

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>DIN IEC 60793-1-31<br/>(VDE 0888-231)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>DIN</b> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Diese Norm ist zugleich eine <b>VDE-Bestimmung</b> im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden. | <b>VDE</b> |
| <p>ICS 33.180.10</p> <p>Einsprüche bis 2009-06-30</p> <p>Vorgesehen als Ersatz für<br/>DIN EN 60793-1-31<br/>(VDE 0888-231):2002-10</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px auto; width: 200px;"><b>Entwurf</b></div> <p><b>Lichtwellenleiter –<br/>Teil 1-31: Messmethoden und Prüfverfahren –<br/>Zugfestigkeit<br/>(IEC 86A/1261/CD:2009)</b></p> <p>Optical fibres –<br/>Part 1-31: Measurement methods and test procedures –<br/>Tensile strength<br/>(IEC 86A/1261/CD:2009)</p> <p>Fibres optiques –<br/>Partie 1-31: Méthodes de mesure et procédures d’essai –<br/>Résistance à la traction<br/>(CEI 86A/1261/CD:2009)</p> <p><b>Anwendungswarnvermerk</b></p> <p>Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-04-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vorzugsweise als Datei per E-Mail an <b>dke@vde.com</b> in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <b>www.dke.de/stellungnahme</b> abgerufen werden</li> <li>– oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.</li> </ul> <p>Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</p> <p style="text-align: right;">Gesamtumfang 45 Seiten</p> <p style="text-align: center;">DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |

## Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

## Inhalt

|                                                                                      | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1.1 Hintergrund .....                                                                | 6     |
| 1.2 Gefährdungen .....                                                               | 7     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                       | 7     |
| 3 Prüfgeräte .....                                                                   | 7     |
| 3.1 Einspannen der Faser an den beiden Enden .....                                   | 7     |
| 3.2 Aufnahme der Probe .....                                                         | 8     |
| 3.3 Faserdehnung .....                                                               | 8     |
| 3.4 Messen der beim Bruch aufgewendeten Kraft .....                                  | 8     |
| 3.5 Regelung der Umgebungsbedingungen .....                                          | 9     |
| 4 Probenvorbereitung .....                                                           | 9     |
| 4.1 Definition .....                                                                 | 9     |
| 4.2 Stichprobengröße und Messlänge .....                                             | 9     |
| 4.3 Zusätzliche Messungen .....                                                      | 11    |
| 4.4 Umgebung .....                                                                   | 11    |
| 5 Durchführung .....                                                                 | 12    |
| 5.1 Vorbereitende Maßnahmen .....                                                    | 12    |
| 5.2 Verfahren für einen einzelnen Prüfling .....                                     | 12    |
| 5.3 Prüfverfahren für alle Proben bei einer gegebenen Nenn-Ziehgeschwindigkeit ..... | 12    |
| 6 Berechnungen .....                                                                 | 13    |
| 6.1 Umrechnung von Zugbelastung in Bruchspannung .....                               | 13    |
| 6.2 Erstellen eines Weibull-Funktionsgraphen .....                                   | 13    |
| 6.3 Schätzung der Weibull-Parameter .....                                            | 14    |
| 7 Prüfergebnisse .....                                                               | 15    |
| 7.1 Die nachfolgenden Angaben sollten für jede Prüfung aufgezeichnet werden: .....   | 15    |
| 7.2 Die nachfolgenden Angaben sollten für jede Prüfung zur Verfügung stehen: .....   | 15    |
| 8 Spezifikationsangaben .....                                                        | 15    |
| Anhang A (informativ) Typische Vorrichtungen für die dynamische Prüfung .....        | 16    |
| Anhang B (informativ) Leitfaden zum Einspannen der Faser .....                       | 18    |
| Anhang C (informativ) Leitfaden zur Beanspruchungsgeschwindigkeit .....              | 23    |
| Literaturhinweise .....                                                              | 24    |
| <b>Bilder</b>                                                                        |       |
| Bild 1 – Typischer Weibull-Funktionsgraph .....                                      | 10    |
| Bild 2 – Bimodaler Weibull-Funktionsgraph .....                                      | 11    |
| Bild A.1 – Abspannrollenanordnung .....                                              | 16    |
| Bild A.2 – Prüfvorrichtung für die Translation .....                                 | 16    |

|                                                                               | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Bild A.3 – Vorrichtung mit einer drehenden Abspannrolle.....                  | 17    |
| Bild A.4 – Vorrichtung für lange Längen mit drehenden Abspannrollen.....      | 17    |
| Bild A.5 – Mehrfachprüfvorrichtung mit drehenden Abspannrollen .....          | 17    |
| Bild B.1 – Allmähliches Herausgleiten .....                                   | 18    |
| Bild B.2 – Ungleichmäßiges Herausgleiten .....                                | 18    |
| Bild B.3 – Sägezahnartiges Herausgleiten .....                                | 19    |
| Bild B.4 – Annehmbare Übertragungsfunktion .....                              | 19    |
| Bild B.5 – Typische Abspannrolle .....                                        | 20    |
| Bild B.6 – Isostatisches Zusammenpressen.....                                 | 20    |
| Bild B.7 – Schneckenumwicklung .....                                          | 21    |
| Bild B.8 – Papierstreifentechnik.....                                         | 21    |
| Bild B.9 – Mehrpunkt-Klemmvorrichtung .....                                   | 22    |
| Bild C.1 – Regelungssystem für die Beanspruchungsgeschwindigkeit.....         | 23    |
| Bild C.2 – Zeitlicher Ablauf von Belastung und Verschiebegeschwindigkeit..... | 23    |

## Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 86A/1261/CD:2009 „Optical fibres – Part 1-31: Measurement methods and test procedures – Tensile strength“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 86A „Fibres and cables“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.6 „Lichtwellenleiter und Lichtwellenleiterkabel“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE ([www.dke.de](http://www.dke.de)) zuständig.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN 60793-1-31 (VDE 0888-231):2002-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Detaillierung des Messverfahrens und dessen Dokumentation;
- b) Anhänge A, B und C wurden hinzugefügt.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

| Europäische Norm   | Internationale Norm | Deutsche Norm                               | Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk |
|--------------------|---------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|
| EN 60793-1-20:2002 | IEC 60793-1-20:2001 | DIN EN 60793-1-20<br>(VDE 0888-220):2002-10 | VDE 0888-220                           |
| EN 60793-1-21:2002 | IEC 60793-1-21:2001 | DIN EN 60793-1-21<br>(VDE 0888-221):2002-11 | VDE 0888-221                           |

## Nationaler Anhang NB (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN 60793-1-20 (VDE 0888-220), *Lichtwellenleiter – Teil 1-20: Messmethoden und Prüfverfahren; Fasergeometrie*

DIN EN 60793-1-21 (VDE 0888-221), *Lichtwellenleiter - Teil 1-21: Messmethoden und Prüfverfahren; Beschichtungsgeometrie*

## Lichtwellenleiter – Teil 1-31: Messmethoden und Prüfverfahren – Zugfestigkeit

### 1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60793 legt Werte für die Zugfestigkeit von Lichtwellenleiter-Faserproben fest. Mit diesem Verfahren werden individuelle Längen nicht zu Kabeln verarbeiteter und nicht gebündelter Glasfasern geprüft. Faserabschnitte werden durch kontrolliert ansteigende Zugbeanspruchungen, die sich gleichmäßig über die gesamte Faserlänge und über alle Abschnitte verteilen, bis zum Bruch belastet. Die Zugbeanspruchung wird mit einer konstanten Nenngeschwindigkeit erhöht, bis Bruchstellen auftreten. Die Verteilung der Zugfestigkeitswerte einer gegebenen Faser hängt stark von der Probenlänge, Belastungsrate und den Umgebungsbedingungen ab. Die Prüfung kann für Nachweise verwendet werden, bei denen statistische Angaben über die Faserfestigkeit verlangt werden. Die Prüfergebnisse werden in Form einer statistischen Verteilung im Rahmen der Qualitätskontrolle dargestellt. Üblicherweise wird die Prüfung nach einer Temperatur- und Feuchtigkeitsvorbehandlung der Probe durchgeführt. In einigen Fällen kann es genügen, die Werte bei Raumtemperatur und üblichen Feuchtigkeitsbedingungen zu messen.

Dieses Verfahren gilt für Lichtwellenleiter der Typen A1, A2, A3 und B.

Der Zweck dieser Norm ist die Festlegung einheitlicher Anforderungen für die Prüfung der mechanischen Eigenschaften zum Nachweis der Zugfestigkeit.

#### 1.1 Hintergrund

Die Bruchspannungsverteilungen können zur Bewertung der Zuverlässigkeit einer Faser für verschiedene Bedingungen angewendet werden. In IEC TR 62048 werden die mathematischen Berechnungen dafür dargestellt. Zur Vervollständigung einer gegebenen Voraussage der Zuverlässigkeit muss mit den zur Charakterisierung einer Verteilung angewendeten Prüfungen folgendes untersucht werden:

- die Grundgesamtheit der Faser, z. B. Beschichtung, Fertigungsperiode, Durchmesser;
- Messlänge, d. h. Länge des geprüften Abschnitts;
- Beanspruchungsgeschwindigkeiten;
- Prüfumgebung;
- Vorbehandlung oder Alterungsmaßnahmen;
- Stichprobenumfang.

Mit diesem Verfahren wird die Festigkeit der optischen Faser bei einer festgelegten gleichmäßigen Dehnungsgeschwindigkeit gemessen. Es ist eine zerstörende Prüfung und somit nicht als Ersatz für Nachweisprüfungen geeignet.

