

SCHOTT Technical Glass  
Solutions GmbH  
Otto-Schott-Strasse 13  
07745 Jena  
Germany  
Phone +49 (0)3641/681-4686  
Fax +49 (0)3641/2888-9241  
info.borofloat@schott.com  
www.schott.com/borofloat/sightglass

**SCHOTT**  
glass made of ideas

**BOROFLOAT® 33  
& Schaugläser:  
Die Verbindung  
von Inspiration &  
Qualität**

White Paper



# BOROFLOAT® 33 & Schaugläser: Die Verbindung von Inspiration & Qualität

Die Anforderungen an Schaugläser, mit deren Hilfe man zum Beispiel chemische Reaktionen in industriellen Reaktoren überwachen kann, sind außerordentlich hoch. Weil sie hohen Temperaturen, chemischen Belastungen und hohen Drücken ausgesetzt sind, ist es sehr wichtig, das richtige Material zu wählen, damit unter diesen rauen Bedingungen die Sicherheit gewährleistet bleibt. In einer derartigen Umgebung fühlt sich BOROFLOAT® erst richtig zuhause.

## 1. Einleitung

Das Borosilicatglas BOROFLOAT® 33 kann in vielen Anwendungen als Schauglas oder Sichtfenster eingesetzt werden, etwa in der chemischen, biotechnischen, pharmazeutischen, Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie, auf Bohrseln, in Kernkraftwerken, Bergwerken, in der Elektronik und vielen anderen Produktionsstätten. BOROFLOAT® 33 ist vor allem aufgrund seiner sehr hohen Beständigkeit gegenüber Chemikalien und seiner hervorragenden thermischen Widerstandsfähigkeit, die einen Einsatz bei hohen Temperaturen erlauben, so gut für diese Anwendungen geeignet. Die chemische Zusammensetzung des Borosilicatglases BOROFLOAT® 33 entspricht der Norm DIN ISO 3585 bzw. EN 1748 T1. In bestimmten Fällen kann das Borosilicatglas BOROFLOAT® 33 thermisch vorgespannt werden, damit es noch höheren Drücken standhält. Entsprechend den verbreiteten internationalen Normen\* werden wir in dieser Veröffentlichung Möglichkeiten vorstellen, wie die Dicke des Schauglases bei einer vorgegebenen mechanischen und/oder thermischen Belastung und die mechanischen und/oder thermischen Belastungsgrenzen für eine bestimmte Glasdicke berechnet werden können. Außerdem werden wir Beispielrechnungen und Druckdiagramme vorstellen, aus denen man leicht konkrete Werte entnehmen kann.

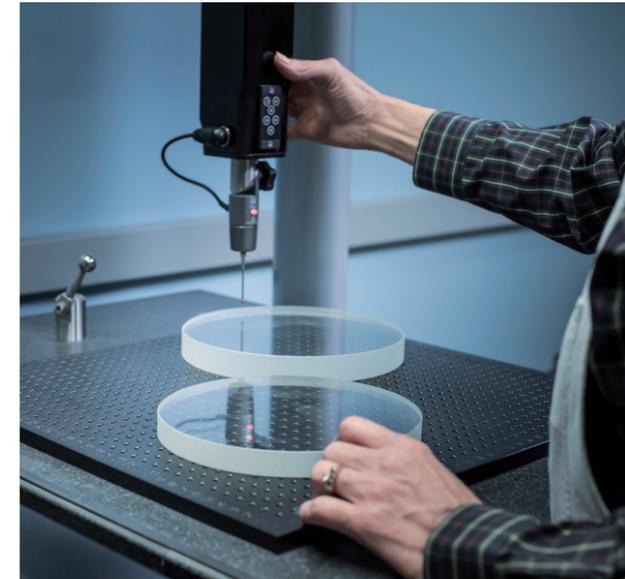
## 2. Mechanische und thermische Belastungen

Aus Sicherheitsgründen müssen die Dicke und die Größe eines Schauglases passend zur erwartenden Druckbelastung bestimmt werden. Auch die thermischen Belastungen müssen berücksichtigt werden, denn sie verringern bei einem bestimmten Druck die höchstmögliche mechanische Belastung. Die höchstzulässige Belastung kann bestimmt werden, indem man die mechanischen und thermischen Belastungen, die auf das Schauglas wirken, miteinander in Beziehung setzt:

$$S > \sigma_{\text{mech}} + \sigma_{\text{therm}}$$

$S$  Bauteilfestigkeit von BOROFLOAT®-Borosilicatglas  
 $\sigma_{\text{mech}}$  mechanische Belastung  
 $\sigma_{\text{therm}}$  thermische Belastung

\* Dieser Artikel muss in Verbindung mit den genannten Normen gesehen werden. Der Leser muss sich auf diese Normen beziehen und sich an sie halten. Auch die Auslegung der Befestigung, die Eigenschaften des Dichtungsmaterials und die Vorgehensweise beim Zusammenbauen müssen berücksichtigt werden, auch wenn sie hier nicht besprochen werden. Für diesen Artikel gilt folgender Haftungsausschluss: SCHOTT Technical Glass Solutions GmbH liefert BOROFLOAT® 33 Borosilicatglas nur in Form roher Platten bzw. als kantenbearbeiteten Zuschnitt. Die Endbearbeitung des Glases wird nach den Spezifikationen des Kunden von anderen Firmen übernommen. Diese Endbearbeitung hat in Verbindung mit einer eventuell angewandten Festigkeitssteigerung einen deutlichen Einfluss auf die Temperaturschockbeständigkeit und die mechanischen Eigenschaften und dadurch auf den Höchstdruck, der auf das Glas wirken darf. Daher können nur Sie letztverantwortlich entscheiden, ob unser Produkt und alle Produktspezifikationen oder Anforderungen für Ihre spezifische Anwendung geeignet sind. SCHOTT übernimmt keine Verantwortung oder Haftung und gibt keine Garantie hinsichtlich aller Vorschläge, Hinweise oder Information, die im Zusammenhang mit der Verwendung von Schaugläsern stehen, und gibt keine Gewähr für die Angaben in dieser Veröffentlichung.



