# Über die Spannungsrisskorrosion bei Glasfasern

Autor(en): **Hunkeler, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **79 (1988)**

Heft 1

PDF erstellt am: **01.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-903968

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Über die Spannungsrisskorrosion bei Glasfasern

F. Hunkeler

***Glasfasern werden in naher Zukunft weltweit ein wichtiges Glied in der Kommunikations-, Datenübertragungs- und Überwachungstechnik darstellen. Funktion und Dauerhaftigkeit von Glasfasern sind daher von ganz besonderer Bedeutung. Beide können aber durch mechanische und chemische Einflüsse, insbesondere durch Spannungsrisskorrosion, beeinträchtigt werden. In der vorliegenden Arbeit werden einige grundsätzliche Aspekte der Spannungsrisskorrosion diskutiert und Erkenntnisse aus einer neueren Forschungsarbeit vorgestellt. Dabei geht es im wesentlichen um die Gefährdung der Glasfasern durch Wasser oder Wasserdampf bei gleichzeitig einwirkender permanenter Zugspannung.***

***Les fibres de verre deviendront bientôt un membre important de la technique de communication, de transmission de données et de surveillance. Leur fonction et leur durabilité ont par conséquent une grande importance, mais elles peuvent être endommagées par des influences mécaniques ou chimiques, notamment par la corrosion fissurante sous tension. Quelques aspects essentiels de ce genre de corrosion et des connaissances acquises par un nouveau travail de recherche sont indiquées. Il s'agit surtout de l'endommagement des fibres de verre par l'eau ou la vapeur d'eau, simultanément à une tension agissant en permanence.***

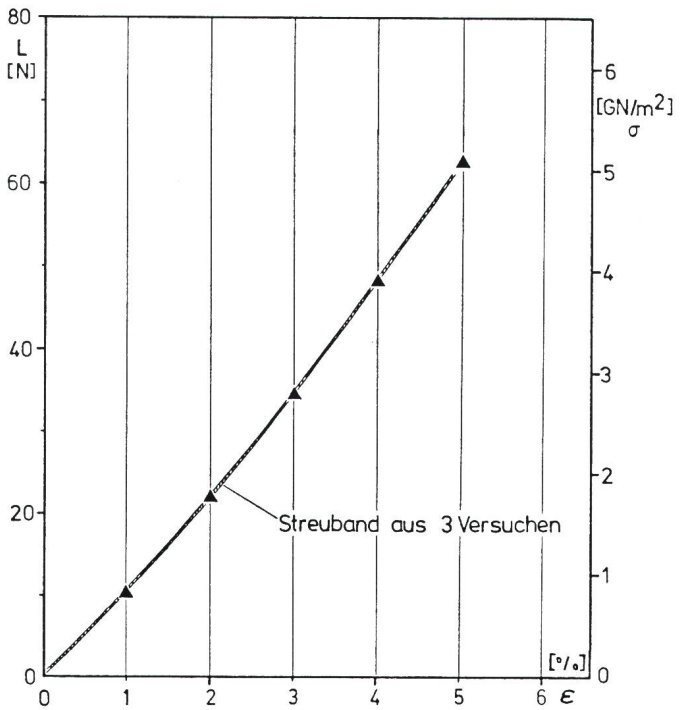
**Adresse des Autors**
Dr. *Fritz Hunkeler*, Dipl. Ing. ETH, Korrosionskommission, Seefeldstrasse 301, 8034 Zürich

Glasfasern werden heute weltweit zur Signalübertragung eingesetzt. Wenige der Anwender aber geben sich Rechenschaft über den Aufwand, den Hersteller von Glasfasern bzw. Glasfaserkabeln betreiben, um einen dauerhaften Schutz gegen mechanisches Überlasten und gegen chemische Umwelteinflüsse zu erreichen. Eine der schon früh erkannten Gefahren für Glas stellt die Spannungsrisskorrosion durch Wasser in kondensierter Form oder als Wasserdampf in der Luft dar. Die Spannungsrisskorrosion als Phänomen ist durch das tragische Hallenbadunglück in Uster einer breiteren Öffentlichkeit bekannt geworden.

Im folgenden sollen die grundsätzlichen Aspekte der Spannungsrisskorrosion bei Glas und einige Resultate eines Forschungsprogrammes über die mechanische und chemische Beständigkeit von Glasfasern für optische Anwendungen vorgestellt werden. Die von der Generaldirektion der PTT finanziell unterstützten Untersuchungen wurden am Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion der ETHZ unter der Leitung des Autors durchgeführt. Die Resultate dieser Untersuchungen wurden zwar an Einzelfasern (Single-Mode-Fasern verschiedener Herkunft) gewonnen, sind aber grundsätzlich auch auf Einzelfasern in Kabeln übertragbar.

