

# AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe Juli 2003

<b>Druckbehälter aus nichtmetallischen Werkstoffen</b>	<b>Druckbehälter aus Glas</b>	<b>AD 2000-Merkblatt N 4</b>
--	-------------------------------	----------------------------------

Die AD 2000-Merkblätter werden von den in der „Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter“ (AD) zusammenarbeitenden, nachstehend genannten sieben Verbänden aufgestellt. Aufbau und Anwendung des AD 2000-Regelwerkes sowie die Verfahrensrichtlinien regelt das AD 2000-Merkblatt G1.

Die AD 2000-Merkblätter enthalten sicherheitstechnische Anforderungen, die für normale Betriebsverhältnisse zu stellen sind. Sind über das normale Maß hinausgehende Beanspruchungen beim Betrieb der Druckbehälter zu erwarten, so ist diesen durch Erfüllung besonderer Anforderungen Rechnung zu tragen.

Wird von den Forderungen dieses AD 2000-Merkblattes abgewichen, muss nachweisbar sein, dass der sicherheitstechnische Maßstab dieses Regelwerkes auf andere Weise eingehalten ist, z.B. durch Werkstoffprüfungen, Versuche, Spannungsanalyse, Betriebserfahrungen.

Fachverband Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau e.V. (FDBR), Düsseldorf

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Sankt Augustin

Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt/Main

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA), Fachgemeinschaft Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate, Frankfurt/Main

Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf

VGB PowerTech e.V., Essen

Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (VdTÜV), Essen

Die AD 2000-Merkblätter werden durch die Verbände laufend dem Fortschritt der Technik angepasst. Anregungen hierzu sind zu richten an den Herausgeber:

**Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V., Postfach 10 38 34, 45038 Essen.**

## Inhalt

- |   |   |
|---|---|
| 0 Präambel                                | 8 Kennzeichnung                                   |
| 1 Geltungsbereich                         | 9 Errichten von Anlagen aus Glasdruckbehältern    |
| 2 Allgemeines                             | 10 Änderungen und Reparaturen                     |
| 3 Werkstoff                               | 11 Sicherheitstechnische Hinweise für den Betrieb |
| 4 Gewährleistung der Güteeigenschaften    | 12 Schrifttum                                     |
| 5 Festigkeitskennwerte für die Berechnung | Anhang 1: Erläuterungen zum AD 2000-Merkblatt N 4 |
| 6 Berechnung                              |   |
| 7 Prüfung                                 |   |

## 0 Präambel

Zur Erfüllung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Druckgeräte-Richtlinie kann das AD 2000-Regelwerk angewandt werden, vornehmlich für die Konformitätsbewertung nach den Modulen „G“ und „B + F“.

Das AD 2000-Regelwerk folgt einem in sich geschlossenen Auslegungskonzept. Die Anwendung anderer technischer Regeln nach dem Stand der Technik zur Lösung von Teilproblemen setzt die Beachtung des Gesamtkonzeptes voraus.

Bei anderen Modulen der Druckgeräte-Richtlinie oder für andere Rechtsgebiete kann das AD 2000-Regelwerk sinngemäß angewandt werden. Die Prüfzuständigkeit richtet sich nach den Vorgaben des jeweiligen Rechtsgebietes.

## 1 Geltungsbereich

Dieses AD 2000-Merkblatt gilt für Druckbehälter, Druckbehälterteile, Rohrleitungen und Ausrüstungsteile aus Borosilikatglas 3.3 nach DIN ISO 3585 mit dem Längenausdehnungskoeffizienten  $(3,30 \pm 0,05) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Dieser Werkstoff hat sich für den Bau von Druckbehältern, Druckbehälterteilen, Rohrleitungen und Ausrüstungsteilen bewährt. Er erfüllt bei Anwendung des AD 2000-Regelwerkes die Werkstoffanforderungen nach Anhang I, Abschnitt 4.1 der Druckgeräte-Richtlinie und kann ohne zusätzlichen Prüfaufwand über die zuständige unabhängige Stelle als einzelbegutachtet angesehen und eingesetzt werden.

Gläser, deren Festigkeit durch besondere Herstellungsverfahren wesentlich gesteigert ist (vorgespannte Gläser),

Ersatz für Ausgabe Oktober 2000; | = Änderungen gegenüber der vorangehenden Ausgabe

Die AD 2000-Merkblätter sind urheberrechtlich geschützt. Die Nutzungsrechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, die Wiedergabe auf fotomechanischem Wege und die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei auszugsweiser Verwertung, dem Urheber vorbehalten.

ser<sup>1)</sup>), fallen nicht in den Geltungsbereich dieses AD 2000-Merkblattes. Ausgenommen sind auch Laborgeräte nach DIN 12 476, DIN 12 491 und DIN ISO 1773.

## 2 Allgemeines

Die Herstellung von Druckbehältern, Druckbehälterteilen und Armaturen aus Glas nach Abschnitt 1 setzt ausreichende Erfahrungen voraus.

## 3 Werkstoff

### 3.1 Anwendungsgrenzen

Zum Bau von Druckbehältern, Druckbehälterteilen und Armaturen für Druckbehälter darf nur Glas entsprechend Tafel 1 verwendet werden.