## 2.1 Mechanische Belastung

Die **mechanische Belastung** eines runden Schauglases kann mithilfe der folgenden Gleichung bestimmt werden [3]:

Rundes Schauglas

$$\sigma_{\text{mech}} = \frac{3D^2p}{32t^2} \cdot (3+\mu)$$

D	Durchmesser des nicht unterstützten Bereichs
t	Schauglasdicke
p	anliegender Druck
$\mu$	Poisson-Zahl

Wobei für das Borosilicatglas BOROFLOAT® 33  $\mu = 0,2$  gilt, und sich Gleichung (2) damit zu

$$\sigma_{\text{mech}} = 0,3 \frac{D^2p}{t^2}$$

vereinfacht.

SCHOTT Technical Glass Solutions GmbH liefert BOROFLOAT® 33 Borosilicatglas nur in Form roher Platten bzw. als kantenbearbeiteten Zuschnitt. Die Endbearbeitung des Glases wird nach den Spezifikationen des Kunden von anderen Firmen übernommen. Diese Endbearbeitung hat in Verbindung mit einer eventuell angewandten Festigkeitssteigerung einen deutlichen Einfluss auf die Temperaturschockbeständigkeit und die mechanischen Eigenschaften und dadurch auf den Höchstdruck, der auf das Glas wirken darf. Daher können nur Sie letztverantwortlich entscheiden, ob unser Produkt und alle Produktspezifikationen oder Anforderungen für Ihre spezifische Anwendung geeignet sind. SCHOTT übernimmt keine Verantwortung oder Haftung und gibt keine Garantie hinsichtlich aller Vorschläge, Hinweise oder Information, die im Zusammenhang mit der Verwendung von Schaugläsern stehen, und gibt keine Gewähr für die Angaben in dieser Veröffentlichung.

Die **mechanische Belastung** an einem rechteckigen Schauglas kann mithilfe folgender Gleichung berechnet werden [3]:

$$\sigma_{\text{mech}} = \frac{0,75 \cdot pb^2}{t^2 \cdot \left(1 + 1,61 \frac{b^3}{a^3}\right)}$$

a	Länge der nicht unterstützten Fläche (lange Seite)
b	Breite der nicht unterstützten Fläche (kurze Seite)
p	anliegender Druck

**Beachten Sie:**  
Gleichung 4 hängt mit der Poisson-Zahl zusammen. Deren Wert wird darin mit  $\mu=0,3$  angenommen, sodass die Werte für die mechanische Belastung des Borosilicatglases BOROFLOAT® etwas höher erscheinen, als sie aufgrund des tatsächlichen Wertes von  $\mu=0,2$  sein sollten. Eine genauere Formel für die Berechnung der mechanischen Belastung  $\sigma_{\text{mech}}$  finden Sie in Anhang 1.

Oft wird für Schauglasberechnungen die britische Norm BS3463 „Observation and gauge glasses for pressure vessels“ (dt. Sicht- und Schaugläser für Druckbehälter) [1] verwendet. Sie nennt empfohlene maximale Arbeitstemperaturen, Temperaturdifferenzen und Drücke und gilt nur für runde Schaugläser mit feststehenden Abmessungen.

Eine weitere vielverwendete technische Regel ist das AD 2000-Merkblatt N4: „Druckbehälter aus Glas“, veröffentlicht durch den deutschen TÜV (VdTÜVstandards) [2]. Diese technische Regel betrachtet, wie weiter unten beschrieben wird, mechanische und thermische Belastungen. Anhang 3 zeigt Druckdiagramme, die sich ergeben, wenn man die Berechnungen aus diesem Merkblatt auf unvorgespanntes und vorgespanntes BOROFLOAT® 33 Borosilicatglas anwendet.

## 2.2 Thermische Belastung

Um die **thermische Belastung** eines Schauglases bestimmen zu können, muss – im Falle starker Temperaturgradienten – die exakte Temperaturverteilung über die gesamte Oberfläche des Schauglases bekannt sein. Leider stehen diese Daten nicht immer zur Verfügung. Jedoch kann mithilfe folgender Gleichung eine vereinfachte Berechnung durchgeführt werden [2]:

$$\sigma_{\text{therm}} = \frac{\alpha \cdot E \cdot \Delta T}{2(1-\mu)}$$

$\alpha$	thermischer Ausdehnungskoeffizient (CTE)
$E$	Elastizitätsmodul
$\Delta T$	maximaler Temperaturgradient am Schauglas
$\mu$	Poisson-Zahl

Mit  $\alpha=3,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ,  $E=63 \text{ GPa}$  und  $\mu=0,2$  für BOROFLOAT® 33 Borosilicatglas vereinfacht sich Gleichung (5) zu:

$$\sigma_{\text{therm}} = 0,13 \cdot \Delta T$$

wobei  $\Delta T$  in Kelvin und  $\sigma_{\text{therm}}$  in MPa angegeben sind.