## 1. Mechanisches Verhalten

Unter Zugspannung dehnen sich Glasfasern rein elastisch. Beim Erreichen einer kritischen Spannung, der sogenannten Zugfestigkeit oder Bruchspannung $\sigma_B$, brechen die Fasern verformungslos, d.h. spröde. Der Zusammenhang zwischen Spannung $\sigma$ und Dehnung $\varepsilon$ ist nicht, wie man vielleicht erwartet, linear (Fig. 1). Der Grund hierfür liegt in der mit der Zug-




**Figur 1**
**Spannungs-Dehnungskurve einer Single-Mode-Glasfaser**

Die gemäss Gl. 1 mit $\delta = -2{,}7$ und $E = 85$ GN/m² berechneten Werte (▲) sind in guter Übereinstimmung mit der mittels Feindehnungsmessung ermittelten Kurve.

$L$ Last
$\sigma$ Spannung
$\varepsilon$ experimentelle Dehnung
$E$ Elastizitätsmodul
$\delta$ Nichtlinearitätsparameter

spannung bzw. Dehnung zunehmenden Querkontraktion der Faser (Reduktion des Querschnittes). Die korrekte Beschreibung des *Spannungs-Dehnungs-Verhaltens* gibt die folgende Gleichung:

$$\sigma = \frac{E}{2\delta}\left[-1 + (1 + 4\delta\varepsilon_{exp})^{1/2}\right]$$

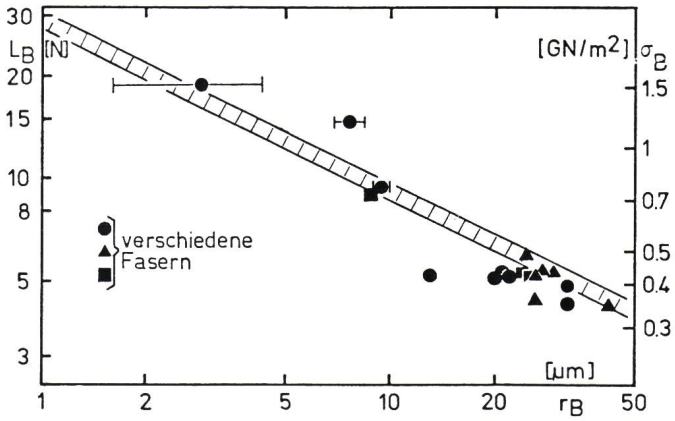
wobei E der Elastizitätsmodul, $\delta$ der Nichtlinearitätsparameter, $\varepsilon_{exp}$ die experimentell, z.B. über Feindehnungsmessung, bestimmte Dehnung an den Glasfasern ist. Bertholds et al. [1], welche erstmals das nichtlineare Spannungs-Dehnungs-Verhalten bei Glasfasern quantitativ untersucht haben, bestimmten $\delta$ zu $-2{,}7 \pm 0{,}3$.

Die Zugfestigkeit heutiger Glasfasern (∅ 125 µm) liegt mit Werten um 5 GN/m² (5 Giga-Newton pro m² entsprechend etwa 60 N pro Faser von ∅ 125 µm) gegenüber ältern Fasern (Werte um 1 GN/m²) weit höher. Verbesserte Produktionsanlagen mit fast klinisch reiner Atmosphäre, reineren Ausgangsmaterialien, verbesserten Beschichtungen und Beschichtungsverfahren usw. führten zu diesem Erfolg.

Die Bruchflächen von gerissenen Fasern weisen bei der Anrissstelle (Ausgangspunkt für Riss) ein charakteristisches Aussehen auf (Fig. 2). Man bezeichnet diesen angerissenen Bereich als *Bruchspiegel*. Der Radius des Bruchspiegels $r_B$ ist umgekehrt proportional zum Quadrat der Spannung $\sigma_B$, mit der die Faser belastet wurde (Fig. 3):

$$r_B = k/\sigma_B^2 \qquad (2)$$

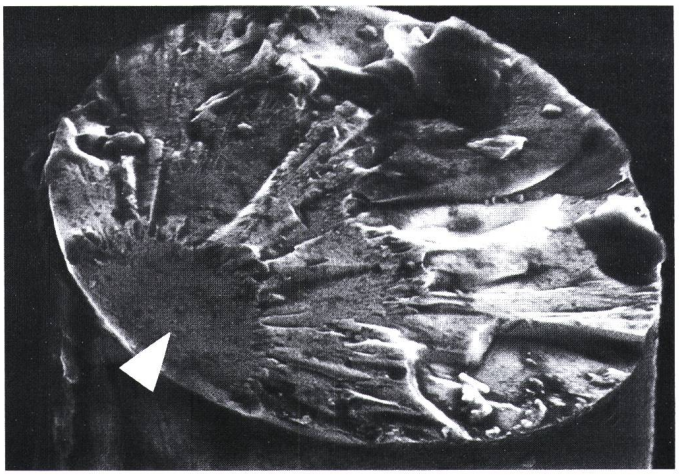
wobei $k$ eine empirische Konstante ist [2; 3]. Diese Beziehung ist unter Umständen zur Schadenanalyse wertvoll.