**Tafel 1.** Kennwerte, Anwendungsgrenzen und chemische Beständigkeit von Borosilicatglas 3.3

Längenausdehnungskoeffizient nach DIN 52 328	$\alpha_{20/300} = (3,30 \pm 0,05) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
mittlere Wärmeleitfähigkeit zwischen 20 und 200 °C	$\lambda = 1,3 \text{ W/mK}$
mittlere spezifische Wärmekapazität zwischen 20 und 200 °C	$c = 910 \text{ J/kg K}$
Dichte bei 20 °C	$\rho = 2,23 \text{ g/cm}^3$
Elastizitätsmodul	$E = 64 \text{ kN/mm}^2$
Poisson-Zahl (Querkontraktionszahl)	$\nu = 0,2$
Transformationstemperatur*) nach DIN 52 324	$\vartheta_g = 530 \text{ °C}$
Betriebstemperatur	$\vartheta_B \leq 300 \text{ °C}$ Abschnitt 11.3 ist zu beachten
Verwendungsbereich bei zusätzlicher Temperaturbeanspruchung entsprechend den Berechnungsgrundlagen nach Abschnitt 6.3	
Chemische Beständigkeit (die Beständigkeit nimmt mit steigender Klassenzahl ab; 1 ist die beste Klasse)	
hydrolytische Klasse	nach DIN ISO 719: 1
Säureklasse	nach DIN 12 116: 1
Laugenklasse	nach DIN ISO 695: 2

\*) Die Transformationstemperatur wird zur Beurteilung der Temperatur beim Entspannen und zum Abschätzen der höchsten Betriebstemperatur von Glas bestimmt.

### 3.2 Ausführung

Das Glas muss frei sein von Eigenspannungen und von solchen Fehlern, die die Festigkeit erheblich beeinträchtigen. Für die Beurteilung von Fehlern gilt Anlage 1.

## 4 Gewährleistung der Güteeigenschaften

Der Hersteller gewährleistet durch die Kennzeichnung nach Abschnitt 8,

- (1) dass die mit seinem Markennamen bezeichnete Glasart die vorgegebenen physikalischen und chemischen Eigenschaften des Borosilicatglases 3.3 besitzt,

- (2) die Einhaltung der Form, der Bemessung und der Wanddicke,
- (3) die ordnungsmäßige Herstellung.

## 5 Festigkeitskennwerte für die Berechnung

### 5.1 Berechnungskennwerte<sup>2)</sup>

**5.1.1** Die zulässige Beanspruchung von Borosilicatglas 3.3 durch Zug und Biegung beträgt

$$\frac{K}{S} = 6 \text{ N/mm}^2,$$

wenn die Oberfläche geschliffen und poliert oder nur geschliffen ist, oder wenn eine zunächst feuerblanke, ungeschädigte Oberfläche bei bestimmungsgemäßer Verwendung durch mechanische Einwirkungen (z. B. Kratzer) verändert ist oder unter Betriebsbedingungen verändert werden kann.

**5.1.2** Die zulässige Beanspruchung von Borosilicatglas 3.3 durch Zug und Biegung beträgt

$$\frac{K}{S} = 10 \text{ N/mm}^2,$$

wenn die beim Heißformungsprozess gebildete feuerblanke Oberfläche weder mechanisch nachbearbeitet noch durch mechanische Einwirkung (z. B. Kratzer) verändert wurde und wenn Veränderungen dieses feuerblanken Zustandes durch einen mit dem Glas festverbundenen Oberflächenschutz sowie durch andere Sicherheitsmaßnahmen während der geplanten Einsatzdauer ausgeschlossen werden können.

**5.1.3** Als zulässige Beanspruchung von Borosilicatglas 3.3 durch Druck gilt hier

$$\frac{K}{S} = 100 \text{ N/mm}^2.$$

**5.1.4** Die unter den Abschnitten 5.1.1 bis 5.1.3 angegebenen Kennwerte enthalten bereits einen zahlenmäßig nicht genannten Sicherheitsbeiwert  $S$ , der den praktischen Erfahrungen sowie den theoretischen Erkenntnissen [3] über das in Versuchen ermittelte Festigkeitsverhalten von Borosilicatglas 3.3 Rechnung trägt. Selbst bei dauernder maximalzulässiger Belastung unter ungünstigen Umgebungsbedingungen ist eine ausreichend geringe Bruchwahrscheinlichkeit gewährleistet.

## 6 Berechnung

### 6.1 Formelzeichen und Einheiten

$c$	spezifische Wärmekapazität	in J/kg K
$D_a, d_a$	Außendurchmesser	in mm
$D_i$	Innendurchmesser	in mm
$E$	Elastizitätsmodul	in N/mm <sup>2</sup> , kN/mm <sup>2</sup>
$f$	Faktor für die Zugfestigkeit	—
$K$	Festigkeitskennwert	in N/mm <sup>2</sup>
$n$	Widerstandswert der Spannungsrissskorrosion	—
$S$	Sicherheitsbeiwert	—
$s$	erforderliche Wanddicke	in mm
$\frac{K}{S}$	für die Berechnung zu verwendende zulässige Beanspruchung	in N/mm <sup>2</sup>
$\Delta T$	Temperaturdifferenz zwischen innerer und äußerer Oberfläche der Wand	in K
$\vartheta_a$	Temperatur des Mediums um den Druckbehälter	in °C

<sup>1)</sup> So gelten z. B. für Schauglasplatten DIN 7080, DIN 7081, DIN 8902 und DIN 8903.