Der Vorteil von Gleichung (6) ist ihre Einfachheit. Trotzdem ist für einige Anwendungen die tatsächliche thermische Belastung geringer als der Wert, den die Gleichung liefert. Abgesehen davon summieren sich die mechanische und die thermische Belastung nicht immer wie in Gleichung (1), weil die Lage ihrer jeweiligen Maxima nicht übereinstimmen. Eine praxisbezogenere Berechnung der Verbindung von mechanischer und thermischer Belastung erfordert ein gründliches Wissen der räumlichen Temperaturverteilung zu allen Zeiten und eine numerische Auswertung. Dies geht jedoch über das Ziel dieser Veröffentlichung hinaus.

Die Summe von mechanischer und thermischer Belastung muss, wie in Gleichung (1) angegeben, durch die **Festigkeit des Schauglases** ausgeglichen werden, damit es nicht zum Bruch kommt. Werte für die Bauteilfestigkeit findet man in der britischen Norm BS3463 [1] oder im AD 2000-Merkblatt N4 [2]. Diese beiden Normen legen jeweils Festigkeiten von 7 MPa und 6 MPa fest. In dieser Veröffentlichung wird der geringere Wert von 6 MPa verwendet.

Beachten Sie:

Die Festigkeit  $S$  ermöglicht die Verwendung unter harten Einsatzbedingungen, bei denen es zu einer mechanischen Abnutzung der Glasoberfläche kommt und über lange Zeit ein hoher Druck einwirkt. Im Gegensatz dazu wirken sich geringere Drücke weniger kritisch aus. Unter geringeren Belastungen – vor allem, wenn hohe Drücke nur kurzzeitig auftreten – kann die Festigkeit bei höheren Werten als 6 MPa liegen. Wie man die Festigkeit in diesem Fall berechnet, wird in Anhang 2 gezeigt.

Wenn die Festigkeit von 6 MPa nicht ausreicht, um die mechanische und thermische Belastung auszugleichen, kann die Festigkeit  $S$  eventuell entsprechend Gleichung (7) durch eine thermische Vorspannung  $S_{\text{hs}}$  des Schauglases erhöht werden. Es ergibt sich dann eine Gesamtfestigkeit  $S_{\text{total}}$  von:

$$S_{\text{total}} = S + S_{\text{hs}}$$

Wie stark die Vorspannung ist, hängt von der Leistungsfähigkeit der dazu eingesetzten Anlagen, dem angewendeten Temperatur-Zeit-Profil und vor allem bei Gläsern mit einer geringen thermischen Ausdehnung davon ab, wie schnell sie sich während der Abschreckung abkühlen lassen. Um genauere Details und eine Bestätigung der maßgeblichen Vorspannung zu erfahren, sollte der Hersteller des vorgespannten Glases konsultiert werden.

Als Leitfaden für die Berechnung von Schaugläsern werden in Anlehnung an das AD 2000-Merkblatt N4 des VdTÜV im Folgenden typische **Beispiele** gezeigt:

- Beispiel (1): mechanische Belastung, rundes Schauglas, der Maximaldruck soll bestimmt werden
- Beispiel (2): mechanische Belastung, rechteckiges Schauglas, der Maximaldruck soll bestimmt werden
- Beispiel (3): mechanische Belastung, vorgespanntes rundes Schauglas, der Maximaldruck soll bestimmt werden
- Beispiel (4): mechanische und thermische Belastung, vorgespanntes rundes Schauglas, der Maximaldruck soll bestimmt werden

Zusätzlich zu den im Folgenden genannten Beispielen zeigt Anhang 3 Druckdiagramme für einige typische Bedingungen, die bei den unten genannten Schaugläsern bei Raumtemperatur auftreten.

- Unvorgespannte runde Schaugläser mit einer Festigkeit von 6 MPa
- Thermisch vorgespannte runde Schaugläser mit einer Festigkeit von 20 MPa ( $S_{\text{hs}}=14 \text{ MPa}$ ) und 60 MPa ( $S_{\text{hs}}=54 \text{ MPa}$ )
- Unvorgespannte quadratische Schaugläser mit einer Festigkeit von 6 MPa und 30 MPa für thermisch vorgespannte Gläser
- Rechteckige Schaugläser mit einem Seitenverhältnis von 1:1,4, bzw. 1:2 mit einer Festigkeit von 6 MPa für unvorgespannte Gläser und 30 MPa für thermisch vorgespannte Gläser

### Beispiel (1):

Im ersten Beispiel wird der maximal zulässige Druck für ein rundes unvorgespanntes BOROFLOAT® 33 Borosilicatglas bei Raumtemperatur bestimmt.

Durchmesser des nicht unterstützten Bereichs	$D = 125 \text{ mm}$
Schauglasdicke	$t = 19 \text{ mm}$
Festigkeit (maximal zulässige Belastung $\sigma_{\text{mech}}$ )	$S = 6 \text{ MPa}$

Aus Gleichung (3) – Berechnung für ein rundes Schauglas – ergibt sich der zulässige Maximaldruck von:

$$p = \sigma_{\text{mech}} \cdot \frac{t^2}{0,3 \cdot D^2}$$

In diesem Beispiel ergibt sich ein Maximaldruck von 0,45 MPa (4,5 bar). (Das gleiche Ergebnis erhält man aus dem **Druckdiagramm** in Anhang 3.)

### Bemerkung:

Wenn Sie ein Glas aus der Liste der verfügbaren Glasstärken auswählen, berücksichtigen Sie bitte auch die Angaben zu den auftretenden Dicken-toleranzen und verwenden Sie die geringstmögliche Glasdicke, um einen zusätzlichen Sicherheitsspielraum zu haben.

