

Glas im Bauwesen  
**Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas**  
Schätzverfahren und Bestimmung der Vertrauensbereiche  
für Daten mit Weibull-Verteilung  
Deutsche Fassung EN 12603:2002

**DIN**  
**EN 12603**

ICS 81.040.20; 91.100.99

Glass in building — Procedures for goodness of fit and confidence  
intervals for Weibull distributed glass strenght data;  
German version EN 12603:2002

Verre dans la construction — Procédures de validité de  
l'ajustement et intervalles de confiance des données  
de résistance du verre au moyen de la loi de Weibull;  
Version allemande EN 12603:2002

**Die Europäische Norm EN 12603:2002 hat den Status einer Deutschen Norm.**

## Nationales Vorwort

Der Arbeitsausschuss NMP 363 „Glasfestigkeit und Prüfung von Glas für bauliche Anlagen“ ist für diese Norm zuständig.

Fortsetzung 28 Seiten EN

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.  
Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

– Leerseite –

Deutsche Fassung

## Glas im Bauwesen - Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas - Schätzverfahren und Bestimmung der Vertrauensbereiche für Daten mit Weibull-Verteilung

Glass in building - Procedures for goodness of fit and  
confidence intervals for Weibull distributed glass strength  
data

Verre dans la construction - Procédures de validité de  
l'ajustement et intervalles de confiance des données de  
résistance du verre au moyen de la loi de Weibull

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. September 2002 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

# Inhalt

|                                                                                                                          | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort.....                                                                                                             | 3     |
| Einleitung .....                                                                                                         | 3     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                                                | 4     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                           | 4     |
| 3 Begriffe.....                                                                                                          | 4     |
| 4 Symbole und Abkürzungen.....                                                                                           | 4     |
| 5 Güte der Anpassung .....                                                                                               | 5     |
| 6 Punktschätzungen für die Parameter $\beta$ und $\theta$ der Verteilung.....                                            | 6     |
| 6.1 Zensorisierte Stichprobe .....                                                                                       | 6     |
| 6.2 Unzensorisierte (vollständige) Stichprobe .....                                                                      | 7     |
| 7 Beurteilung von Stichprobenergebnissen und Prüfungen.....                                                              | 8     |
| 7.1 Das Weibull-Netz .....                                                                                               | 8     |
| 7.2 Graphische Darstellung der geschätzten Verteilungsfunktion .....                                                     | 9     |
| 7.3 Einzeichnen der Stichprobendaten in das Weibull-Netz.....                                                            | 9     |
| 7.3.1 Einzelwerte.....                                                                                                   | 9     |
| 7.3.2 Klassierte Werte .....                                                                                             | 9     |
| 7.4 Beurteilung der Stichprobendaten .....                                                                               | 9     |
| 8 Vertrauensbereiche .....                                                                                               | 10    |
| 8.1 Vertrauensbereich für den Formparameter $\beta$ .....                                                                | 10    |
| 8.2 Vertrauensbereich für den Wert der Verteilungsfunktion $G(x)$ bei einem vorgegebenen Wert $x$ des Merkmals $X$ ..... | 12    |
| 8.3 Vertrauensbereich für den Skalenparameter $\theta$ .....                                                             | 14    |
| 8.3.1 Verfahren für alle Stichproben.....                                                                                | 14    |
| 8.3.2 Verfahren für unzensorisierte Stichproben .....                                                                    | 15    |
| 8.4 Vertrauensbereich für den Wert $x$ des Merkmals $X$ bei einem vorgegebenen Wert $G(x)$ der Verteilungsfunktion ..... | 17    |
| 8.4.1 Verfahren für sämtliche Stichproben .....                                                                          | 17    |
| 8.4.2 Verfahren für unzensorisierte Stichproben .....                                                                    | 18    |
| Anhang A (informativ) Beispiele .....                                                                                    | 19    |
| A.1 Unzensorisierte Stichprobe .....                                                                                     | 19    |
| A.1.1 Daten .....                                                                                                        | 19    |
| A.1.2 Statistische Auswertung .....                                                                                      | 20    |
| A.2 Zensorisierte Stichprobe .....                                                                                       | 23    |
| A.2.1 Daten .....                                                                                                        | 23    |
| A.2.2 Statistische Auswertung .....                                                                                      | 24    |
| Anhang B (informativ) Weibull-Papier .....                                                                               | 27    |
| Literaturhinweise.....                                                                                                   | 28    |

## Vorwort

Dieses Dokument EN 12603:2002 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 129 "Glas im Bauwesen" erarbeitet, dessen Sekretariat vom IBN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2003, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2003 zurückgezogen werden.