Dieses Verfahren wird bei einer Messlänge von 0,5 m und einer festgelegten höchsten Dehnungsrate von 25 %/min für solche *typischen* Lichtwellenleiter angewendet, bei denen die mittlere Bruchspannung über 3,1 GPa (450 kpsi) liegt. Für Fasern mit einer kleineren mittleren Bruchspannung haben die Bedingungen dieser Norm keine ausreichende Genauigkeit erzielt.

Die Prüfung wird üblicherweise an „kurzen Längen“ bis zu 1 m, oder an „langen Längen“ von 10 m bis 20 m und mit einer Probenanzahl zwischen 15 und 30 ausgeführt.

Die Prüfumgebung und jegliche Vorbehandlung oder Alterung sind für den Ausgang der Prüfung entscheidend. Es erfolgt keine Festlegung auf ein Modell, nach dem die Prüfergebnisse von einer Umgebungsbedingung auf eine andere hochgerechnet werden. Bei einer gegebenen Beanspruchungsgeschwindigkeit nimmt die Bruchspannung jedoch ab, wenn die relative Luftfeuchte ansteigt. Sowohl Abnahme als auch Anstieg des gemessenen Spannungskorrosionsparameters und der Parameter für die Festigkeitsverteilung wurden als Ergebnis der Vorbehandlung bei erhöhter Temperatur und Feuchtigkeit für einen bzw. zwei Tage überwacht.

Diese Prüfung basiert auf der Theorie der Bruchmechanik spröder Werkstoffe und auf der Beschreibung des Potenzgesetzes für die Zunahme der Fehlstellen (siehe IEC TR 62048). Obwohl anderswo auch andere Theorien beschrieben wurden, ist die Bruchmechanik/Potenzgesetz-Theorie diejenige, die allgemein am meisten anerkannt ist.

Eine typische Grundgesamtheit besteht aus Fasern, die ungewollt beschädigt wurden bzw. umweltbedingt gealtert sind. Eine typische Faser hat einen Nenndurchmesser von 125 µm und eine Acrylat-Beschichtung mit einem Nenndurchmesser bis zu 250 µm. Für solche typische Grundgesamtheiten sind die Vorgabebedingungen festgelegt. Nicht typische Grundgesamtheiten können alternative Beschichtungen, umweltbedingt gealterte Fasern oder bewusst beschädigte bzw. verschlissene Fasern beinhalten. Für nicht typische Grundgesamtheiten ist ebenfalls eine Anleitung enthalten.

## 1.2 Gefährdungen

Bei der Prüfung werden die Abschnitte der Lichtwellenleiter gedehnt bis eine Bruchstelle auftritt. Aufgrund des Bruches kann es vorkommen, dass Glassplitter im Prüffeld zerstreut werden. Es wird empfohlen Schutzschirme zu verwenden. Über die gesamte Zeit müssen im Prüffeld Schutzbrillen getragen werden.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60793-1-20, *Optical fibres – Part 1-20: Measurement methods and test procedures – Fibre geometry*

IEC 60793-1-21, *Optical fibres – Part 1-21: Measurement methods and test procedures – Coating geometry*

## 3 Prüfgeräte

Dieser Teil legt die grundlegenden Anforderungen an die Vorrichtungen fest, welche für die Prüfung der dynamischen Festigkeit verwendet werden. Es gibt viele Ausführungen, die diesen Anforderungen gerecht werden können. Einige Beispiele werden in Anhang A vorgestellt. Die Wahl für eine bestimmte Ausführung ist abhängig von solchen Faktoren wie:

- der Messlänge eines Prüflings,
- der Auswahl der Beanspruchungsgeschwindigkeit,
- den Umweltbedingungen,
- der Festigkeit der Prüflinge.

### 3.1 Einspannen der Faser an den beiden Enden

Die zu prüfende Faser wird an den beiden Enden eingespannt und gedehnt, bis ein Bruch im Bereich der Messlänge auftritt. Die Einspannvorrichtung darf bis zum Bruch der Faser kein Herausgleiten zulassen und muss einen Bruch im Bereich der Einspannvorrichtung soweit wie möglich verhindern.

Ein in der Einspannvorrichtung auftretender Bruch ist aufzuzeichnen, aber nicht für spätere Berechnungen zu verwenden. Durch die während der Prüfung zunehmende Faserdehnung tritt ein geringer Schlupf in der Einspannvorrichtung auf. Bei größerer Beanspruchung kann das mit der kurzen Messlänge zusammenhängende Herausgleiten Beschädigungen am Probenhalter verursachen und Ursache von Fehlern sein, die schwierig festzustellen sind. Die Häufigkeit solcher Fehler ändert sich häufig mit der Beanspruchungsgeschwindigkeit. Um der Möglichkeit einer Einflussnahme auf die Analyse durch Fehler an der Einspannvorrichtung vorzubeugen, ist es notwendig die Faserrückstände bzw. alle weiteren Umstände sorgfältig zu untersuchen.