### Beispiel (2):

Im zweiten Beispiel wird der maximal zulässige Druck für ein rechteckiges unvorgespanntes BOROFLOAT® 33 Borosilicatglas bei Raumtemperatur bestimmt.

Länge des nicht unterstützten Bereichs	$a = 200 \text{ mm}$
Breite des nicht unterstützten Bereichs	$b = 100 \text{ mm}$
Schauglasdicke	$t = 19 \text{ mm}$
Festigkeit (maximal zulässige Belastung $\sigma_{\text{mech}}$ )	$S = 6 \text{ MPa}$

Aus Gleichung (4) – Berechnung für ein rechteckiges Schauglas – ergibt sich der zulässige Maximaldruck von:

$$p = \sigma_{\text{mech}} \cdot \frac{t^2 \cdot \left(1 + 1,61 \frac{b^3}{a^3}\right)}{0,75 \cdot b^2}$$

Wendet man diese Gleichung an, erhält man einen Maximaldruck von 0,35 MPa (3,5 bar). (Das gleiche Ergebnis erhält man aus dem **Druckdiagramm** in Anhang 3.)

### Beispiel (3):

Im dritten Beispiel wird der maximal zulässige Druck für ein rundes thermisch vorgespanntes BOROFLOAT® 33 Borosilicatglas bei Raumtemperatur bestimmt.

Durchmesser des nicht unterstützten Bereichs	$D = 125 \text{ mm}$
Schauglasdicke	$t = 19 \text{ mm}$
Festigkeit ausgelegt auf (maximal zulässige Belastung $\sigma_{\text{mech}}$ )	$S_{\text{total}} = 6 \text{ MPa} + 54 \text{ MPa} = 60 \text{ MPa}$

Aus Gleichung (8) in Beispiel 1 ergibt sich ein zulässiger Maximaldruck von 4,6 MPa (46 bar). (Das gleiche Ergebnis erhält man aus dem **Druckdiagramm** in Anhang 3.)

**Beispiel (4):**

Im vierten Beispiel wird der maximal zulässige Druck für ein rundes thermisch vorgespanntes BOROFLOAT® 33 Borosilicat-schauglas bei 260 °C bestimmt.

Durchmesser des nicht unterstützten Bereichs	D = 125 mm
Schauglasdicke	t = 19 mm
Temperatur	T = 260 °C
Temperaturdifferenz	T = 240 K (gegenüber Raumtemperatur von 20 °C)
Teilvorspannung	S <sub>hs</sub> = 54 MPa
Festigkeit ausgelegt auf (maximal zulässige Belastung $\sigma_{\text{mech}} + \sigma_{\text{therm}}$ )	S <sub>total</sub> = 6 MPa + 54 MPa = 60 MPa

Aus Gleichung (6) ergibt sich eine thermische Belastung  $\sigma_{\text{therm}} = 0,13 \cdot 240 \text{ K} = 31,2 \text{ MPa}$ . Berücksichtigt man die Gesamtfestigkeit von S<sub>total</sub> = 60 MPa und die thermische Belastung  $\sigma_{\text{therm}} = 31,2 \text{ MPa}$ , so darf die mechanische Belastung nicht über 28,8 MPa liegen.

Wenn man  $\sigma_{\text{mech}} = 28,8 \text{ MPa}$  in Gleichung (8) einsetzt, ergibt sich, dass der Maximaldruck 2,2 MPa (22 bar) beträgt.

**Literatur**

- [1] BS 3463: Observation and gauge glasses for pressure vessels  
 [2] AD 2000-Merkblatt N4: Druckbehälter aus Glas, veröffentlicht durch den deutschen TÜV (VdTÜVstandards)  
 [3] Roark, R. J.: Formulas for Stress & Strain, p. 194, McGraw Hill New York, Toronto, London, 3rd Edition 1954  
 [4] Drouven, G. (Bayer AG): Application-technical information 199/78  
 [5] G. Exner: Permissible bending stress in glass components under continuous loading. Glastechn. Ber. 56 (1983) Nr. 11, S. 299–312

**Anhang 1: mechanische Belastung in einem rechtwinkligen Schauglas – vollständige Berechnung**

Die Werte, die man aus Gleichung (4) erhält, stehen mit der Poisson-Zahl  $\mu = 0,3$  in Verbindung. Durch sie wird allerdings die mechanische Belastung in BOROFLOAT® 33 Borosilicatglas mit seiner Poisson-Zahl von  $\mu_b = 0,2$  etwas überbetont. Um den Wert der mechanischen Belastung  $\sigma_{\text{mech}}$  genauer zu berechnen, kann folgende Methode verwendet werden [4]:

**1. Schritt: Bestimmung der normalisierten Werte**

Normalisierter Druck:

$$p^* = \frac{p}{E} \cdot \left( \frac{a}{t} \right)^4 \quad (\text{A1})$$

Normalisierte Durchbiegung:

$$f^* = \frac{f}{t} \quad (\text{A2})$$

Normalisierte mechanische Belastung:

$$\sigma^* = \frac{\sigma}{E} \cdot \left( \frac{b}{t} \right)^2 \quad (\text{A3})$$

Seitenverhältnisse:

$$e = \frac{a}{b} \quad (\text{A4})$$

Wobei p der anliegende Druck, E der Elastizitätsmodul, f die Durchbiegung, t die Dicke, a und b die Länge und die Breite sind.