**Figur 3**
**Zusammenhang zwischen Bruchlast $L_B$ bzw. Bruchspannung $\sigma_B$ und Bruchspiegelradius $r_B$**
gemäss Gl. 2 und [2; 3] sowie Messwerte von Fasern verschiedener Hersteller.

Bei hoher Spannung (>2 GN/m²) ist $r_B$ allerdings sehr klein (<1 µm) und kann kaum mehr bestimmt werden.

Bei der experimentellen Bestimmung der Zugfestigkeit von Glasfasern ist die *Dehngeschwindigkeit* ($d\varepsilon/dt$), d.h. die Geschwindigkeit, mit der die Faser gedehnt wird, von wesentlicher Bedeutung. Glasfasern zeigen, wie im übrigen viele andere Materialien auch (Metalle, Beton usw.), eine mit zunehmender Dehngeschwindigkeit steigende Zugfestigkeit. Dieser Zusammenhang kann mathematisch formuliert werden und unter gewissen Umständen (kein Mechanismuswechsel) für die ungefähre Vorhersage der Lebensdauer von Fasern, die unter konstanter Zugspannung stehen, benutzt werden [4; 5; 6]. Die Figur 4 zeigt hierzu ein Beispiel und vergleicht die erhaltene Kurve mit tatsächlich gemessenen und extrapolierten Lebensdauerwerten. Damit dieser Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf die Festigkeit erklärt werden kann, müssen zuerst einige grundsätzliche Aspekte der Spannungsrisskorrosion bei Glas erläutert werden.



**Figur 2**
**Bruchfläche**
Das Beispiel zeigt eine Bruchoberfläche mit einem relativ grossen Bruchspiegel (Pfeil). Der Bruchspiegelradius beträgt etwa 27 µm. Die Probe ist bei 0,43 GN/m² (entsprechend einer Faserbelastung von etwa 5,2 N) gerissen.

## 2. Spannungsrisskorrosion bei Glas

Spannungsrisskorrosion tritt wie bei vielen andern Materialien auch bei Glas bzw. Glasfasern auf. Dabei handelt es sich um einen schwer erkennbaren Vorgang, der in der Regel unerwartet zum Bruch des zugbelasteten Werkstoffes führt. Die Ursache für solch plötzliches Versagen ist das durch die mechanische Zugspannung und die Umgebung beeinflusste langsame Wachstum eines Risses bis zur kritischen, den Bruch auslösenden Grösse. Dieser Vorgang wird als *unterkritisches Risswachstum* bezeichnet.

Bei Glas wird Spannungsrisskorrosion, soweit heute bekannt ist, nur durch flüssiges Wasser oder Wasserdampf aus der Umgebung ausgelöst. Im Vakuum oder im flüssigen Stickstoff wird keine Spannungsrisskorrosion beobachtet [4; 7; 8]. Der Einfluss des Wassers wird damit erklärt, dass Wasser an der Rissspitze mit den Bestandteilen des Glases chemisch reagiert und damit die für den Rissfortschritt notwendige Energie reduziert [9; 10].

Die Rissgeschwindigkeit $v$ ist von der Zugspannung $\sigma$, von der Länge $c$ und der Geometrie Y des Risses sowie von den Materialkonstanten $A$ und $n$ abhängig [4; 5; 11]:

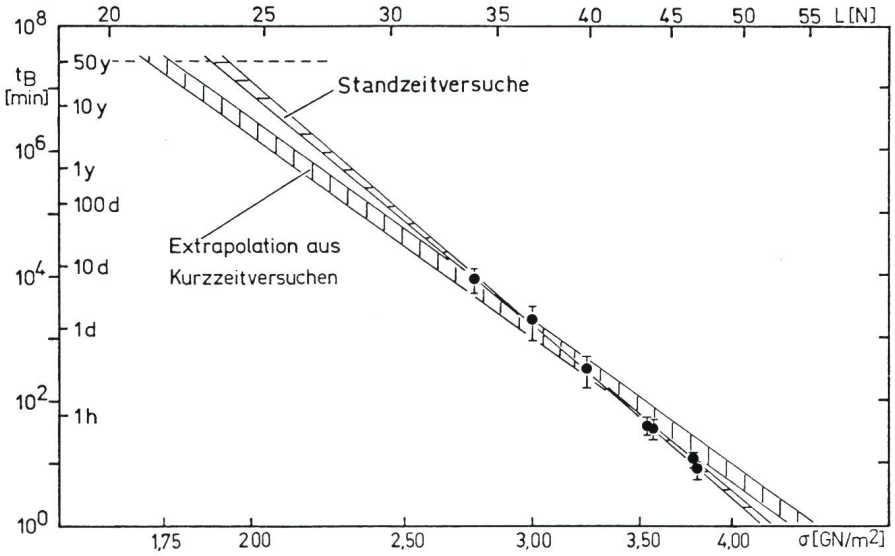
$$v = f(A\,K_I^n) \qquad (3a)$$

mit

$$K_I = \sigma\sqrt{c}\,Y \qquad (3b)$$

Die Grösse $K_I$ wird als Spannungsintensitätsfaktor bezeichnet und berücksichtigt die spannungsüberhöhende Wirkung eines bestehenden Risses.

Die Abhängigkeit der Risswachstumsgeschwindigkeit $v$ von der Span-




**Figur 4 Vergleich der aus Kurzzeitexperimenten (Sekunden- bis Minutenbereich) extrapolierten Werte mit den tatsächlich gemessenen Werten für die Lebensdauer**

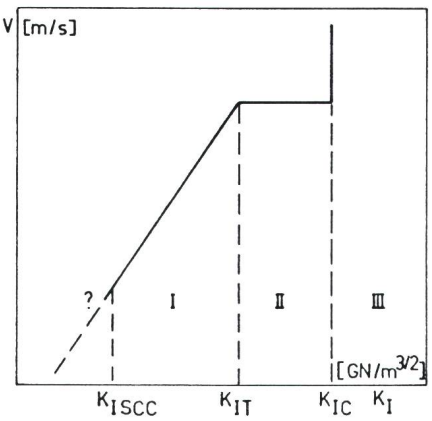
Die Zugfestigkeit oder Bruchspannung nimmt mit abnehmender Dehngeschwindigkeit ab. Diese Abhängigkeit kann durch die Aufnahme von Spannungs-Dehnungs-Kurven relativ rasch bestimmt werden (Sekunden bis Minuten). Aus ihr lässt sich mittels bruchmechanischen Überlegungen das Standzeitverhalten (s. Kap. 3), d.h. die Lebensdauer in Abhängigkeit von der auf die Faser einwirkenden Zugspannung in etwa vorhersagen. Die in der Figur gezeigten Resultate gelten bei Raumtemperatur und einer mittleren relativen Luftfeuchtigkeit.

nung $\sigma$ bzw. vom Spannungsintensitätsfaktor $K_I$ (Gl. 3a) zeigt keinen steten Verlauf, wie die Figur 5 und Tabelle I zeigen.

Es können im wesentlichen vier Bereiche unterschieden werden (Tab. I).

Im Bereich I ist $v$ proportional zu $K_I$ [4; 5]

$$v = \frac{dc}{dt} = A\,K_I^{\,n} \qquad (4)$$




**Figur 5 Risswachstumskurve**

Darstellung der Abhängigkeit der Risswachstumsgeschwindigkeit $v$ vom Spannungsintensitätsfaktor $K_I$ (Definition s. Gl. 3, im doppelt logarithmischen Massstab). Die Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und der pH-Wert wässeriger Lösungen beeinflussen die Steigung der Gerade im Bereich I (s. Gl. 4) und der Geschwindigkeit $v$ im Bereich II. Bei Silikatglas (Kieselglas, Quarzglas) ist die Existenz von $K_{Iscc}$ noch nicht gesichert.

und die Grösse $n$ wird Spannungsriss-Empfindlichkeitsfaktor genannt. Diese und die Konstante $A$ werden durch die Glaszusammensetzung, durch die Temperatur und die Umgebung (relative Luftfeuchtigkeit, pH-Wert) beeinflusst [4; 8].

Im Gegensatz zu andern Gläsern ist bei Silikatglas (auch Kieselglas oder fälschlicherweise Quarzglas genannt) die Gleichung 4 bis zu der tiefsten bis anhin untersuchten Wachstumsgeschwindigkeit von $10^{-11}$ m/s gültig [12]. Ein Wert für $K_{Iscc}$ wurde bei Silikatglas bis heute noch nicht gefunden. Es muss deshalb vorerst von der konservativen Annahme ausgegangen werden, dass bei Silikatglasfasern auch bei sehr kleinen Werten für $K_I$ unterkritisches Risswachstum möglich ist [12].