Eine üblicherweise mit einem elastomeren Mantel umhüllte Abspannrolle ist zum Einspannen zu verwenden (siehe Bild A.1). Der Abschnitt der Faser, der nicht geprüft werden soll, wird mehrmals um die Abspannrolle

gewickelt und an den Enden zum Beispiel mit Gummiband gesichert. Das Umwickeln der Faser erfolgt ohne Überkreuzen. Die Oberfläche der Abspannrolle muss strapazierfähig genug sein, damit die Faser diese bei voller Belastung nicht einschneidet. Der Schlupf und Fehler bedingt durch die Abspannrolle hängen von der Beeinflussung durch die Faserbeschichtung, des Oberflächenwerkstoffs der Abspannrolle, der Dicke und der Anzahl der Umwicklungen ab. Es sind im Vorfeld sorgfältige Prüfungen notwendig, um die Wahl für eine Abspannrollenoberfläche zu bestätigen.

Die Durchmesser von Abspannrolle und Umlenkrolle müssen so ausgeführt sein, dass die Faser durch die Biegebelastung auf der Abspannrolle nicht bricht. Für die üblichen Glasmantel-Fasern dürfen die Biegebeanspruchungen 0,175 GPa nicht überschreiten. (Für die typische 125/250 µm Glasfaser beträgt hier der kleinste Durchmesser der Abspannrolle 50 mm.) Besonderheiten des Einspannens der Faser werden in Anhang B behandelt.

### 3.2 Aufnahme der Probe

Der Prüfling wird in den beiden Einspannvorrichtungen befestigt. Die Messlänge entspricht der Länge in der die Faser zwischen den Achsen der Abspannrollen eingespannt ist, bevor sie gedehnt wird. Es dürfen eine oder mehrere Umlenkrollen verwendet werden, über die der Prüfling aufgenommen werden kann, um den für Prüfungen an den langen Messlängen notwendigen Platzbedarf zu verringern (siehe Anhang A, Bild A.4). Die Oberflächen dürfen keine Ablagerungen aufweisen und die Umlenkrollen müssen so ausgeführt sein, dass die Faser durch sie nicht beschädigt werden kann. Die von den Umlenkrollen und Einspannvorrichtungen nicht betroffenen Teile der Faser dürfen nicht berührt werden.

Werden wie in Bild A5 des Anhangs A mehrere Fasern gleichzeitig geprüft, ist eine Prallflächenvorrichtung erforderlich, um zu verhindern, dass durch den Bruch einer Faser diese in die anderen zu prüfenden Fasern hinübergeschleudert wird bzw. diese anderweitig beeinträchtigt.

### 3.3 Faserdehnung

Die Faser wird mit einer festgelegten Nenn-Ziehgeschwindigkeit gedehnt, bis sie bricht. Die Nenn-Ziehgeschwindigkeit wird bezüglich der Messlänge angegeben als prozentuale Zunahme der Länge je Minute. Es gibt zwei grundsätzliche Verfahren, die Faser zu dehnen:

Verfahren A: Der Anfangsabstand, welcher der Messlänge entspricht, zwischen den Abspannrollen der Einspannvorrichtungen wird vergrößert, indem beide sich mit einer festgelegten Ziehgeschwindigkeit auseinander bewegen (siehe Anhang A, Bild A.2)

Verfahren B: Auf einer sich mit einer festgelegten Geschwindigkeit drehenden Abspannrolle wird die Faser aufgewickelt und der Abschnitt zwischen den Abspannrollen gedehnt (siehe Anhang A, Bilder A.3 bis A.5). Das Aufwickeln der Faser auf der Abspannrolle muss ohne Überkreuzen erfolgen.

Die Dehnungsgeschwindigkeit wird auf  $\pm 10\%$  der Nenn-Dehnungsgeschwindigkeit kalibriert. Manche Einrichtungen sind rechnergesteuert und ermöglichen die dynamische Steuerung der Bewegung der Abspannrollen, um eine gleichmäßige Beanspruchungsgeschwindigkeit erreichen. Eine gesonderte Anleitung darüber wird in Anhang C behandelt.

Die Dehnungsgeschwindigkeit muss zwischen Kunde und Lieferant vereinbart werden. Üblicherweise wird ein Bereich von 2,5 % bis 5 % bzw. 15 % bis 25 % für die Dehnungsgeschwindigkeit verwendet.

### 3.4 Messen der beim Bruch aufgewendeten Kraft

Für jeden Prüfling wird mit Hilfe einer bis auf 1 % der tatsächlichen Kraft kalibrierten Kraftmesszelle die Zugbelastung (Zugkraft) beim Bruch gemessen. Dies kann auf verschiedene Weise erfolgen:

- mit einem Streifenschreiber;
- Messgerät mit Spitzenwertspeicher;
- Computererfassung der Messdaten.