**2. Schritt: Bestimmung der Hilfsfaktoren**

$$A = \frac{19,45}{1+2,6 \cdot e^2 + e^4} \quad (\text{A5})$$

$$B = 5,22 \cdot \left( 1 + \frac{1}{e^2} \right)^2 \quad (\text{A6})$$

$$C = \frac{4,58}{1+1,666 \cdot \left( e^2 + \frac{1}{e^2} \right)} \quad (\text{A7})$$

$$D = 5,141 \cdot (e^2 + 0,2) \quad (\text{A8})$$

**3. Schritt: Berechnung der Durchbiegung f\***

Für die Beziehung zwischen Durchbiegung und Druck gilt folgende Gleichung:

$$p^* = Af^{*3} + Bf^* \quad (\text{A9})$$

Weil die Gleichung (9) von der dritten Potenz abhängt, werden Lösungen für die Durchbiegung meist auf numerischem Weg bestimmt.

**4. Schritt: Berechnung der Belastung  $\sigma^*$** 

Da jetzt die Durchbiegung f\* bekannt ist, kann die Belastung mithilfe folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\sigma^* = f^* \cdot (Cf^* + D) \quad (\text{A10})$$

Mithilfe von Gleichung (A3) kann aus dem normalisierten Wert  $\sigma^*$  die mechanische Belastung bestimmt werden.

**Beachten Sie:**

Diese Berechnungen gelten für Glasscheiben, die gelagert, aber nicht eingespannt sind. Bei eingespannten Gläsern ergeben sich geringere Belastungswerte. Für Letztere stehen ähnliche Formeln zur Verfügung. Jedoch sind eingespannte Gläser praktisch nur schwer zu realisieren. Deshalb und aus Sicherheitsgründen ist dieses Berechnungsschema für gelagerte Gläser zu empfehlen.

**Anhang 2: Auslegung der Festigkeit von unvorspannten Schaugläsern – vollständige Berechnung**

Die Festigkeit von Glas für Druckbehälter wird in verschiedenen Normen bestimmt, z.B. in BS 3463 oder im AD 2000-Merkblatt N4. Diese beiden Normen ergeben, dass die Festigkeit auf 7 MPa bzw. 6 MPa ausgelegt werden muss. In ihnen wird die nötige Festigkeit aus allgemein bekannten Daten für die Festigkeit von Glas abgeleitet, die durch standardisierte Labortechniken im Auslieferungszustand des Glases bestimmt werden. Zusätzlich wird ein allgemeiner Sicherheitsfaktor berücksichtigt.

Weil dieser Sicherheitsfaktor alle Anwendungen abdecken muss, ganz unabhängig davon, welche Auswirkung der einzelne Belastungszustand tatsächlich hat (Größe des Schauglases, Dauer der Höchstbelastung), können Schauglasberechnungen die Festigkeit in derartigen Fällen unterbewerten.

Ein nützliches Werkzeug, mit dem man den Sicherheitsfaktor und die Festigkeit eines Schauglases für eine bestimmte Anwendung berechnen kann, findet man in der Literatur [3]. Zu der dort vorgestellten Vorgehensweise gehören:

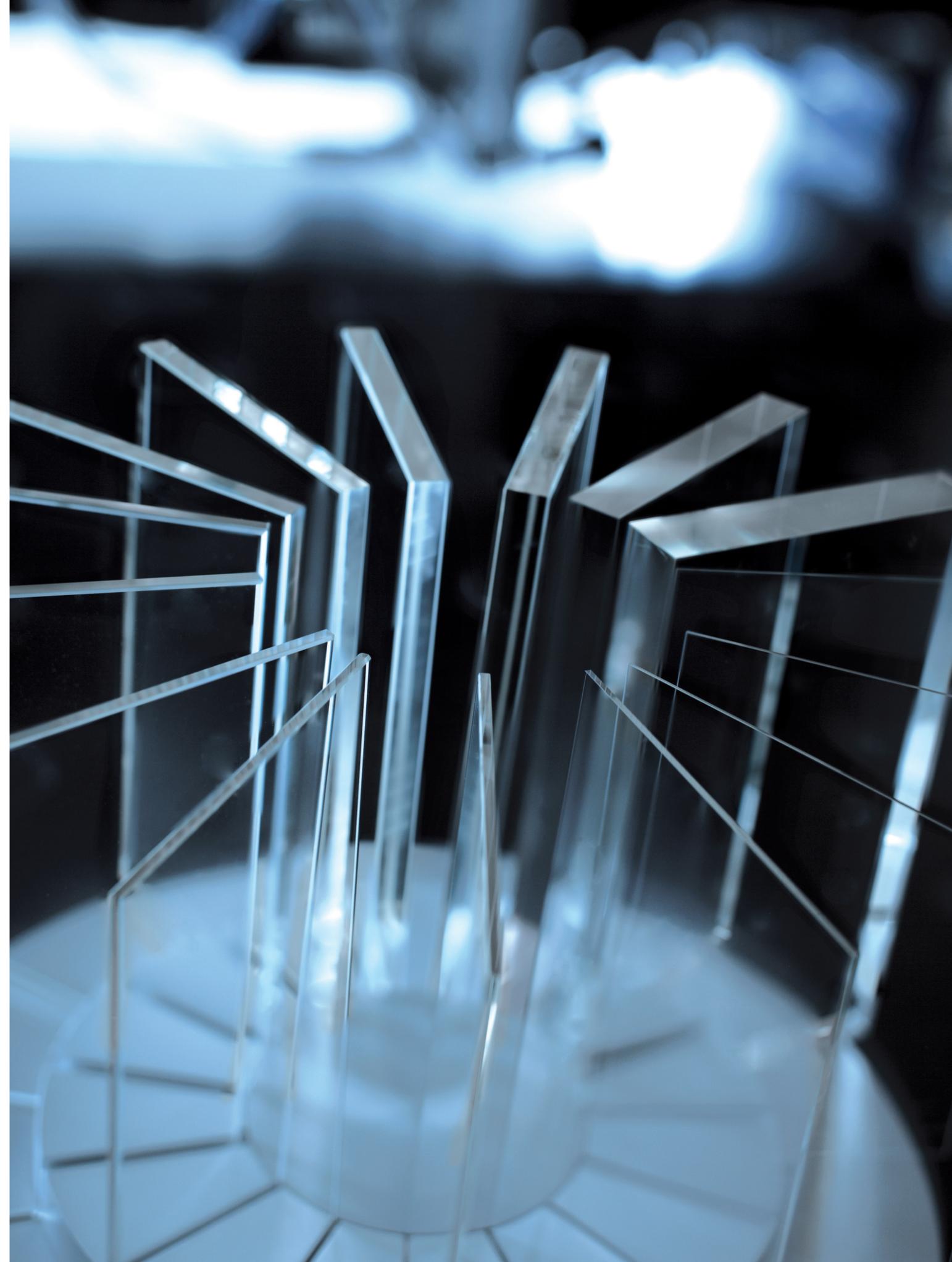
- Eine standardisierte Messung der Biegezugfestigkeit des Glases (z.B. der Ring-auf-Ring-Test nach EN 1288-5), wobei dessen Oberfläche angeraut war, um eine langzeitige Oberflächenabnutzung nachzuahmen.
- Die Auswertung der Ergebnisse mithilfe statistischer Methoden (z.B. Weibull-Statistik).
- Herleitung eines ersten Sicherheitsfaktors  $f_A$  (area factor): Dieser Flächenfaktor berücksichtigt, dass es bei größeren Abmessungen leichter zu kritischen Fehlerstellen kommt was zu einer geringeren Belastbarkeit führt.
- Herleitung eines zweiten Sicherheitsfaktors  $f_p$  (probability factor): Dieser Wahrscheinlichkeitsfaktor berücksichtigt, dass die Belastbarkeit eines Glases auch von statistisch verteilten Eigenschaften abhängt bzw. aus unvermeidbaren physikalischen Gründen eine gewisse Streuung aufweist.
- Herleitung eines dritten Sicherheitsfaktors  $f_t$  (fatigue factor): Dieser Ermüdungsfaktor berücksichtigt, dass die Belastbarkeit eines Glases zeitabhängig ist. Bei einer bestimmten Belastung steigt die Gefahr des Bruchs mit der Zeit.

Wendet man dieses Vorgehen auf das Borosilicatglas BOROFloat® 33 an, ergibt sich, dass die individualisierte Festigkeit  $S_{ind}$  nach Gleichung (A11) ausgelegt werden muss:

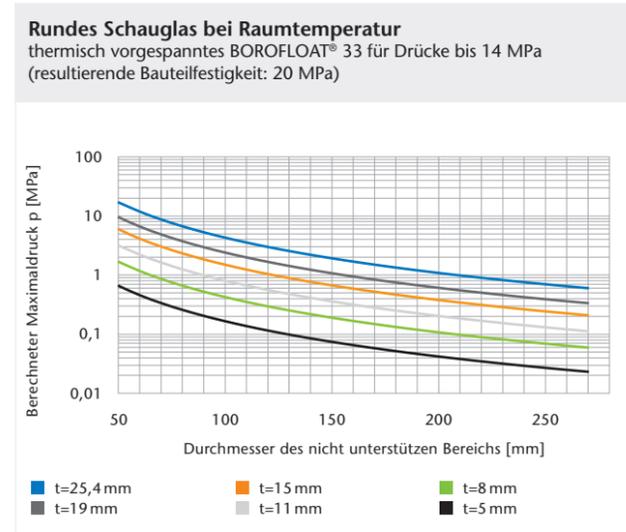
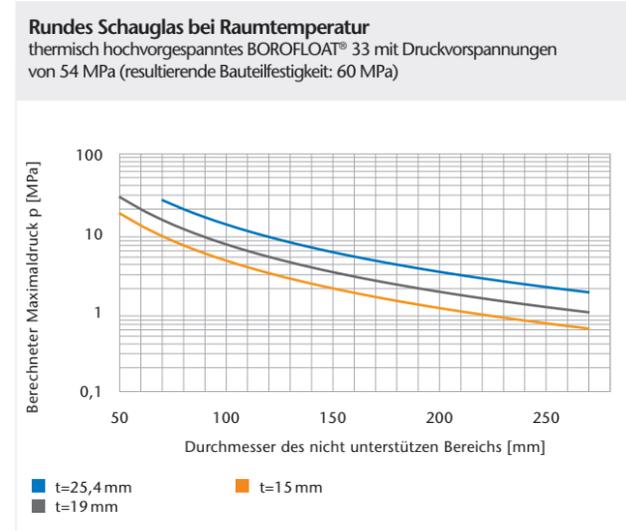
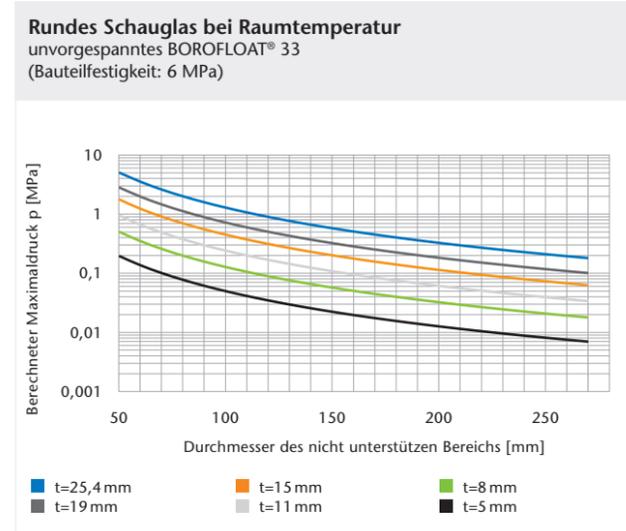
$$S_{ind} = 13,72 \cdot \left(\frac{1}{\tau}\right)^{0,0333} \left(\frac{1}{A}\right)^{0,0861} \quad (A11)$$