In dieser Norm sind die Anhänge A und B informativ.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

## Einleitung

Diese Europäische Norm beruht auf der Annahme, dass die statistische Verteilung der berücksichtigten Merkmalswerte mit einer einzigen Weibull-Verteilungsfunktion dargestellt werden kann, selbst wenn in bestimmten Fällen (z. B. Messungen von Lebensdauern) häufig Mischverteilungen beobachtet worden sind. Aus diesem Grund hat der Anwender dieser Norm durch eine Anpassungsprüfung zu überprüfen, ob die gemessenen Daten einer Stichprobe mit Hilfe nur einer Weibull-Funktion dargestellt werden können. Nur in diesem Fall können die Hypothese angenommen und die in der vorliegenden Norm beschriebenen Verfahren angewendet werden.

Der Anwender entscheidet über diese Frage auch unter Berücksichtigung sämtlicher verfügbarer Daten und des allgemeinen Kenntnisstandes für das spezielle Fachgebiet. Jede Extrapolation in Bereiche von Fraktilen, die nicht durch Messwerte belegt sind, erfordert äußerste Sorgfalt, und zwar umso mehr, je weiter die Extrapolation den Bereich gemessener Werte überschreitet.

ANMERKUNG Die dreiparametrische Weibull-Funktion lautet:

$$G(x) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x - x_0}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (1)$$

Unter der Annahme  $x_0 = 0$  ergibt sich die zweiparametrische Weibull-Funktion zu:

$$G(x) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2)$$

Auflösung nach  $x$  ergibt:

$$x = \theta \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - G(x)} \right) \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (3)$$

Die Berechnung beruht entweder auf einer nicht zensorisierten oder einer zensorisierten Stichprobe. Für die Zensorisierung gibt es mehrere Verfahren. In der vorliegenden Norm wird nur das folgende Verfahren der Zensorisierung berücksichtigt:

Es wird eine Anzahl  $r < n$  von Proben vorgegeben, von denen die Merkmalswerte  $x_i$  gemessen werden.

## 1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Europäische Norm legt Verfahren für die Auswertung von Stichprobenergebnissen mit der zweiparametrischen Weibull-Verteilungsfunktion fest.

## 2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

ISO 2854:1976, *Statistical interpretation of data — Techniques of estimation and tests relating to means and variances*.

ISO 3534, *Statistics — Vocabulary and symbols*.

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die in ISO 3534 angegebenen Begriffe.

## 4 Symbole und Abkürzungen

|                      |                                                                                  |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $X$                  | betrachtetes Merkmal                                                             |
| $x, x_i, x_r$        | Werte des Merkmals $X$                                                           |
| $G(x)$               | Verteilungsfunktion von $X$ = Versagensanteil                                    |
| $x_0, \beta, \theta$ | Parameter der dreiparametrischen Weibull-Funktion                                |
| $\wedge$             | Kennzeichnung von Punktschätzungen (z. B. $\hat{\beta}, \hat{\theta}, \hat{G}$ ) |
| $1 - \alpha$         | Vertrauensniveau                                                                 |
| $\ell_i$             | Wert für die Anpassungsprüfung                                                   |
| $L$                  | Wert für die Anpassungsprüfung                                                   |
| $n$                  | Stichprobenumfang                                                                |
| $r$                  | Anzahl der Stichprobeneinheiten, deren Merkmalswerte $x_i$ gemessen worden sind  |

ANMERKUNG Die Stichprobe wird geordnet, d. h.  $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \dots \leq x_r$   $r \leq n$ .

|                          |                                               |
|--------------------------|-----------------------------------------------|
| $f, f_1, f_2$            | Freiheitsgrade                                |
| $\kappa_n, \kappa_{r,n}$ | Faktoren bei der Schätzung von $\hat{\beta}$  |
| $C_{r,n}$                | Faktoren bei der Schätzung von $\hat{\theta}$ |

|                                      |                                                                    |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| $s$                                  | $\text{int}(0,84n) = \text{größte ganze Zahl} < 0,84n$             |
| $\eta, \xi$                          | Ordinate und Abszisse des Weibull-Netzes                           |
| $\chi^2$                             | Chi-Quadrat-Verteilungsfunktion                                    |
| $y, v, \gamma$                       | Hilfsgrößen bei der Schätzung der Vertrauensgrenzen von $G(x)$     |
| $A, B, C$                            | Konstanten bei der Berechnung von $v$                              |
| $H(f_2)$                             | Variable für die Berechnung von $\gamma$                           |
| $T_{n; \alpha/2}, T_{n; 1-\alpha/2}$ | Koeffizienten für die Schätzung der Vertrauensgrenzen von $\theta$ |

Indizes:

|    |                                |
|----|--------------------------------|
| un | untere Vertrauensgrenze        |
| ob | obere Vertrauensgrenze         |
| z  | zweiseitiger Vertrauensbereich |

## 5 Güte der Anpassung

Die  $r$  Werte von  $x$  werden nach aufsteigendem Rang geordnet.