<sup>2)</sup> Nähere Einzelheiten siehe Erläuterungen im Anhang 1

$\vartheta_B$	Betriebstemperatur	in °C
$\vartheta_g$	Transformationstemperatur	in °C
$\vartheta_i$	Temperatur des Mediums im Druckbehälter	in °C
$t_1, t_2$	Belastungsdauer	in s, h, a
$\alpha$	Längenausdehnungskoeffizient	in K <sup>-1</sup>
$\alpha_{20/300}$	Längenausdehnungskoeffizient im Bereich zwischen 20 und 300 °C	in K <sup>-1</sup>
$\alpha_i$	Wärmeübergangskoeffizient an der inneren Oberfläche der Wand	in $\frac{K}{K \cdot m^2}$
$\alpha_a$	Wärmeübergangskoeffizient an der äußeren Oberfläche der Wand	in $\frac{K}{K \cdot m^2}$
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit	in W/m K
$\nu$	Poisson-Zahl (Querkontraktionszahl)	–
$\rho$	Dichte	in g/cm <sup>3</sup>
$\sigma_t$	thermische Wandspannung, Spannung infolge ungleichmäßiger Erwärmung	in N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_1$	Zugfestigkeit bei Belastungsdauer $t_1$	in N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_2$	Zugfestigkeit bei Belastungsdauer $t_2$	in N/mm <sup>2</sup>

## 6.2 Allgemeine Vorbemerkungen und Voraussetzungen

### 6.2.1 Thermische Wandspannungen bei Innenbeheizung

(Temperaturgefälle von innen nach außen)

Bei der Beheizung des Beschickungsmittels in Behältern, deren Außenfläche mit der Umgebungsluft in Berührung steht, stellen sich Spannungen in der Behälterwand ein. Die Höhe der Spannungen kann aus der Temperaturdifferenz in der Behälterwand errechnet werden, die von dem Temperaturgefälle zwischen dem Beschickungsmittel und der Umgebungsluft abhängt (siehe Abschnitt 6.3.2.1).

### 6.2.2 Thermische Wandspannungen bei Außenbeheizung

(Temperaturgefälle von außen nach innen)

Die Beheizung druckbeanspruchter Glasbauteile darf durch Wärmezufuhr von außen erfolgen, wenn dies vom Hersteller als zulässig angegeben ist.

## 6.3 Berechnungsgrundlagen

### 6.3.1 AD 2000-Merkblätter über Berechnung

Die Berechnung der erforderlichen Wanddicke  $s$  erfolgt nach den AD 2000-Merkblättern der Reihe B mit den Berechnungskennwerten nach Abschnitt 5.1.

Hinweise:

1. Zuschläge zur errechneten Wanddicke  $s$  sind nicht erforderlich. Werden Formen gewählt, die durch die AD 2000-Merkblätter der Reihe B rechnerisch nicht zu erfassen sind, so muss die ausreichende Bemessung für die vorgesehenen Betriebsverhältnisse nachgewiesen sein.
2. Auch dickwandige zylindrische Mäntel und Kugeln aus Glas unter innerem Überdruck werden nach AD 2000-Merkblatt B 1 berechnet. Die dort genannte Berechnungsgrenze für Durchmesser verhältnisse  $D_a/D_i \leq 1,2$  findet hier keine Anwendung.

### 6.3.2 Berechnung der thermischen Wandspannungen

Spannungen infolge ungleichmäßiger Erwärmung der Wandung verhalten sich proportional der Temperaturdifferenz, dem Ausdehnungskoeffizienten sowie dem Elastizitätsmodul. Thermische Spannungen senkrecht zur Wand

sind nach den Abschnitten 6.3.2.1 bis 6.3.3 zu berücksichtigen. Thermische Spannungen parallel zur Wand brauchen nicht berücksichtigt zu werden, wenn durch geeignete Formgebung oder Betriebsweise sichergestellt ist, dass sie die Beanspruchung der Wand nur unerheblich erhöhen. Die Aufstellung und die Halterung dürfen thermisch bedingte Formänderungen nicht behindern.

**6.3.2.1** Bei linearem Temperaturgefälle senkrecht zur Behälterwand sind die Spannungen für den biegesteifen Fall (Wandung rotationssymmetrischer Hohlkörper) wie folgt berechenbar:

$$\text{Spannung an den Wandoberflächen } \sigma_t = \frac{\alpha \cdot E \cdot \Delta T}{2(1 - \nu)} \quad (1)$$

(siehe [1]).

$\sigma_t$  (Bild 1) gibt die Zugspannung an der kälteren sowie die Druckspannung an der wärmeren Oberfläche an.

**6.3.2.2** Bei nicht linearem Temperaturgefälle, z. B. beim Anwärmen und Abkühlen von Glasbauteilen, kann  $\sigma_t$  je nach Temperaturänderungsgeschwindigkeit größere Werte annehmen und maximal bis auf den doppelten Wert ansteigen (siehe [2]).

### 6.3.3 Überlagerung thermisch und mechanisch bedingter Spannungen

Treten zu den durch den Betriebsüberdruck bedingten Spannungen gleichzeitig thermische Wandspannungen  $\sigma_t$  nach der Gleichung (1) auf, so muss der Wert

$\frac{K}{S} - \sigma_t$  statt  $\frac{K}{S}$  in die Rechnung nach Abschnitt 6.3.1 eingesetzt werden.

## 7 Prüfung

**7.1** Bei Druckbehältern aus Glas entfällt die Druckprüfung. Stattdessen müssen sie visuell auf Fehlerfreiheit der Wandungen, Einhalten der Wanddicke und durch spannungsoptische Verfahren auf ausreichende Freiheit von Eigenspannung geprüft werden.