Die Risswachstumsgeschwindigkeit $v$ im Bereich II beträgt in Luft mit mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit (40 bis 80%) bei Raumtemperatur ungefähr $10^{-4}$ m/s [13].

Die Wachstumsgeschwindigkeit im überkritischen Bereich III ist mit ungefähr 2200 m/s ausserordentlich hoch [9]. Bei Silikatglas ist $K_{IT}$ = 0,61 und $K_{IC}$ = 0,88 MN/m$^{3/2}$. Beide Werte werden nicht oder nur unwesentlich von der Temperatur oder von der Umgebung beeinflusst [13; 14].

Der vorher erwähnte Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf die Zugfestigkeit von Glasfasern kann nun aus dem oben Gesagten mühelos verstanden werden:

Eine vorgegebene Last, mit der eine Faser beansprucht wird, entspricht einem bestimmten Wert des Spannungsintensitätsfaktors, welcher gemäss Figur 5 zu einer bestimmten anfänglichen Risswachstumsgeschwindigkeit führt. Diese wiederum hat eine zunehmende Risslänge zufolge, und somit durchwandert $K_I$ die Bereiche I und II bis zum Erreichen von $K_{IC}$, dem Bruchpunkt. Je kleiner nun aber die Dehngeschwindigkeit ist, desto mehr Zeit steht für das unterkritische Risswachstum zur Verfügung und um so geringer ist die erreichbare Bruchspannung. Einen Grenzfall, für die Praxis aber von grösserer Bedeutung, stellt die Beanspruchung der Fasern bei konstanter Spannung bzw. Dehnung, d.h. Dehngeschwindigkeit Null, dar. In diesem Zusammenhang wird oft fälschlicherweise von statischer Ermüdung gesprochen. In den Materialwissenschaften wird der Begriff Ermüdung nur im Zusammenhang mit wechselnden Spannungen verwendet.

## 3. Lebenserwartung von Fasern unter konstanter Spannung

Die im vorigen Abschnitt erläuterten Ergebnisse wurden zur Hauptsa-

| Bereich | Bedingung | Kommentar |
|---|---|---|
| 0 | $K_I < K_{Iscc}$ | Kein Risswachstum |
| I | $K_{Iscc} < K_I < K_{IT}$ | Bereich des unterkritischen Risswachstums, $v$ proportional zu $K_I$ |
| II | $K_{IT} < K_I < K_{IC}$ | Plateau- oder Übergangsbereich, $v$ von $K_I$ unabhängig |
| III | $K_I > K_{IC}$ | Überkritisches Risswachstum |

**Tabelle I Risswachstum**

$K_{Iscc}$ Schwellwert für Spannungsrisskorrosion
$K_{IT}$ Spannungsintensitätsfaktor im Übergang vom Bereich I zum Bereich II
$K_{IC}$ Kritischer Spannungsintensitätsfaktor

che an bruchmechanischen Proben, d.h. an massiven, relativ grossen Proben, gewonnen. Zwar haben die grundsätzlichen Zusammenhänge auch bei Glasfasern ihre Gültigkeit, die einzelnen Zahlenwerte aus bruchmechanischen Untersuchungen können aber nicht ohne weiteres zur Beurteilung des Verhaltens von Glasfasern herangezogen werden. So beträgt z.B. der Spannungsriss-Empfindlichkeitsfaktor $n$ bei bruchmechanischen Proben etwa 40, bei Glasfasern aber nur etwa 20. Es ist deshalb nötig, gezielte Lebensdauerunterschungen direkt an Glasfasern durchzuführen.

Die sicherste, wiewohl auch die zeitraubendste Art ist, die Zeit bis zum Bruch $t_B$ an Fasern, die unter konstanter Spannung (oder was weit schwieriger ist, unter konstanter Dehnung) stehen, zu ermitteln. Solche Standzeitversuche führen zum sogenannten *Standzeitdiagramm*.

Die Figur 6 fasst die Resultate solcher Messungen bei Raumtemperatur, aber unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit zusammen. Erwartungsgemäss nimmt bei gleicher Spannung die Zeit bis zum Bruch mit zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit ab. So sind z.B. bei einer Spannung von 3,2 GN/m² (etwa 40 N pro Faser) bei relativen Luftfeuchtigkeiten von >95%, rund 40% und <5% die Werte für $t_B$ etwa 0,2; 1,4 und 600 h.

