Krafteinleitungseinrichtungen aufweisen, um die Zugkraft der Zug-Prüfeinrichtung (30) auf die Halter (2, 4) zu übertragen, wobei
- die Krafteinleitungseinrichtungen senkrecht zur Zugrichtung gesehen seitlich versetzt zur Mitte von Befestigungsabschnitten (13) der Halter (2, 4) angeordnet sind, so dass die Zugkraft auf die Längskanten einer an den Haltern (2, 4) befestigten Probe (1) unterschiedlich ist.

15. Vorrichtung gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zug-Prüfeinrichtung (30) eine pneumatische oder hydraulische Zugeinrichtung (32) umfasst.

16. Vorrichtung gemäß dem vorstehenden Anspruch, weiter umfassend einen Drucksensor (34) zur Aufzeichnung des Drucks des Betriebsfluids (35) der pneumatischen oder hydraulischen Zugeinrichtung (32).

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

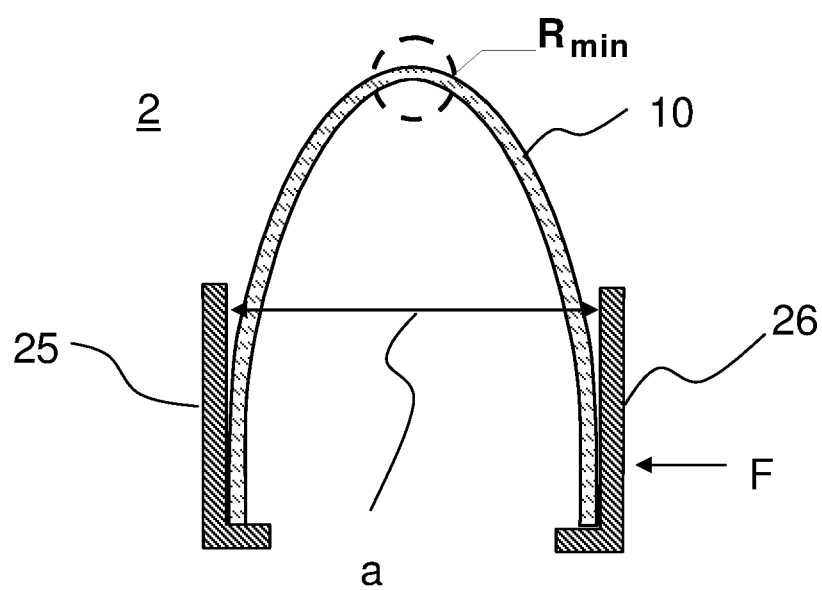


Fig. 1