Wobei  $\tau$  die Dauer der Belastung bei einem Druck von 65 % bis 100 % des Maximaldrucks und  $A$  die Fläche des Schauglases in  $\text{mm}^2$  sind. Die individualisierte Festigkeit  $S_{ind}$  ergibt sich dann in MPa.

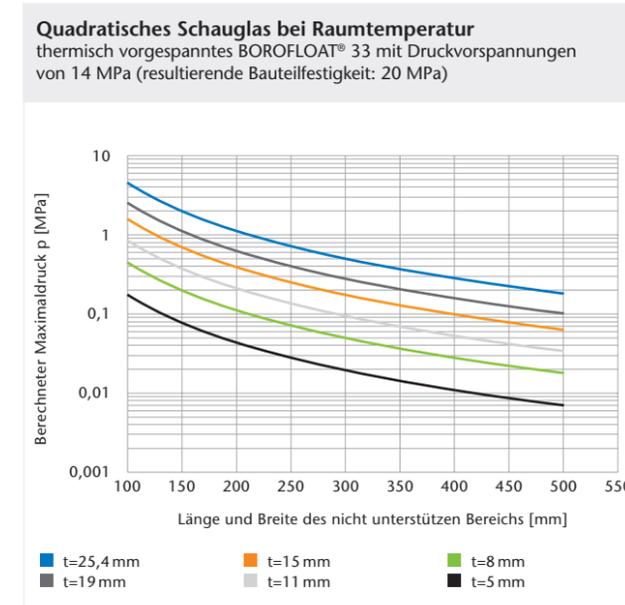
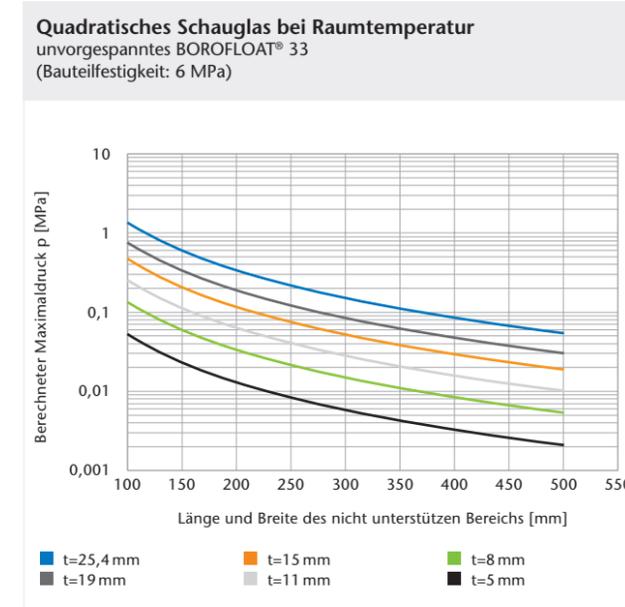
Wenn sich bei den Berechnungen ergibt, dass  $S_{ind}$  weniger als 6 MPa beträgt, sollte trotzdem eine standardisierte Festigkeit von 6 MPa verwendet werden.



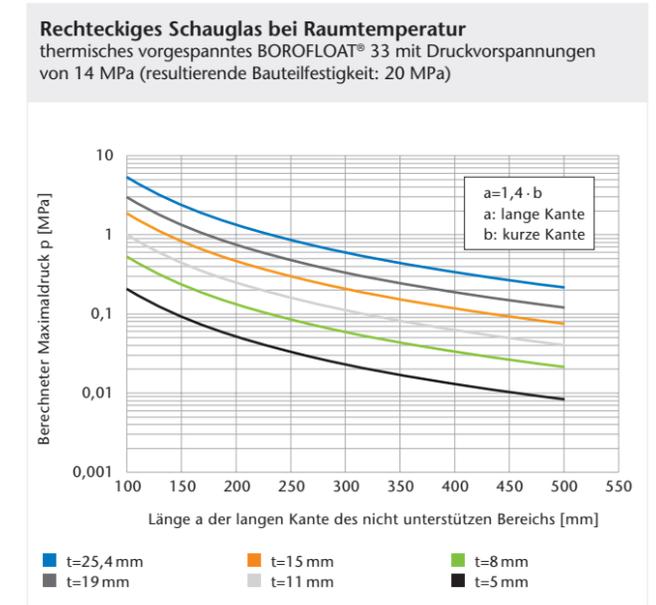
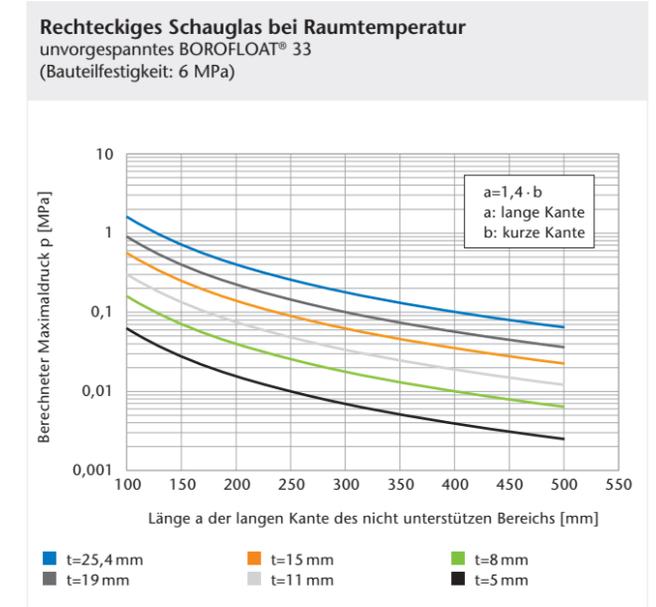
**Anhang 3:**  
**Druckdiagramme für ein rundes Schauglas**  
 (nach AD 2000-Merkblatt N4)