**7.2** An Druckbehältern aus Glas muss vor der ersten Inbetriebnahme eine Dichtheitsprüfung durchgeführt werden. Die Dichtheitsprüfung muss bei Umgebungstemperaturen mit einem Prüfdruck, der nicht größer als der zulässige Betriebsüberdruck sein darf, durchgeführt werden.

## 8 Kennzeichnung

**8.1** Hersteller bzw. Verarbeiter, Glasart oder Markenname, zulässiger Betriebsüberdruck und zulässige Temperaturdifferenz  $\Delta T$  sind auf dem Glasbauteil dauerhaft anzugeben.

**8.2** Für katalog- oder listenmäßig erfasste Glasbauteile und solche, die in ihren Hauptabmessungen (auch Nennweite) und in ihrer äußeren Form Katalogmaßen entsprechen, kann eine Angabe über den zulässigen Betriebsüberdruck und die zulässige Temperaturdifferenz auf dem Glasbauteil entfallen, wenn der Hersteller in seinem Katalog bzw. in seiner Liste diesen Druck in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  für die Nenngröße angibt. Durch eine entsprechende Kennzeichnung ist sicherzustellen, dass eine eindeutige Zuordnung des Bauteils zu der zugehörigen Katalog- oder Listenausgabe möglich ist.

**8.3** Für katalog- oder listenmäßig erfasste Wärmeaustauscher aus Glas genügt für die Austauschfläche die Angabe von  $\Delta T$  im Katalog bzw. in der Liste.

**8.4** Aus Glasbauteilen zusammengesetzte Druckbehälter oder aus mehreren Glas-Druckbehältern bestehende Anla-

gen<sup>3)</sup> müssen mit einem dauerhaften und gut sichtbaren Fabriksschild mit folgenden Angaben versehen sein:

Hersteller,  
Fabriknummer oder Zeichnungsnummer<sup>4)</sup>,  
Baujahr der Anlage,  
maximal zulässiger Druck in Bar,  
Inhalt der Druckräume in Litern,  
zulässige minimale/maximale Temperatur in °C,  
zulässige Temperaturdifferenzen senkrecht zu den Wandungen der einzelnen Druckräume bzw. Glasbauteile in K.

## 9 Errichten von Anlagen aus Glasdruckbehältern

**9.1** Bei der Montage sollen die Behälter so befestigt werden, dass sie an den Einspannstellen überwiegend Druckspannungen unterliegen und thermische Formänderungen, soweit diese nach Abschnitt 6.3.2 nicht berücksichtigt wurden, unbehindert ablaufen können.

**9.2** Spannschrauben müssen gleichmäßig im mehrmaligen Rundgang angezogen werden.

Anschlussleitungen sind so nachgiebig anzubringen, dass unter Betriebsbedingungen und in Betriebspausen keine nennenswerte zusätzliche Beanspruchung eintritt.

**9.3** Die Dichtheitsprüfung muss bei Umgebungstemperatur mit einem Prüfdruck, der nicht größer als der zulässige Betriebsüberdruck sein darf, durchgeführt werden.

## 10 Änderungen und Reparaturen

Änderungen und Reparaturen sind sachgemäß durchzuführen und zu dokumentieren. Das geänderte bzw. reparierte Teil ist mit dem Zeichen des Verarbeiters zu kennzeichnen. Erforderlichenfalls ist das Bauteil nach Abschnitt 8 neu zu kennzeichnen.

## 11 Sicherheitstechnische Hinweise für den Betrieb

### 11.1 Außenbeheizung

Die Erwärmung des Behälterinhalts soll möglichst über ein Flüssigkeitsbad erfolgen.

<sup>3)</sup> Beispiele: siehe Anlage

<sup>4)</sup> Mit Index, falls mehrere gleichartige Druckbehälter nach einer Zeichnung gefertigt werden

Eine elektrische Beheizung ist zulässig, wenn sie gleichmäßig und ohne örtliche Temperaturspitzen durchgeführt wird.

Andersartige Außenbeheizungen von druckbeanspruchten Glasbauteilen sind nur zulässig, wenn örtliche Temperaturspitzen vermieden sind. Kann diese Bedingung nicht eingehalten oder können die vorgenannten Beheizungsarten nicht angewendet werden, so muss das Beschickungsmittel direkt oder durch Tauchheizer beheizt werden.