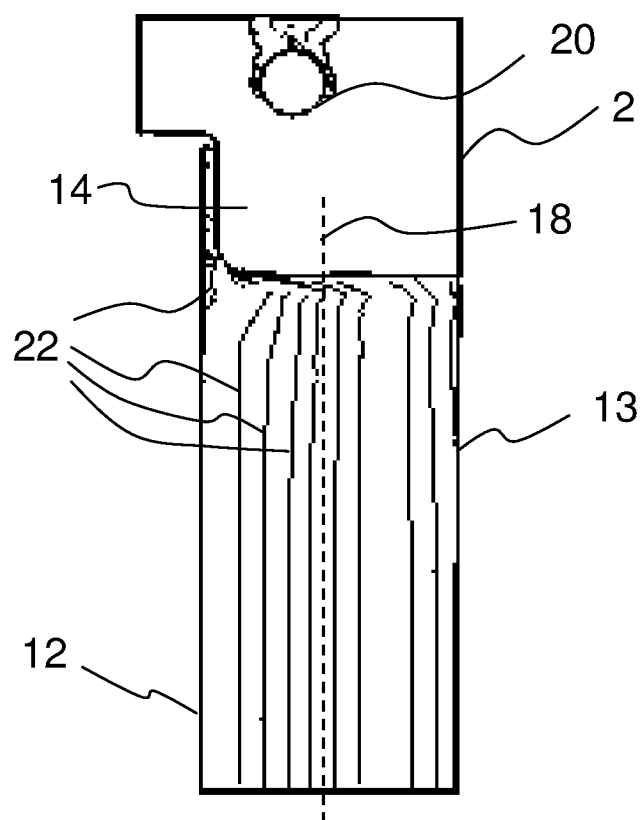


Fig. 4

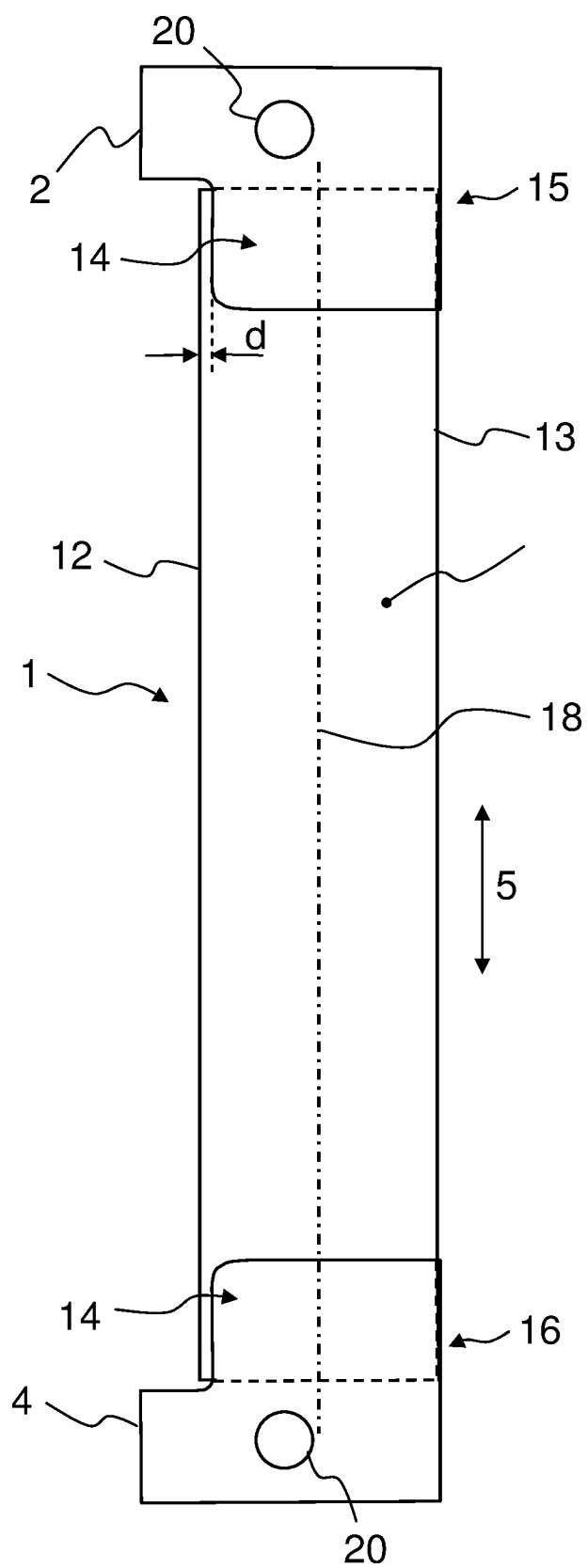


Fig. 2

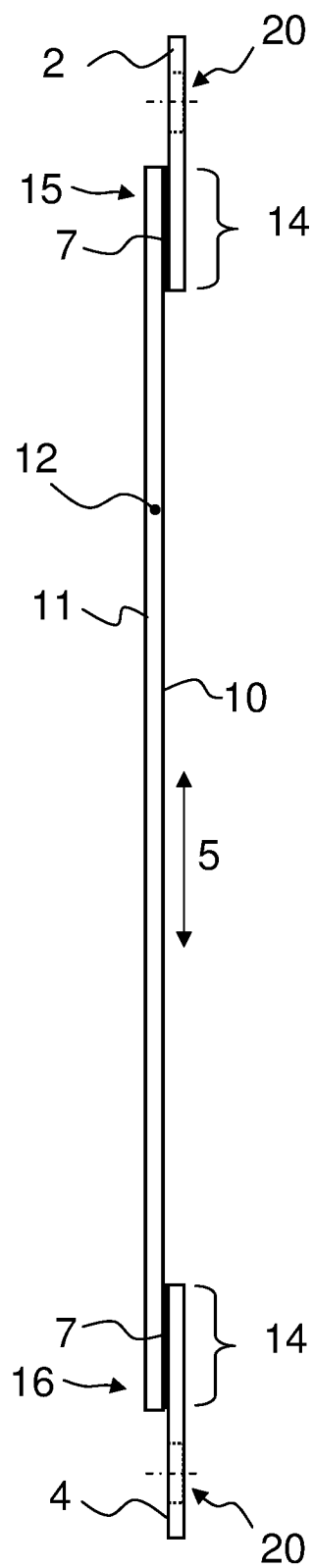


Fig. 3

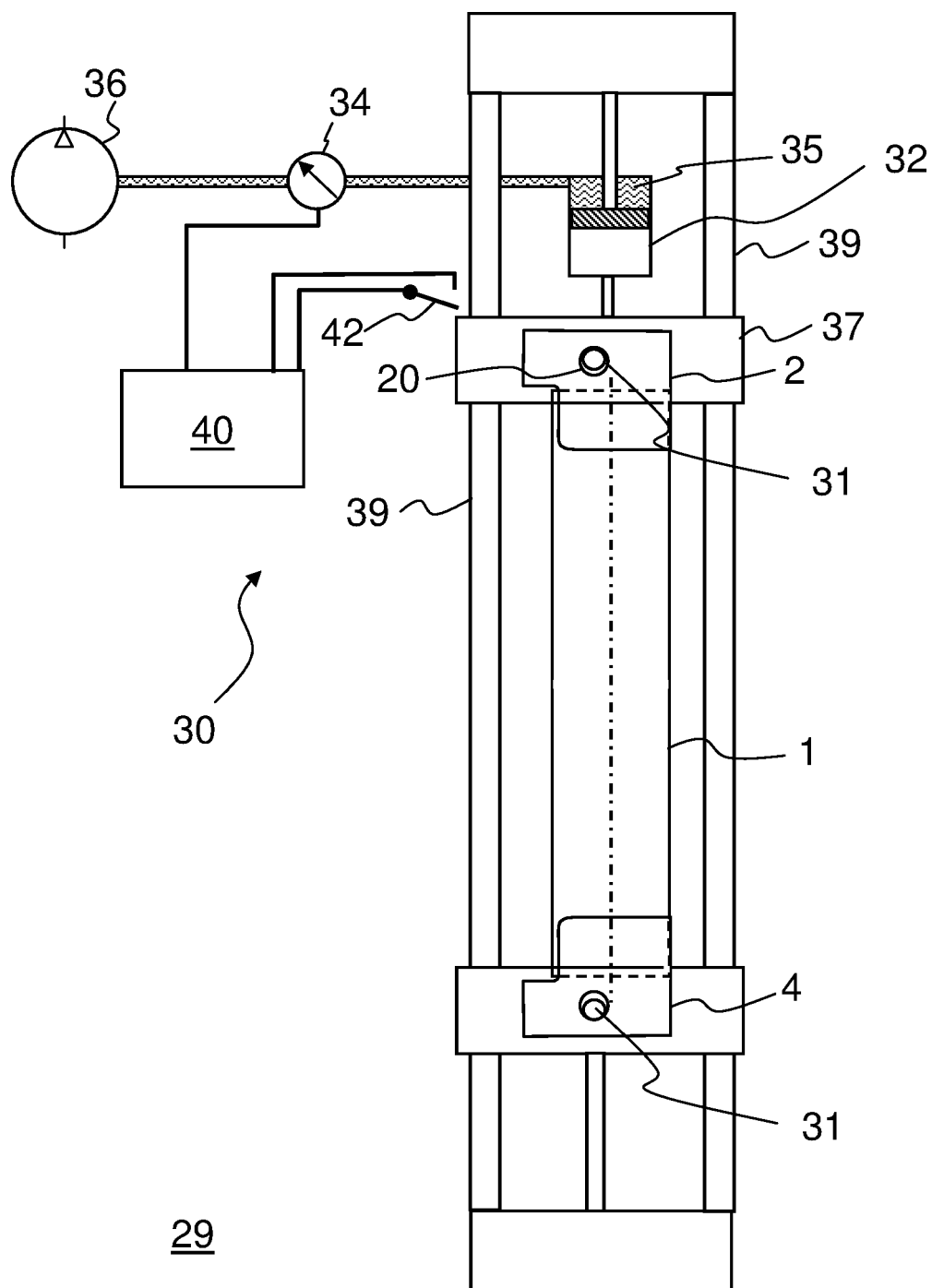


Fig. 5



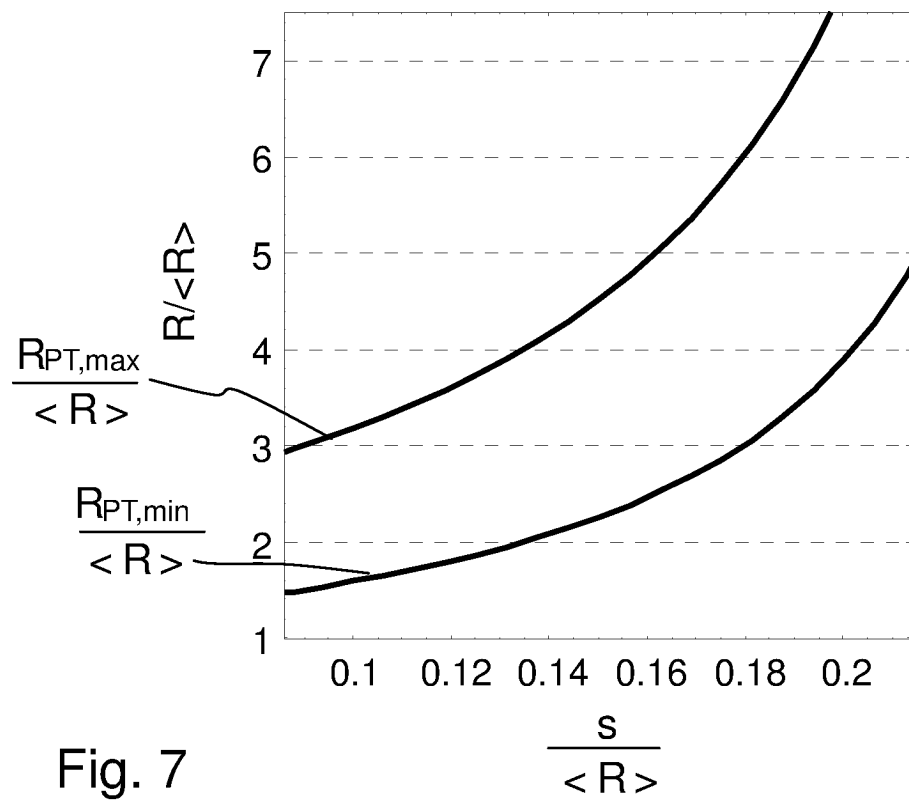