Für die Bestimmung der Beanspruchungsgeschwindigkeit ist ein Verfahren zur Messung der Zuglast als Funktion der Zeit vorzusehen. Dies ist nicht für jede einzelne Prüfung notwendig, muss aber gelegentlich wiederholt werden.

Die Kraftmesszelle ist für jede Größenordnung der Bruchbelastungen auf 0,5 % der Bruch-, bzw. der Höchstbelastung zu kalibrieren, wobei dies sich auf die selbe Art und Weise bezieht, als wenn eine Faser geprüft wird. Dies erfolgt indem der Prüfling durch eine Schnur, befestigt an einem bekannten Gewicht, ersetzt wird. Für das Verfahren B kann eine leichte Umlenkrolle mit geringer Reibung anstelle der nicht an der Kraftmesszelle befestigten Abspannrolle verwendet werden. Die an dem einen Ende an der Abspannrolle der Kraftmesszelle und an dem anderen Ende an einem bekannten Gewicht befestigte Schnur muss die Ausrichtung eines Prüflings nachempfinden und einen vergleichbaren Durchmesser zu dem eines Prüflings haben. Mindestens drei Kalibriergewichte im Bereich der üblichen Ausfälle werden empfohlen.

### 3.5 Regelung der Umgebungsbedingungen

Da bekannt ist, dass die gemessene Bruchspannung und die Alterungsmerkmale sich mit der Temperatur und der Feuchtigkeit der Faser ändern, muss während der Vorbehandlung und der Prüfung beides geregelt werden. Viele Anlagen sind in der Lage die erforderlichen Regelvorgänge, einschließlich der für einen gesamten Prüfraum, auszuführen.

Typische Anforderungen an die Regelung sind:

- Temperatur:  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$
- Relative Luftfeuchte  $(50 \pm 5) \%$

Durch Einkapselung des Prüflings können auch andere umweltbedingte Prüfungen ausgeführt werden, wie hohe Feuchtigkeit ohne Niederschlag, indem Wasserdampf in die Einkapselung eingespeist wird. Bild A.5 in Anhang A zeigt eine Mehrfachprüfvorrichtung, die eine Einkapselung über einem zirkulierenden Wasserbad vorsieht.

## 4 Probenvorbereitung

### 4.1 Definition

Eine Probe besteht aus mehreren Faserabschnitten einer festgelegten Grundgesamtheit. Prüflinge sind Teilabschnitte einer Probe, die lang genug für die geforderte Messlänge sind. Die Anzahl der für eine festgelegte Nenn-Ziehgeschwindigkeit verwendeten Prüflinge ist die Stichprobengröße. Für die Spannungs-korrosionsparameter sollte die Grundgesamtheit aus einer zusammenhängenden Länge einer Fertigung stammen.

Für LWL-Bänder werden die Prüflinge einheitlich aus einer Bandstruktur ausgewählt. Die Faser ist sorgfältig vom Band zu lösen, um eine ungewollte Verminderung der Festigkeit zu vermeiden.

### 4.2 Stichprobengröße und Messlänge

Das Ergebnis der Prüfung ist eine statistische Verteilung des Wertes der Bruchspannung. Demzufolge sind alle aufgezeichneten Parameter statistischer Natur mit Schwankungen, die im Verhältnis zur Stichprobengröße stehen und zu den Schwankungen der Größe der Fehlstellen innerhalb der Proben. Im Bild 1 wird eine typische Verteilung im Format eines Weibull-Funktionsgraphen dargestellt (siehe 6.2).

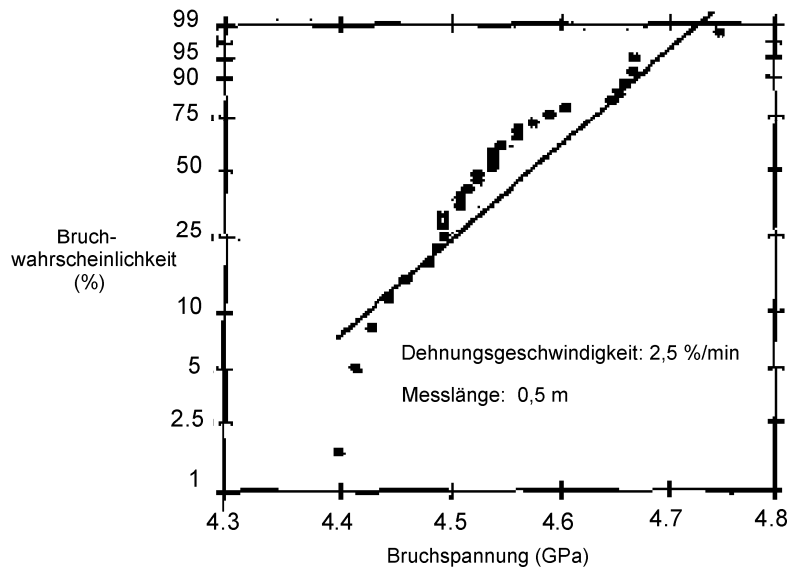


**Bild 1 – Typischer Weibull-Funktionsgraph**

Der schwächste Punkt bzw. die größte Fehlstelle eines Prüflings wird brechen und die typische Bruchspannung nimmt mit zunehmender Messlänge ab. Die Fehlstellen einer festgelegten Grundgesamtheit können aus verschiedenen Gründen entstanden sein. Ein Beispiel ist die anhand des Weibull-Funktionsgraphen im Bild 2 dargestellte bimodale Gesamtverteilung. Der senkrechte Anteil rechts wird als der intrinsische Bereich und der mehr waagerechte Anteil als der extrinsische Bereich bezeichnet.