### 11.2 Temperaturwechsel

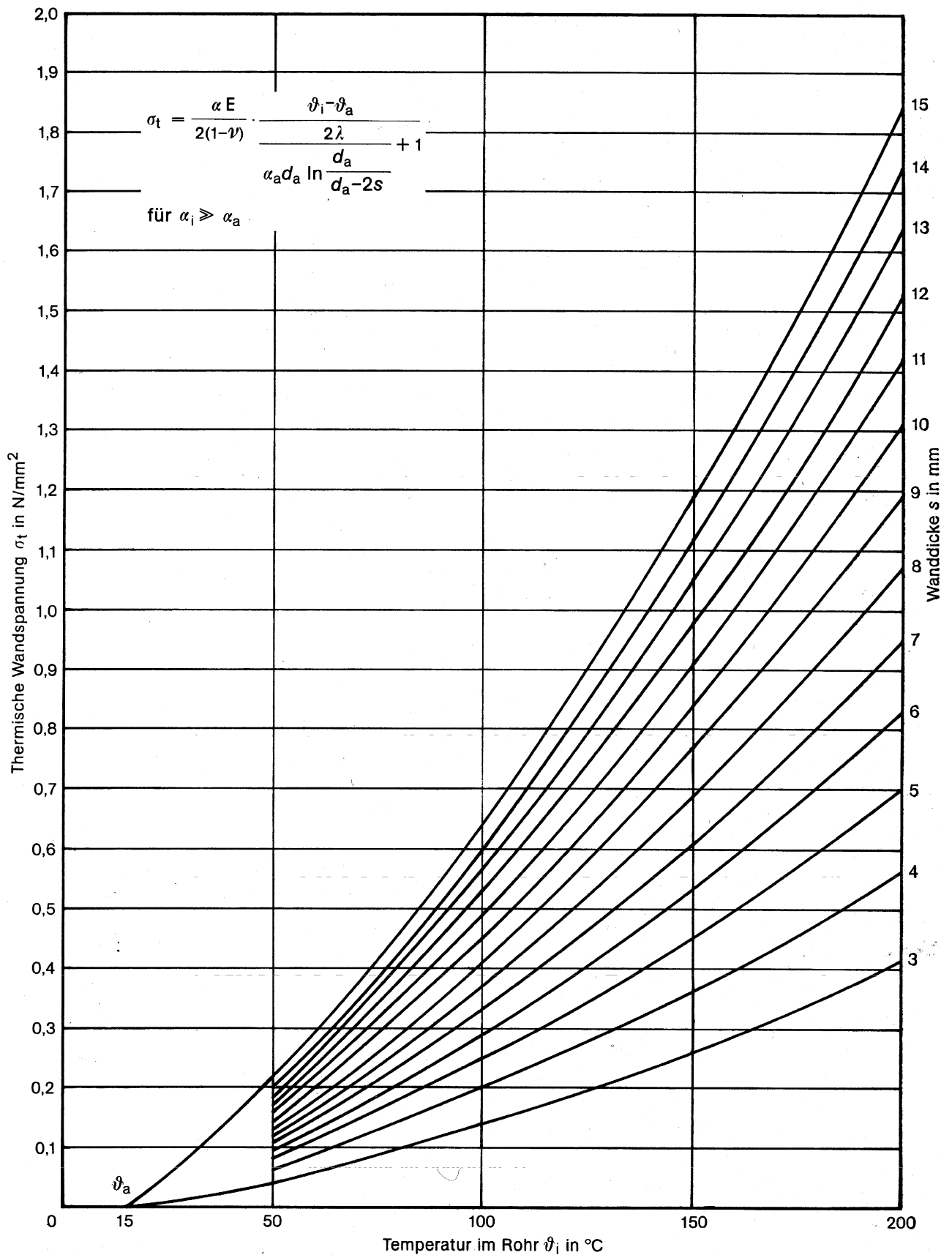
Schnelle Temperaturwechsel bedingen kurzzeitig hohe Spannungen im Glas, wobei schroffe Abkühlung (Abschrecken) wegen der hierbei entstehenden Zugspannungen in der kälteren Oberfläche das Glasbauteil besonders gefährdet. Insbesondere dürfen gleichzeitig druck- und temperaturbeanspruchte Glasbauteile keiner plötzlichen Abkühlung von außen (Wasserspritzer, Berührung mit kalten und feuchten Materialien) und von innen (Einfließen kälteren Beschickungsmittels) an der Wandung ausgesetzt werden. Die Abkühlung dieser Glasbauteile darf, vor allem wenn sie unter Druck stehen, nur langsam, z. B. durch natürlichen Wärmeabfluss an die umgebende Luft, vonstatten gehen.

### 11.3 Betriebstemperaturen $\vartheta_B > 200\text{ °C}$

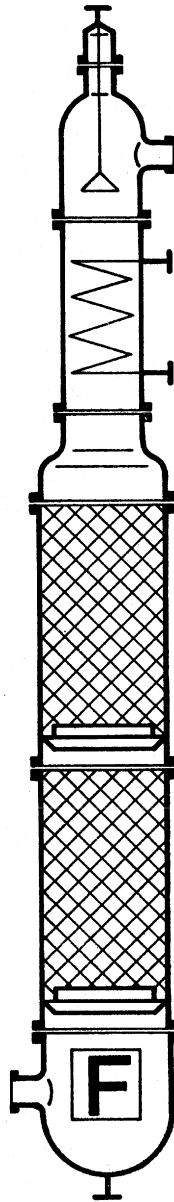
Bei Betriebstemperaturen  $\vartheta_B > 200\text{ °C}$  sind besondere Vorkehrungen gegen schroffe Temperaturschwankungen zu treffen. Die Maßnahmen sind mit dem Hersteller abzustimmen.

## 12 Schrifttum

- [1] Lorenz, R.: Temperaturspannungen in Hohlzylindern. VDI-Z. **51** (1907) Nr. 19, S. 743/747.
- [2] Gross, G., u. K. G. Würker: Zulässige Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten dickwandiger Rohrleitungen. Allgemeine Wärmetechnik, Jahrgang 1956, S. 211 ff.
- [3] Exner, G., u. O. Lindig: Bestimmung des Widerstandswertes der Spannungsrissskorrosion  $n$  an Borosilicatglas DURAN. Glastechnische Berichte **55** (1982) Nr. 5, S. 107/17.
- [4] Exner, G.: Erlaubte Biegespannung in Glasbauteilen im Dauerlastfall. Ein Vorhersagekonzept aus dynamischen Labor-Festigkeitsmessungen. Glastechnische Berichte **56** (1983) Nr. 11.
- [5] VDI-Wärmeatlas 2. Auflage 1974.