Fig. 7

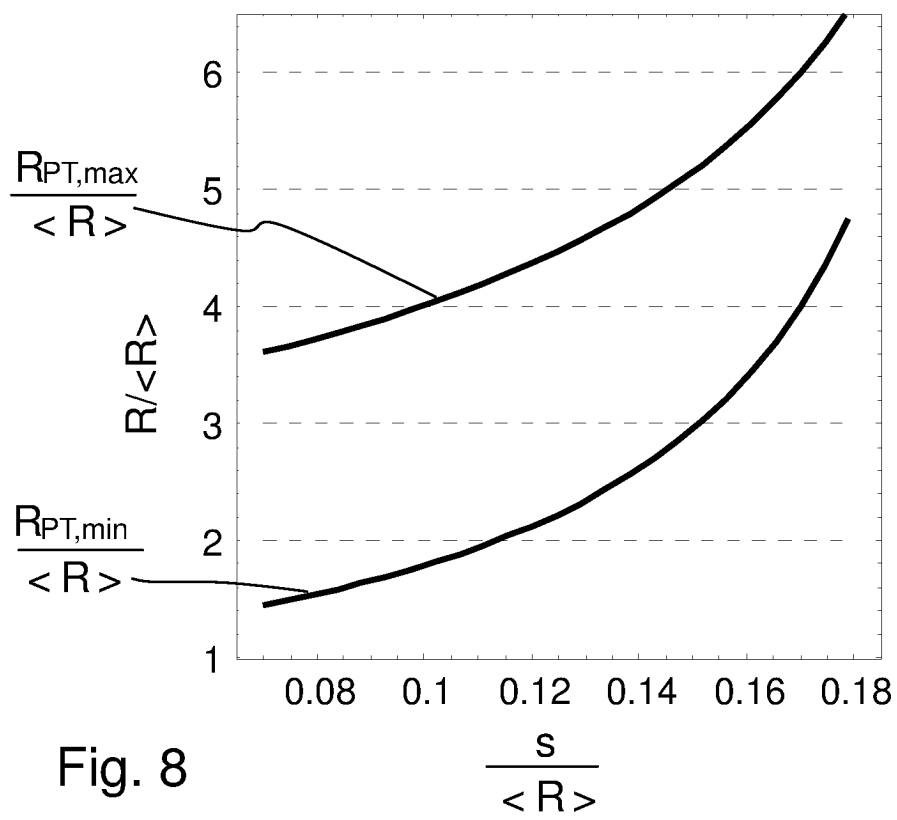


Fig. 8

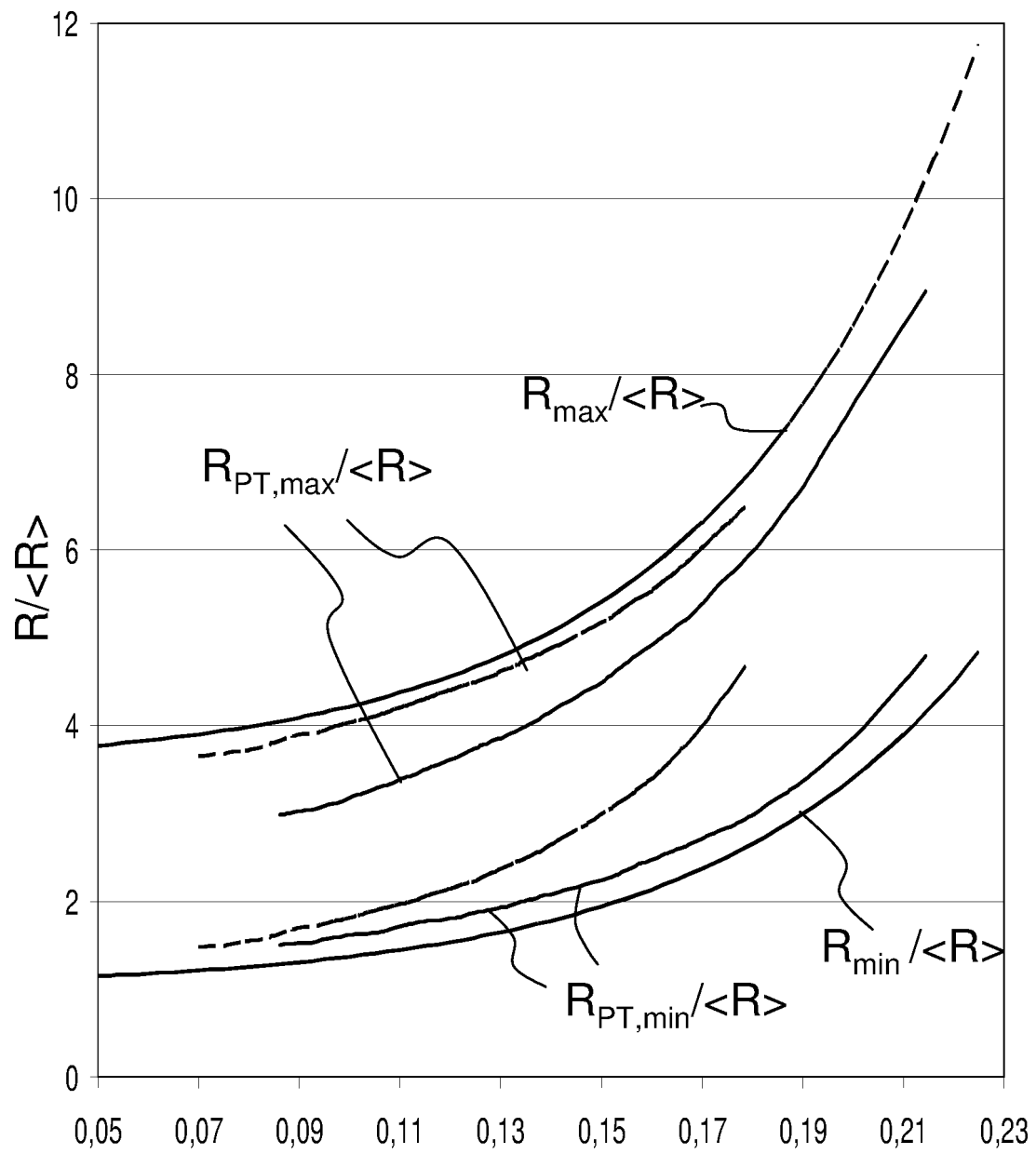


Fig. 9

Fig. 6

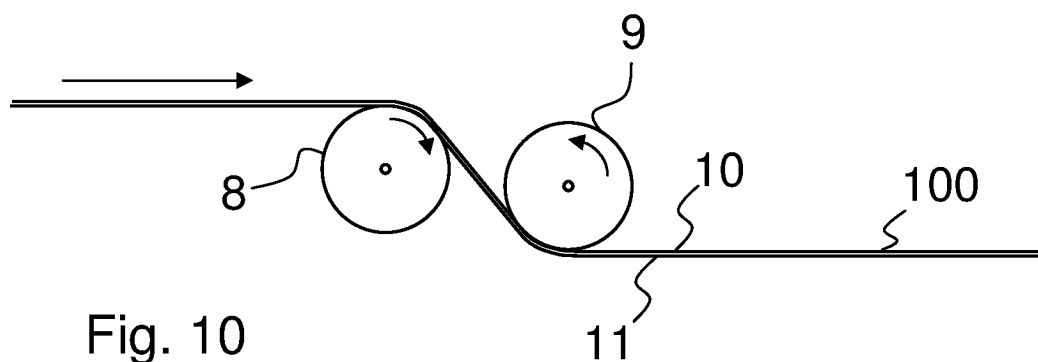
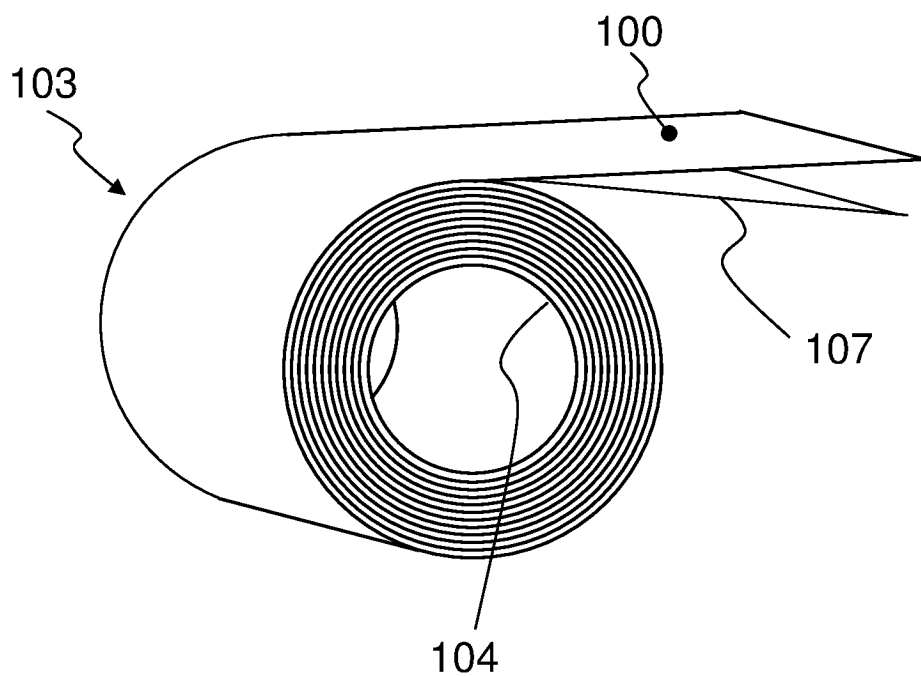


Fig. 10