Beim Prüfen an einer Messlänge von 0,5 m werden üblicherweise keine Fehlstellen aus dem extrinsischen Bereich gemessen. Von Zeit zu Zeit wird dennoch die Bruchspannung für eine extrinsische Fehlstelle gemessen und tritt als „Ausreißer“ auf. Wird der Ausreißer in die Datenanalyse einbezogen, werden Fehler in den Parametern auftreten. Es wird empfohlen einheitlich Verfahren zu verwenden, welche für die übliche Prüfung Ausreißer ausschließen.

Für Prüfungen, welche zur Messung der Kennwerte des extrinsischen Bereichs ausgelegt sind, werden beträchtliche Stichprobengrößen (Hunderte von Prüflingen) und lange Messlängen (20) m empfohlen. Zum Messen der Kennwerte des intrinsischen Bereichs, gemäß dieser Norm, wird häufig eine Messlänge von 0,5 m verwendet. Für die Prüfung der dynamischen Festigkeit wird oftmals eine Stichprobengröße von 30 herangezogen. Jede Abweichung von diesen Werten ist in der Bauartspezifikation festzulegen.

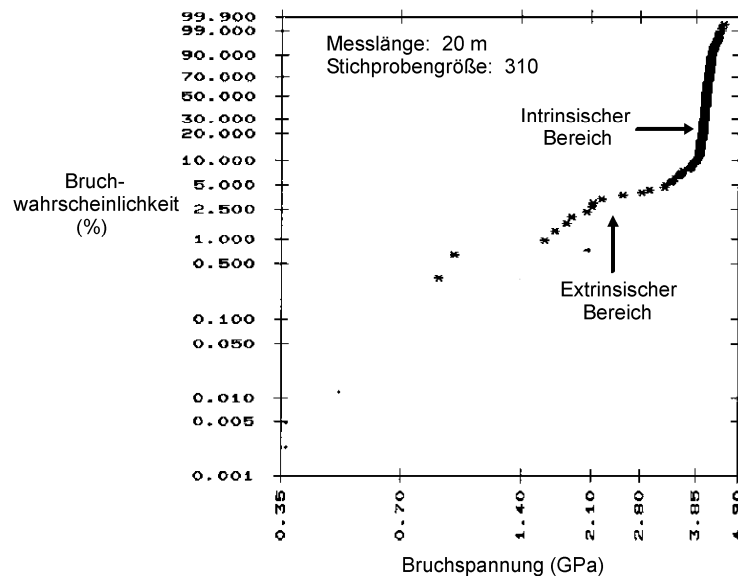


**Bild 2 – Bimodaler Weibull-Funktionsgraph**

Um zu ermitteln ob eine festgelegte Genauigkeit erreicht wurde, können statistische Analysen durchgeführt werden.

### 4.3 Zusätzliche Messungen

Für die Berechnungen der Bruchspannung ist es erforderlich, die Zugbelastung in die Querschnittsspannung des Glasanteils der Faser umzuwandeln. Zur Ermittlung der Querschnittsfläche wird in dieser Berechnung der nach IEC 60793-1-20 gemessene Manteldurchmesser verwendet. Die Querschnittsspannung des Glasanteils wird vermindert, da die Beschichtung auch einen Teil der Zugbelastung trägt. Abschnitt 6.1 enthält die Gleichungen zur Bruchspannungsberechnung.

Der Beschichtungs-Korrekturfaktor ist abhängig von Beschichtungsdicke, welche nach IEC 60793-1-21 bzw. mit Young-Modul für jede Schichtauflage und jedes Glasmodul gemessen wird. Das Modul der festen Schichtauflagen wird oftmals vom Hersteller bezeichnet. Für typische Fasern liegt der Anteil der Beeinflussung auf die Gesambelastung durch die Beschichtung bei weniger als 5 % der Gesamtlast und ein Ausgleich (also Messungen) für die Beschichtung ist nicht erforderlich (siehe 6.1). Wenn so verfahren wird, ist die aufgezeichnete Bruchspannung durch einen festgesetzten prozentualen Anteil größer als die tatsächliche. Wird die Beeinflussung durch die Beschichtung ausgeglichen, darf für alle Prüflinge ein Durchschnitts- bzw. Nennwert verwendet werden. Der Einfluss der Schichtmodule auf die Bruchspannung kann sich mit der Beanspruchungsgeschwindigkeit verändern. Beträgt bei irgendeiner Beanspruchungsgeschwindigkeit der Anteil der Beeinflussung mehr als 5 % der Gesamtbelastung, dann ist der Einfluss der Beschichtung in die Berechnung einzubeziehen.