**Bild 1.** Thermische Wandspannung, berechnet für 5 m lange senkrechte Rohre DN 100 bis 1000 bei Raumtemperatur  $\vartheta_a = 15$   $^\circ\text{C}$  und Wärmeübergang  $\alpha_a$  bei natürlicher Konvektion; Literatur [5]



**Beispiel 1.** Ein aus mehreren Glasbauteilen zusammengesetzter Druckbehälter

Aufschrift auf dem Fabrikschild: (F)

Hersteller:

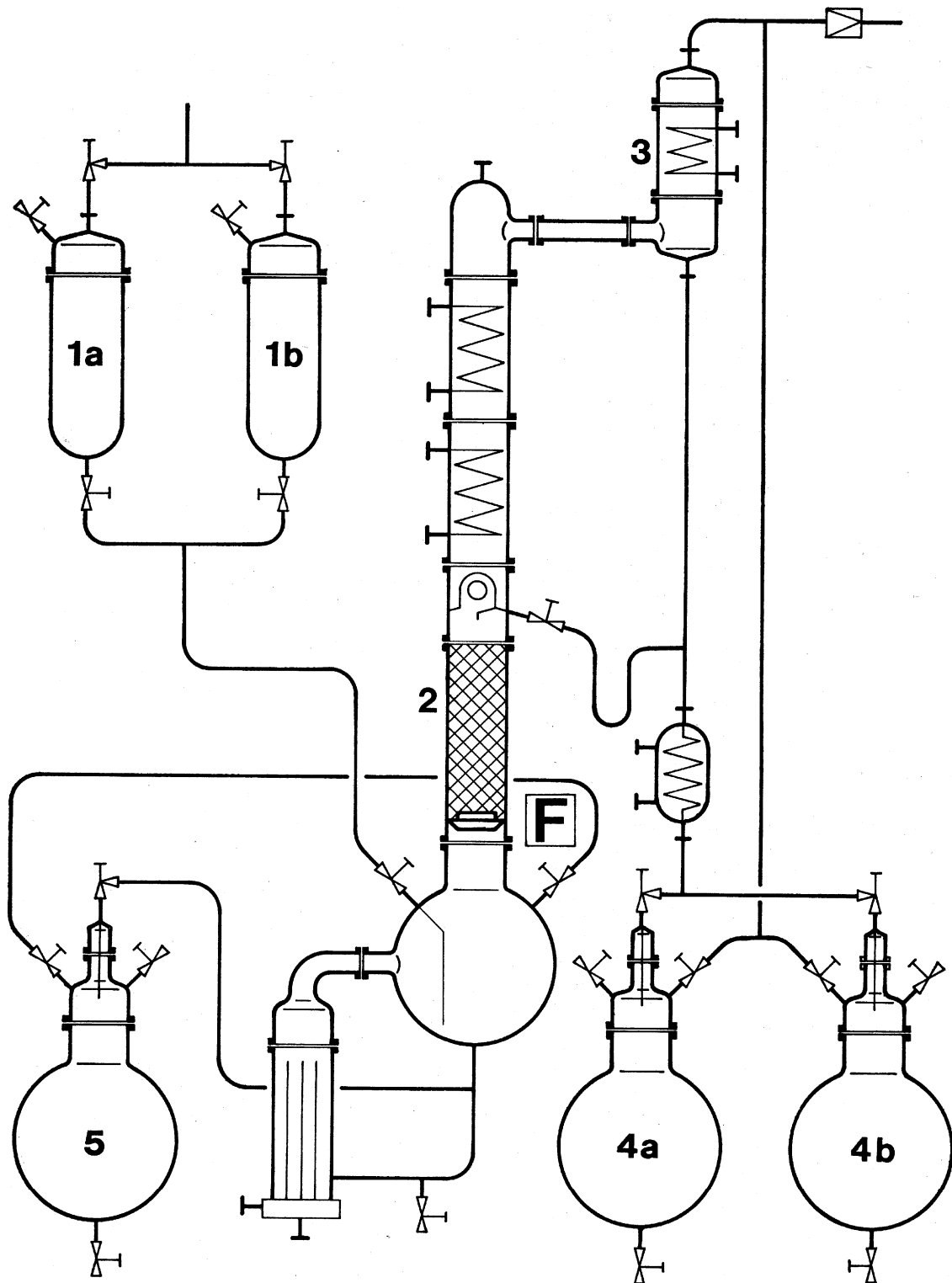
Zeichnung: A 483-1 Baujahr: 1981

zulässiger Betriebsüberdruck: 0,5 bar

Inhalt des Druckraumes: 1430 Liter

zulässige Betriebstemperatur: 150 °C

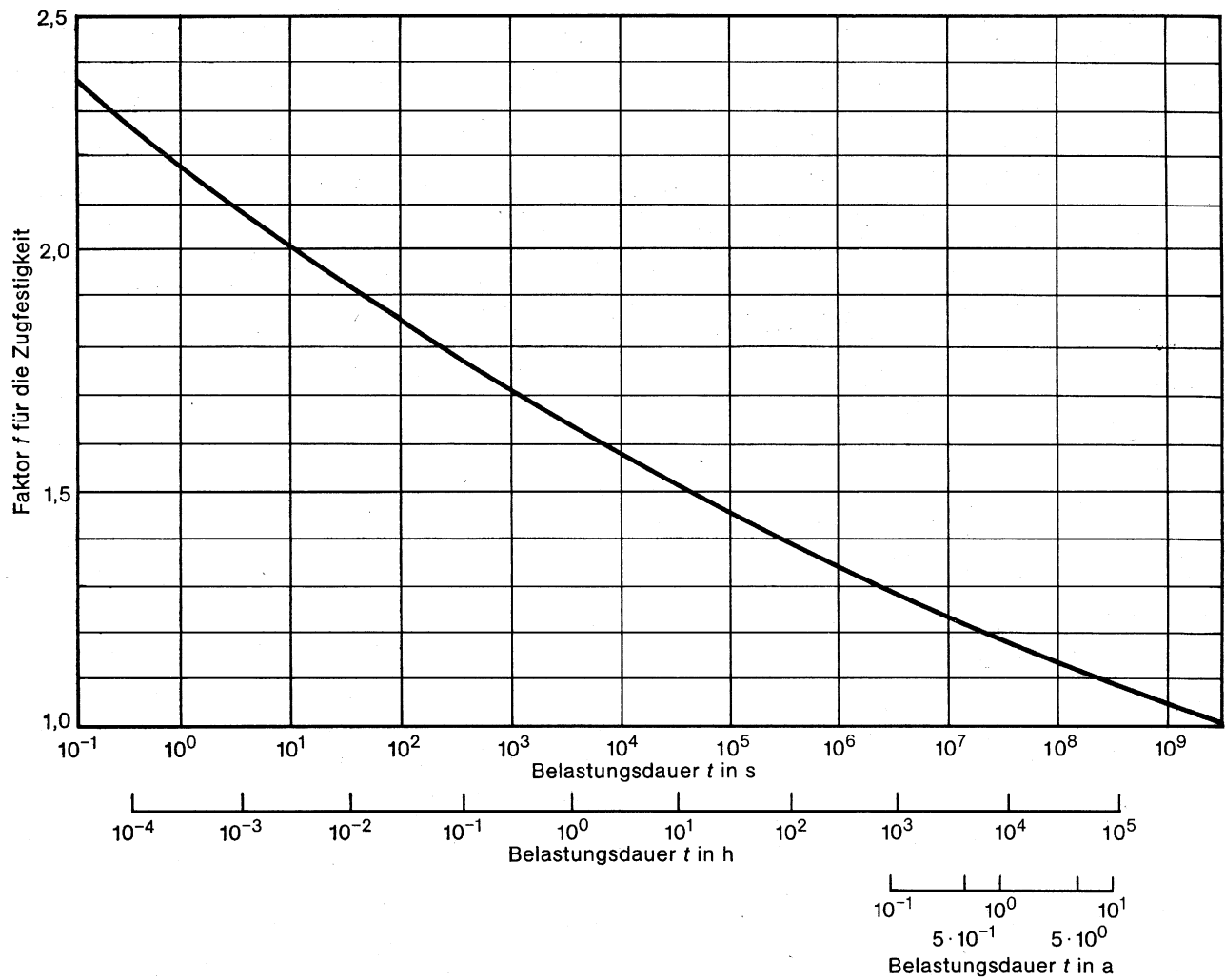
zulässige Temperaturdifferenz: in der Wand der  
Säule 5 K,  
in der Wand der  
Kühlschlange 40 K



**Beispiel 2.** Eine aus mehreren Glas-Druckbehältern bestehende Anlage, die wahlweise mit Überdruck oder Vakuum betrieben werden kann

Aufschrift auf dem Fabrikschild: (F)

Hersteller:	
Zeichnung: R 759 Baujahr:	1982
zulässiger Betriebsüberdruck:	-1 bis 0,5 bar
Inhalt des Druckraumes:	1650 Liter
zulässige Betriebstemperatur:	200 °C
zulässige Temperaturdifferenz in der Behälterwand:	5 K



**Bild 2.** Abhängigkeit des Faktors  $f$  für die Zugfestigkeit von Borosilicatglas 3.3 in Wasser mit  $n = 28$  von der Belastungsdauer



## Anhang 1 zum AD 2000-Merkblatt N 4

### Erläuterungen zum AD 2000-Merkblatt N 4, Abschnitt 5 – Festigkeitskennwerte für