**Anhang 3:**  
**Druckdiagramme für ein quadratisches Schauglas**  
 (nach AD 2000-Merkblatt N4)



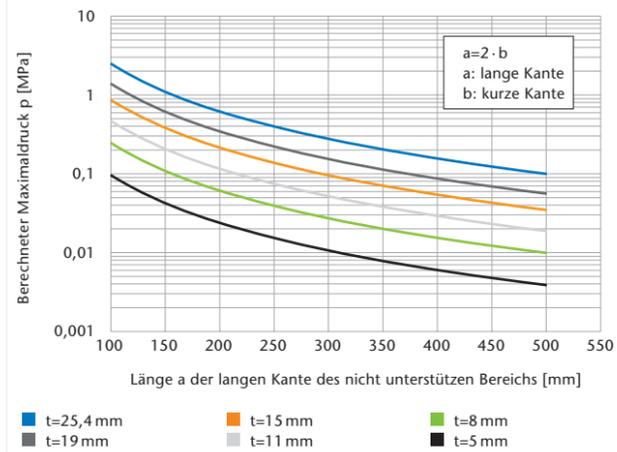
**Anhang 3: Druckdiagramme für ein rechteckiges Schauglas mit Seitenverhältnis 1,4 : 1**  
 (nach AD 2000-Merkblatt N4)



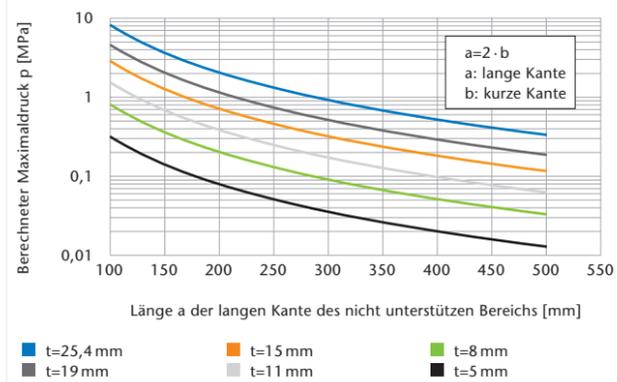
### Anhang 3: Druckdiagramme für ein rechteckiges Schauglas mit Seitenverhältnis 2 : 1

(nach AD 2000-Merkblatt N4)

#### Rechteckiges Schauglas bei Raumtemperatur unvorgespanntes BOROFLOAT® 33 (Bauteilfestigkeit: 6 MPa)



#### Rechteckiges Schauglas bei Raumtemperatur thermisch vorgespanntes BOROFLOAT® 33 mit Druckvorspannungen von 14 MPa (resultierende Bauteilfestigkeit: 20 MPa)



\* Dieser Artikel muss in Verbindung mit den genannten Normen gesehen werden. Der Leser muss sich auf diese Normen beziehen und sich an sie halten. Auch die Auslegung der Befestigung, die Eigenschaften des Dichtungsmaterials und die Vorgehensweise beim Zusammenbauen müssen berücksichtigt werden, auch wenn sie hier nicht besprochen werden. Für diesen Artikel gilt folgender Haftungsausschluss: SCHOTT Technical Glass Solutions GmbH liefert BOROFLOAT® 33 Borosilicatglas nur in Form roher Platten bzw. als kantenbearbeiteten Zuschnitt. Die Endbearbeitung des Glases wird nach den Spezifikationen des Kunden von anderen Firmen übernommen. Diese Endbearbeitung hat in Verbindung mit einer eventuell angewandten Festigkeitssteigerung einen deutlichen Einfluss auf die Temperaturschockbeständigkeit und die mechanischen Eigenschaften und dadurch auf den Höchstdruck, der auf das Glas wirken darf. Daher können nur Sie letztverantwortlich entscheiden, ob unser Produkt und alle Produktspezifikationen oder Anforderungen für Ihre spezifische Anwendung geeignet sind. SCHOTT übernimmt keine Verantwortung oder Haftung und gibt keine Garantie hinsichtlich aller Vorschläge, Hinweise oder Information, die im Zusammenhang mit der Verwendung von Schaugläsern stehen, und gibt keine Gewähr für die Angaben in dieser Veröffentlichung.