Für jeden Wert von  $i = 1$  bis  $i = r - 1$  wird berechnet:

$$\ell_i = \frac{\ln(x_{i+1}) - \ln(x_i)}{\ln \left[ \frac{\ln \left( \frac{4(n-i-1)+3}{4n+1} \right)}{\ln \left( \frac{4(n-i)+3}{4n+1} \right)} \right]} \quad (4)$$

Folgende Größe wird berechnet:

$$L = \frac{\sum_{i=\lfloor r/2 \rfloor + 1}^{r-1} \frac{\ell_i}{\lfloor (r-1)/2 \rfloor}}{\sum_{i=1}^{\lfloor r/2 \rfloor} \frac{\ell_i}{\lfloor r/2 \rfloor}} \quad (5)$$

wo das Symbol  $\lfloor r/2 \rfloor$  verwendet wird, um die größte ganze Zahl kleiner als oder gleich  $r/2$  zu bezeichnen.

Die Hypothese ist zu verwerfen, dass der Datensatz aus einer Weibull-Verteilung stammt, mit einem Signifikanz-Niveau  $\alpha$ , wenn

$$L \geq F_{\alpha}(2\lfloor (r-1)/2 \rfloor, 2\lfloor r/2 \rfloor) \quad (6)$$

Die Fraktilenwerte der  $F$ -Verteilung können zum Beispiel in Tabelle IV von ISO 2854:1976 gefunden werden.

## 6 Punktschätzungen für die Parameter $\beta$ und $\theta$ der Verteilung

### 6.1 Zensorisierte Stichprobe

$$\hat{\beta} = \frac{n \kappa_{r,n}}{r \ln x_r - \sum_{i=1}^r \ln x_i} \quad (7)$$

$$\hat{\theta} = \exp \left[ \ln x_r - C_{r,n} \cdot \frac{1}{\hat{\beta}} \right] \quad (8)$$

Die Faktoren  $\kappa_{r,n}$  und  $C_{r,n}$  werden in den Tabellen 1 und 2 angegeben.

**Tabelle 1 — Koeffizient  $\kappa_{r,n}$**

| $n$                                                                           | $r/n$     |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                                               | 0,1       | 0,2       | 0,3       | 0,4       | 0,5       | 0,6       | 0,7       | 0,8       | 0,9       |
| 5                                                                             |           |           |           | 0,223 1   |           | 0,481 3   |           | 0,801 8   |           |
| 10                                                                            |           | 0,105 4   | 0,217 2   | 0,336 9   | 0,466 7   | 0,609 8   | 0,771 5   | 0,961 6   | 1,202     |
| 20                                                                            | 0,051 3   | 0,158 3   | 0,272 1   | 0,394 4   | 0,527 7   | 0,675 6   | 0,844 8   | 1,048     | 1,316     |
| 30                                                                            | 0,068 4   | 0,175 9   | 0,290 4   | 0,413 7   | 0,548 2   | 0,697 9   | 0,869 7   | 1,077     | 1,357     |
| 40                                                                            | 0,077 0   | 0,184 8   | 0,299 6   | 0,423 3   | 0,558 4   | 0,709 0   | 0,882 2   | 1,092     | 1,378     |
| 50                                                                            | 0,082 1   | 0,190 1   | 0,305 1   | 0,429 1   | 0,564 6   | 0,715 8   | 0,889 8   | 1,101     | 1,391     |
| 60                                                                            | 0,085 5   | 0,193 6   | 0,308 8   | 0,433 0   | 0,568 7   | 0,720 2   | 0,894 9   | 1,108     | 1,400     |
| 70                                                                            | 0,087 9   | 0,196 1   | 0,311 4   | 0,435 7   | 0,571 7   | 0,723 5   | 0,898 5   | 1,112     | 1,406     |
| 80                                                                            | 0,089 8   | 0,198 0   | 0,313 4   | 0,437 8   | 0,573 9   | 0,725 9   | 0,901 2   | 1,115     | 1,410     |
| 90                                                                            | 0,091 2   | 0,199 5   | 0,314 9   | 0,439 4   | 0,575 6   | 0,727 7   | 0,903 3   | 1,118     | 1,414     |
| 100                                                                           | 0,092 4   | 0,200 7   | 0,316 2   | 0,440 7   | 0,577 0   | 0,729 2   | 0,905 0   | 1,120     | 1,417     |
| $\kappa_p$                                                                    | 0,102 65  | 0,211 29  | 0,327 23  | 0,452 34  | 0,589 37  | 0,742 74  | 0,920 26  | 1,138 2   | 1,443 6   |
| $d_1$                                                                         | − 1,027 1 | − 1,062 2 | − 1,106 0 | − 1,163 4 | − 1,241 5 | − 1,354 0 | − 1,531 3 | − 1,856 7 | − 2,692 9 |
| $d_2$                                                                         | 0,000     | 0,030     | 0,054     | 0,089     | 0,145     | 0,242     | 0,433     | 0,906     | 2,796     |
| Asymptotisch gilt für große $n$ : $\kappa_{r,n} = \kappa_p + d_1/n + d_2/n^2$ |           |           |           |           |           |           |           |           |           |