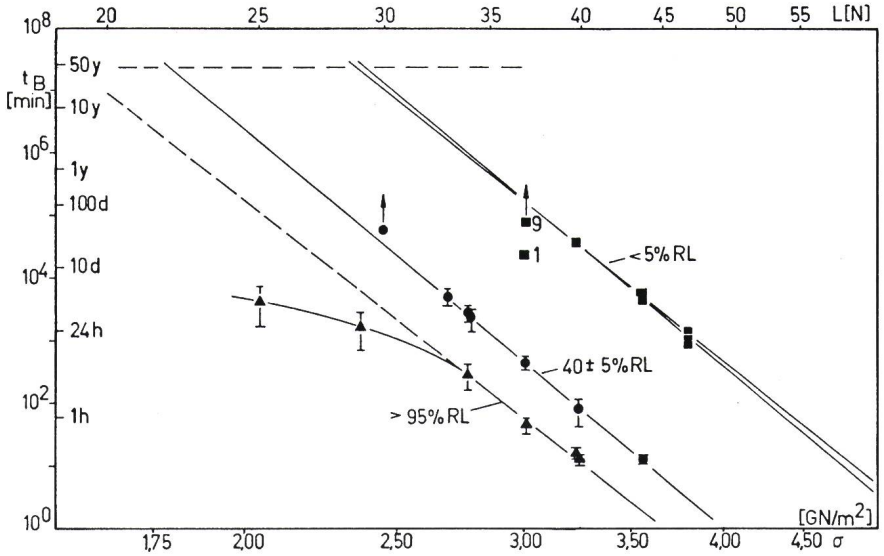
Im linearen Bereich der Figur 6 lassen sich die Resultate durch Gleichung 5, welche in [6] hergeleitet wurde, beschreiben. Dabei ist $p$ eine halbempirische Konstante.

$$\log t_B = \log p - n \log \sigma \qquad (5)$$

In Luft mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von >95% ist bei Langzeitversuchen eine Abweichung vom linearen Verhalten zu beobachten. Die weiteren Abklärungen ergaben, dass die Primärbeschichtung unter dem langandauernden Einfluss der feuchten Luft aufgeweicht wird und die Haftung zur Glasfaser verliert. Durch den Anpressdruck in der Einspannvorrichtung wird dabei die Beschichtung weggepresst, so dass die Umgebungsluft mehr oder weniger direkten Zugang zur Glasfaseroberfläche Zutritt hat.

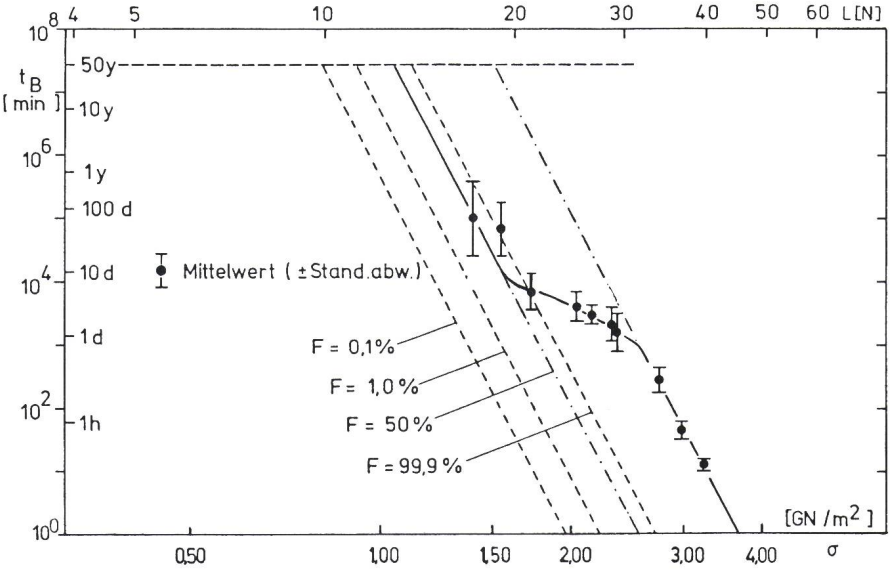
Da unter praktischen Bedingungen ein Quetschen der Beschichtung nicht ausgeschlossen werden kann, wurde der weitere Verlauf der Kurve bestimmt. Aus Figur 7 kann entnommen werden, dass offenbar die Abweichung vom linearen Verhalten eine Art Übergang zu einer parallel verlaufenden Geraden darstellt. Die statistische Analyse der Daten erlaubt die Bruchwahrscheinlichkeit $F$ in etwa abzuschätzen [6]. Zusammenfassend kann folgendes festgehalten werden:

*Relative Luftfeuchtigkeiten <50%* ergeben, soweit heute erkennbar, keine gravierende Schwächung der Primärbeschichtung. Das Zeitstanddiagramm erlaubt eine relativ sichere Aussage auch für sehr lange Beanspruchungszeiten. Spannungen unter etwa 1,8 GN/m² (etwa 22 N pro Faser) bzw. Dehnungen unter etwa 2% (Fig. 1) sollten nicht zu einem vorzeitigen Bruch der Fasern führen. Bei *relativen Luftfeuchtigkeiten >95%* wird die Primärbeschichtung der Fasern bei der Andruckstelle (z.B. bei engen Biegeradien) gequetscht. Die feuchte Luft hat dadurch direkten Zugang zur nackten Faser. Die Beurteilung des Langzeitverhaltens ist dadurch erschwert. Vorsichtig abgeschätzt, sollten bleibende




**Figur 6 Standzeitdiagramm für eine Single-Mode-Glasfaser**

bei Raumtemperatur und verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeiten. Die Abweichung vom linearen Verhalten gemäss Gl. 5 in der feuchten Luft ist durch das Quetschen der Primärbeschichtung in der Einspannvorrichtung verursacht. Unter dem langdauernden Einfluss der feuchten Luft erweicht die Beschichtung und verliert die Haftung zur Glasoberfläche.




**Figur 7 Standzeitverhalten in feuchter Luft**

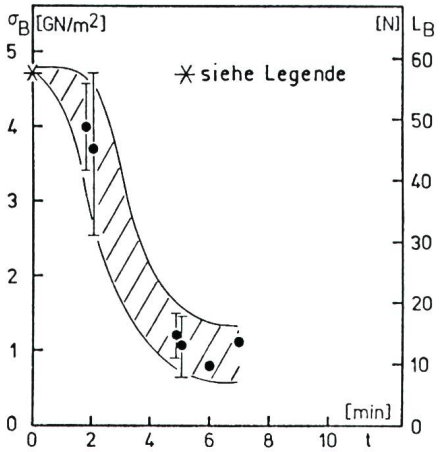
Verlauf der Standzeitkurve für die gleiche Faser wie in Fig. 6 bei kleineren Spannungen. Die Bruchwahrscheinlichkeit $F$ wurde mittels der Weibull-Statistik [6] berechnet.

Spannungen, die kleiner als 0,8 GN/m² (etwa 10 N), bzw. bleibende Dehnungen, die kleiner als 1% sind, kein vorzeitiges Versagen der Fasern verursachen.

Wird eine zusätzliche Sicherheit verlangt, so müssen die oben erwähnten Werte entsprechend den eingeführten Sicherheitsfaktoren reduziert werden. Weiter sind die vom Hersteller garantierten Festigkeitswerte für Langzeitbeanspruchung zu beachten.

## 4. Bedeutung der Primärbeschichtung

Glasfasern werden heute direkt nach dem Ziehvorgang, d.h. direkt hinter der Ziehdüse, mit einer speziellen Schutzschicht versehen. Diese soll die Glasfasern beim Wickeln, beim Transport, bei der Weiterverarbeitung zu Kabeln usw. gegen mechanische Verletzungen schützen. Weiter soll sie den Zutritt von Wasser bzw. Wasserdampf möglichst erschweren. Die Bedeutung der Primärbeschichtung zeigt sehr eindrücklich die Figur 8. Innerhalb weniger Minuten nach dem Entfernen der Beschichtung fällt die Bruchspannung von etwa 5 auf 1 GN/m² ab. Es ist zu beachten, dass die Beschichtung nur auf einer kurzen Strecke von etwa 2 cm und auf sehr sorgfältige Art von der Faser gelöst wurde. Die heutigen Beschichtungen lassen zwar Wasser nicht ungehindert zur Glasoberfläche vordringen, eine absolute Barriere gegen Wasserzutritt stellen sie aber ebensowenig dar. Dies ist aus Figur 9 ersichtlich.