die Berechnung

#### 1 Besonderheiten der Glasfestigkeit

Bei der Berechnung der Druckbehälter, Druckbehälterteile und Armaturen für Druckbehälter aus Glas müssen dessen besondere Werkstoffeigenschaften berücksichtigt werden. Im technischen Sinne sind Gläser idealelastische<sup>5)</sup> Werkstoffe, in denen keine Fließvorgänge stattfinden. Dies bedingt bei mechanischen Kontakten mit harten Werkstoffen das Zustandekommen von Oberflächenverletzungen in Form kleinster, teilweise submikroskopischer Risse und Ausbrüche. Derartige Oberflächenverletzungen, die bei einem normal gehandhabten Glas praktisch unvermeidlich sind, bestimmen infolge ihrer Kerbwirkung die Zugfestigkeit maßgeblich. Demzufolge bezieht sich die Zugfestigkeit vorrangig auf den Zustand der zu prüfenden Probenoberfläche, so dass Zahlenwerte über die Zugbelastbarkeit stets einer Angabe zum Oberflächenzustand bedürfen.

Zugfestigkeitswerte für die Berechnung von Druckbehältern aus Glas (Berechnungskennwerte), die sich aus Messungen an feuerblanken, mechanisch unverletzten Proben unter Berücksichtigung von Beanspruchungszeit und statistischer Messwertverteilung ableiten lassen, dürfen daher nur eingesetzt werden, wenn Oberflächenschädigungen auch im Gebrauch auszuschließen sind (z. B. Innenfläche abgeschmolzener Vakuumgefäße, durch Überzüge geschützte Oberflächen).