Tabelle 2 — Koeffizient  $C_{r,n}$ 

| $n$                                                                 | $r/n$     |           |           |            |            |            |           |           |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
|                                                                     | 0,1       | 0,2       | 0,3       | 0,4        | 0,5        | 0,6        | 0,7       | 0,8       | 0,9       |
| 10                                                                  | – 2,880   | – 1,826   | – 1,267   | – 0,868 1  | – 0,543 6  | – 0,257 4  | 0,012 0   | 0,283 7   | 0,584 6   |
| 20                                                                  | – 2,547   | – 1,658   | – 1,147   | – 0,769 1  | – 0,454 8  | – 0,172 7  | 0,097 9   | 0,377 6   | 0,702 2   |
| 30                                                                  | – 2,444   | – 1,605   | – 1,108   | – 0,736 4  | – 0,425 3  | – 0,144 3  | 0,126 9   | 0,409 8   | 0,744 6   |
| 40                                                                  | – 2,394   | – 1,578   | – 1,089   | – 0,720 2  | – 0,410 6  | – 0,130 1  | 0,141 5   | 0,426 2   | 0,766 4   |
| 50                                                                  | – 2,365   | – 1,562   | – 1,077   | – 0,710 5  | – 0,401 8  | – 0,121 6  | 0,150 3   | 0,436 0   | 0,779 6   |
| 60                                                                  | – 2,345   | – 1,522   | – 1,069   | – 0,704 0  | – 0,395 9  | – 0,115 9  | 0,156 2   | 0,442 6   | 0,788 5   |
| 70                                                                  | – 2,331   | – 1,544   | – 1,064   | – 0,699 4  | – 0,391 7  | – 0,111 8  | 0,160 4   | 0,447 3   | 0,794 9   |
| 80                                                                  | – 2,321   | – 1,539   | – 1,060   | – 0,695 9  | – 0,388 6  | – 0,108 8  | 0,163 5   | 0,450 9   | 0,799 8   |
| 90                                                                  | – 2,313   | – 1,534   | – 1,056   | – 0,693 2  | – 0,386 1  | – 0,106 4  | 0,166 0   | 0,453 7   | 0,803 5   |
| 100                                                                 | – 2,307   | – 1,531   | – 1,054   | – 0,691 1  | – 0,384 1  | – 0,104 5  | 0,167 9   | 0,455 9   | 0,806 5   |
| $c_p$                                                               | – 2,250 4 | – 1,499 9 | – 1,030 9 | – 0,671 73 | – 0,366 51 | – 0,087 42 | 0,185 63  | 0,475 89  | 0,834 03  |
| $a_1$                                                               | – 5,574 3 | – 3,074 0 | – 2,285 9 | – 1,930 1  | – 1,761 9  | – 1,711 4  | – 1,772 7 | – 2,011 0 | – 2,777 3 |
| $a_2$                                                               | – 7,201   | – 1,886   | – 0,767   | – 0,335    | – 0,091    | 0,111      | 0,369     | 0,891     | 2,825     |
| Asymptotisch gilt für große $n$ : $C_{r,n} = c_p + a_1/n + a_2/n^2$ |           |           |           |            |            |            |           |           |           |

## 6.2 Unzensorierte (vollständige) Stichprobe

$$\hat{\beta} = \frac{n \kappa_n}{\frac{s}{n-s} \sum_{i=s+1}^n \ln x_i - \sum_{i=1}^s \ln x_i} \quad (10)$$

$$\hat{\theta} = \exp \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i + 0,5772 \frac{1}{\beta} \right] \quad (11)$$

Die Faktoren  $\kappa_n$  werden in Tabelle 3 angegeben.