### 4.4 Umgebung

Es gibt zwei grundlegende umgebungsbedingte Betrachtungen: Umgebung für den Alterungsprozess und die Prüfumgebung.

Manchmal wird eine Alterung der Faser gefordert. Sogar kurze beschleunigte Alterung kann bei manchen Fasern eine Zunahme bzw. Abnahme der gemessenen Festigkeit zur Folge haben. Die Ursachen dieser Erscheinung sind noch nicht vollständig aufgeklärt. Als Folge davon werden Hochrechnungen über die Umgebungsbedingungen bei beschleunigender Alterung zu anderen Umgebungen untersucht.

Nach einer umfassenden Alterung kann sich der Reibungsschluss auf der Beschichtungsoberfläche geändert haben. Nach jeder Alterung und vor jeder Prüfung sollten die Faserprüflinge mindestens 12 Stunden in der Prüfumgebung vorbehandelt werden.

Die typische Prüfumgebung hat eine Temperatur von 23°C ( $\pm 2$ ) und eine relativen Luftfeuchte von 50 % ( $\pm 5$ ). Die Wahl einer anderen Umgebung, wie eine hohe nicht kondensierende Feuchtigkeit, kann erheblich andere Werte für die Bruchspannung ergeben.

## 5 Durchführung

### 5.1 Vorbereitende Maßnahmen

5.1.1 Alterung des Prüflings, wenn gefordert.

5.1.2 Vorbehandlung der Prüflinge.

### 5.2 Verfahren für einen einzelnen Prüfling

5.2.1 Befestigung des Prüflings an den Abspannrollen und Sicherstellen, dass die Faser sich nicht überkreuzt oder durch die Befestigung im Bereich der Messlänge beschädigt wird.

5.2.2 Überprüfung der für die Nenn-Ziehgeschwindigkeit verlangten Einstellungen an der Vorrichtung.

5.2.3 Die Anzeige für die Zugspannungsaufzeichnung in Grundstellung bringen.

5.2.4 Mit der Abspannrollenbewegung beginnen. Bei einer Nenn-Ziehgeschwindigkeit von bis zu 0,03 %/min darf der Prüfling mit 0,3 %/min bis zur Hälfte der bei der langsameren Geschwindigkeit erwarteten Bruchspannung vorgespannt werden. Die erwartete Bruchspannung kann aus den Ergebnissen bei höheren Geschwindigkeiten abgeleitet werden. Beschädigt das Prüfen die Faser, wird das Vorspannen nicht empfohlen, es sei denn, dass die erwartete Zeit bis zum Bruch mehr als 4 Stunden beträgt.

5.2.5 Zum Zeitpunkt des Bruchs wird die Abspannrolle angehalten, die Bruchbelastung und wenn erforderlich die Beanspruchungsgeschwindigkeit aufgezeichnet.

5.2.6 Überprüfung, dass der Bruch nicht im Bereich der Abspannrolle aufgetreten ist. Ist dies der Fall, wird die Messung gekennzeichnet, so dass sie nicht in die Berechnungen aufgenommen wird.

5.2.7 Die verbliebene Faser wird aus der Abspannrolle entfernt und zusätzliche Messungen werden, wenn notwendig, wie in 4.2 ausgeführt.

### 5.3 Prüfverfahren für alle Proben bei einer gegebenen Nenn-Ziehgeschwindigkeit

5.3.1 Die Nenn-Ziehgeschwindigkeit und alle Merkmale der Grundgesamtheit werden aufgezeichnet.

5.3.2 Es wird festgestellt, ob die Einflüsse der Beschichtung auszugleichen sind. In dem Fall werden die entsprechenden Parameter der Beschichtung aufgezeichnet (siehe 6.1). Der Mantelinnendurchmesser wird erfasst, wenn der Nennwert für die Berechnung der Beanspruchung verwendet wird.

5.3.3 5.2 wird für jeden Prüfling durchgeführt.

5.3.4 Für die Berechnung der Bruchspannung aller Prüflinge wird nach 6.1 vorgegangen und diese in ansteigender Reihenfolge sortiert.

5.3.5 Fertigstellung des Weibull-Funktionsgraphen (siehe Bild 1 und 2) mit Hilfe von 6.2, wenn notwendig. Wenn notwendig, werden die Weibull-Parameter  $m_d$  und  $S_0$  nach 6.3 ermittelt.

5.3.6 Sofern für die Bearbeitung erforderlich, werden der Halbwert der Bruchspannung  $\sigma_{50}$  und 15 % der Bruchspannung  $\sigma_{15}$  nach 6.2 berechnet.