Kann sich der Oberflächenzustand von Druckbehälterteilen dagegen durch mechanische Einflüsse im Gebrauch verändern, so muss sich der hierfür geltende Berechnungskennwert auf Messungen an Proben beziehen, deren zugbelastete Oberflächen zuvor einer nach praktischen Erfahrungen höchstmöglichen Schädigung unterworfen waren.

Liegt in Glasoberflächen Druckspannung vor, so sind Oberflächenschäden ohne Bedeutung, weil Risse geschlossen werden. Hierdurch erreicht die Druckfestigkeit von Glas gegenüber der Zugfestigkeit mindestens zehnfach höhere Werte. Druckspannungen können somit zumeist vernachlässigt werden.

#### 2 Zeiteinfluss

Die Zugfestigkeit von Glas nimmt mit der Einwirkungs- dauer der Belastung ab, wobei der funktionelle Zusammenhang vom eingrenzenden Medium beeinflusst wird und für verschiedenartige Gläser deutliche Unterschiede zeigen kann (siehe [3]). Der Zeiteinfluss muss insbesondere bei Kurzzeitprüfungen beachtet werden (siehe auch Abschnitte 4 und 6).

Bei pulsierender Belastung kann die zeitliche Festigkeits- abnahme derjenigen bei Dauerbelastung gleichgesetzt werden (siehe [4]).

Die zulässige Druckspannung unterliegt keinem Zeitein- fluss.

#### 3 Temperatureinfluss

Der Einfluss der Temperatur auf die Glasfestigkeit ist zwi- schen Raumtemperatur und 200 °C vernachlässigbar ge- ring. Im Bereich tiefer Temperaturen (< – 150 °C) tritt all- gemein eine merkliche Zunahme der Zugfestigkeit ein. Bei Temperaturen über 200 °C bis zur Transformationstempe- ratur (530 °C) nimmt die Zugfestigkeit ebenfalls zu.

Die Begrenzung der Betriebstemperatur auf ≤ 300 °C (siehe Tafel 1) ist vornehmlich durch die möglichen thermi- schen Spannungen in den Glasbauteilen begründet.

#### 4 Einfluss der Medien

Ein unter Zugspannung stehendes Glas unterliegt im Kon- takt mit wässrigen Medien oder Wasserdampf einer Span- nungsrissskorrosion, welche die in Bild 2 dargestellte Zeit- abhängigkeit der Zugfestigkeit bewirkt.

Abwesenheit von Wasser (z. B. ausschließlicher Kontakt mit organischen, wasserfreien Medien) führt zu höheren Zugfestigkeiten als den hier angegebenen, die für den un- günstigsten Fall Gültigkeit haben.

#### 5 Druckfestigkeit

Die Probenform und der Zustand der Oberfläche beeinflus- sen das Ergebnis eines Druckfestigkeitsversuches, für den es bei Glas keine Norm gibt, sehr, denn letztlich wird ein axial über seinen ganzen Querschnitt gedrückter Körper nur durch die beim Druckversuch an seinen Umfang auf- tretenden Zugspannungen zerstört. (Gemeint ist ein Ver- such, der sich vom Zugversuch nur durch das Vorzeichen der Kraft unterscheidet, nicht aber etwa der Eindruckver- such mit einer Kugel in die Oberfläche.) Die hier zur Dis- kussion stehende Druckspannung liegt also oft tangential zur Oberfläche.

Es ist üblich, als erlaubte Druckspannung das 10fache der Zugspannung anzugeben. Diese Regel basiert auf Versu- chen an speziellen Probenformen und liegt auf der siche- ren Seite.

#### 6 Faktor für die Zugfestigkeit

Der in Abschnitt 2 beschriebene Zusammenhang zwischen Zugfestigkeit und Belastungsdauer wird durch die Gleichung

$$\sigma_2 = \sigma_1 \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^{\frac{1}{n}} = \sigma_1 \cdot f$$

wiedergegeben.

Wenn der Widerstandswert der Spannungsrissskorrosion  $n$  für die Glasart bekannt ist, kann mit dieser Gleichung aus der bei der Belastungsdauer  $t_1$  gemessenen Zugfestigkeit  $\sigma_1$  die Zugfestigkeit  $\sigma_2$  bei der Belastungsdauer  $t_2$  errech- net werden.

Je größer der Widerstandswert  $n$  ist, umso geringer ist die Abnahme der Zugfestigkeit.

Für Borosilicatglas 3.3 im Kontakt mit Wasser ist experi- mentell  $n = 28$  ermittelt worden (siehe [3]).

<sup>5)</sup> „Idealelastisch“ beschreibt einen Werkstoff, bei dem ein linearer Zusam- menhang zwischen Belastung und Verformung bis zum Bruch vorliegt, d. h. der Werkstoff verfügt nicht über die Fähigkeit, z. B. eines zähen Stahls, Be- anspruchungen durch plastische Verformung abzubauen.





---

Herausgeber:



E-Mail: [berlin@vdtuev.de](mailto:berlin@vdtuev.de)  
<http://www.vdtuev.de>

Bezugsquelle:

**Beuth**

Beuth Verlag GmbH  
10772 Berlin  
Tel. 030/26 01-22 60  
Fax 030/26 01-12 60  
[info@beuth.de](mailto:info@beuth.de)  
[www.beuth.de](http://www.beuth.de)