## 6 Berechnungen

### 6.1 Umrechnung von Zugbelastung in Bruchspannung

Folgende Formelzeichen und Einheiten werden verwendet:

- |                                                       |       |
|-------------------------------------------------------|-------|
| – Faserabmessungen                                    | μm    |
| – Messlänge                                           | m     |
| – Beanspruchung $\sigma$ und Bruchspannung $\sigma_f$ | GPa   |
| – Zugbelastung $T$ und Bruchbelastung $T_f$           | N     |
| – Beanspruchungsgeschwindigkeit $\dot{\sigma}$        | GPa/s |

Verfahren A:

Mit  $D_G$  als Manteldurchmesser und wenn die Belastung im Wesentlichen der Zugbelastung  $T$  entspricht, ergibt die Gleichung (1) die Beanspruchung ohne einen Ausgleich für die Beschichtung:

$$\sigma = \frac{4 \times 10^3 T}{\pi D_g^2} \quad \text{in GPa.} \quad (1)$$

Verfahren B:

Mit einem Ausgleich für die Beschichtung wird die folgende Gleichung verwendet. Der Bruch wird berechnet:

$$R = \frac{E_0 A_0}{E_0 A_0 + \sum_{j=1}^N E_j A_j}, \quad (2a)$$

Dabei ist

$E_0$  Young-Modul für das Glas ist, üblicherweise 70,3 GPa für Quarzglas

$A_0$  Querschnittsfläche der Glasfaser

bei  $N$  Schichtauflagen, angezeigt durch  $j$ ,  $E_j$  und  $A_j$  entsprechend für jede Schicht der Young-Modul bzw. die Querschnittsfläche der Schicht

Die Beanspruchung mit einem Ausgleich für die Beschichtung ist gegeben durch:

$$\sigma_c = \sigma R \quad (2b)$$

### 6.2 Erstellen eines Weibull-Funktionsgraphen

In Bild 1 wird ein typischer Weibull-Funktionsgraph gezeigt, wobei die durch die Werte hindurch gezeichnete Gerade die optimale Weibull-Verteilung darstellt. Während die Weibull-Funktionsgraphen üblicherweise für die Darstellung einer gegebenen Nenn-Ziehgeschwindigkeit verwendet werden, kann die tatsächliche Verteilung von Weibull abweichen (siehe Bild 2).

**6.2.1** Die Werte der Bruchspannung werden in ansteigender Reihenfolge sortiert.

**6.2.2** Die Rangzahlen einer gegebenen Bruchspannung werden durch  $k$  dargestellt, z. B.  $k = 1, 2, 3, \dots, N$  und  $\sigma_{fk}$  entspricht der  $k$ -ten Bruchspannung.

Es gilt

$$x_k = \ln \sigma_{fk} \quad (3a)$$

und

$$y_k = \ln \left[ 1 - \frac{k-0,5}{N} \right] \quad (3b)$$

**6.2.3**  $y_k$  wird im Verhältnis zu  $x_k$  aufgezeichnet. Die Achsen werden mit den zugehörigen Werten für die Wahrscheinlichkeit und der Bruchspannungen gekennzeichnet.

### 6.3 Schätzung der Weibull-Parameter

Die kumulative Frequenzfunktion der Weibull-Verteilung ist gegeben mit

$$F = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\sigma}{S_0} \right)^{m_d} \right] \quad (4a)$$

wobei  $F$  mit  $\frac{k-0,5}{N}$  aus Gleichung (3b) übereinstimmt. Daraus folgt:

$$y_k \approx m_d \ln \left( \frac{\sigma_{fk}}{S_0} \right) \quad (4b)$$

#### 6.3.1 Methode A – Einfache Methode nach Rangfolge

Für übliche Stichprobengrößen (siehe 4.1) kann die folgende Methode angewendet werden. Ermitteln der Werte

$$k_1 \approx 0,15N + 0,5, \quad k_2 \approx 0,85N + 0,5, \quad k_3 \approx 0,5N + 0,5 \quad (5)$$

Berechnen mit

$$m_d = \frac{y_{k2} - y_{k1}}{x_{k2} - x_{k1}} \quad (6a)$$

und

$$S_0 = \exp \left[ \frac{0,366512}{m_d} + x_{k3} \right] \quad (6b)$$

#### 6.3.2 Methode B – Methode der maximalen Wahrscheinlichkeitsabschätzung (en: Maximum-Likelihood-Estimation – MLE)

Der Logarithmus der Wahrscheinlichkeitsfunktion lautet:

$$\ln[L(m_d, S_0)] = N \ln(m_d) - N m_d \ln(S_0) + (m_d - 1) \sum_{k=1}^N \ln(\sigma_{fk}) - S_0^{-m_d} \sum_{k=1}^N \sigma_{fk}^{m_d} \quad (7)$$