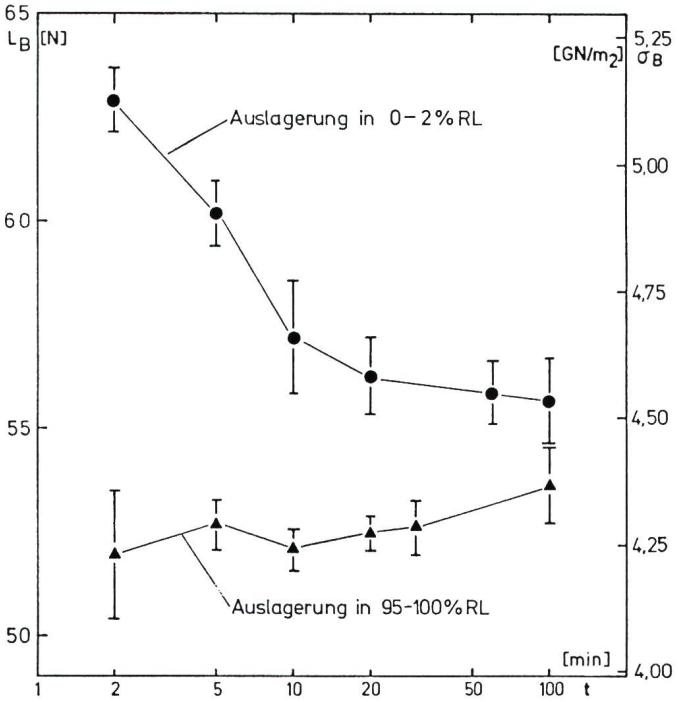

**Figur 8 Festigkeitsverlust einer Glasfaser nach Entfernen der Primärbeschichtung**

Bei den Versuchen wurde die Beschichtung von 50 cm langen Prüflingen über eine Länge von etwa 2 cm durch Quellen in Methylenchlorid auf relativ sanfte Art entfernt.

* Wert für Faser mit intakter Beschichtung

**Figur 9 Wasserdampfdurchlässigkeit einer Primärbeschichtung**

Die Figur zeigt den zeitlichen Verlauf der Zugfestigkeit nach mehrwöchiger Auslagerung der Fasern in sehr trockener bzw. sehr feuchter Luft. Die Fasern wurden bei Raumtemperatur und einer relativen Luftfeuchtigkeit von ungefähr 50% geprüft.




Die Bedeutung der Primärbeschichtung ist auch aus den Bruchspannungen gespleisster Fasern deutlich erkennbar. Der Vergleich ergibt, dass gespleisste Fasern weit tiefere Bruchspannungen (<1 GN/m²) aufweisen als Fasern mit intakter Beschichtung (etwa 5 GN/m²). Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass nicht der Spleissvorgang selbst, sondern die Art der Entfernung der Beschichtung (Schritt in der Vorbereitung zum Spleissen von Fasern) und die Umgebungsbedingungen für den drastischen Festigkeitsverlust verantwortlich sind.

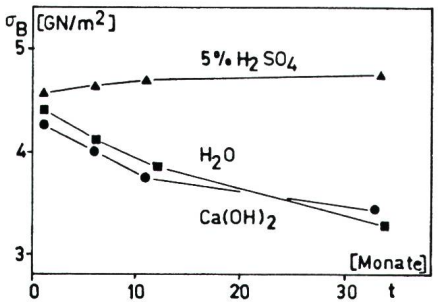
Trotz grossen Bemühungen ist es bisher nur in Einzelfällen gelungen, die Festigkeit von Spleissungen wesentlich zu erhöhen. Die Schwierigkeit, Spleissungen mit Festigkeiten ähnlich derjenigen von jungfräulichen Fasern herzustellen, führte zu diversen Schutzverfahren für die Spleissungen und bei langen Kabeln zur Tendenz, die Zahl der Spleissungen zu reduzieren bzw. die Spleissungen an unkritischen, d.h. kontrollierbaren Stellen zu plazieren.

Obwohl vermutlich die Primärbeschichtung die Geschwindigkeit eines chemischen Angriffs durch wässerige Lösungen (Auslaugung, Netzwerkabbau) reduziert, vermag sie einen Angriff doch nicht vollständig zu unterbinden. Langzeitiges Auslagern von beschichteten Fasern in verschiedenen Lösungen führt in neutralen und basischen Lösungen zu einem kontinuierlichen Festigkeitsverlust, wie die Figur 10 deutlich erkennen lässt.

## 5. Schlussfolgerungen

Glas und damit auch Glasfasern für optische Anwendungen unterliegen der Spannungsrisskorrosion durch Wasser oder Wasserdampf. Für den Anwender von Einzelfasern wie auch von Glasfaserkabeln stellt sich daher die wichtige Aufgabe, diese Gefährdung durch geeignete Massnahmen einzuschränken bzw. die Schutzmassnahmen des Herstellers nicht zunichte zu machen. Dazu gehört, dass

- die Fasern sorgfältig gehandhabt werden,




**Figur 10 Auslagerung in Lösungen**

Die Figur zeigt den Einfluss der Auslagerung ungespannter Fasern in verschiedenen Lösungen (sauer, neutral, basisch) auf die Festigkeit. Der chemische Angriff von wässerigen Lösungen ist pH-abhängig [9].

- der permanente Kontakt der Fasern mit Wasser bzw. wässerigen Lösungen oder mit sehr feuchter Luft vermieden wird,
- Fasern und Kabel möglichst geringen permanenten Spannungen, Dehnungen oder hohen, wenn auch nur kurzzeitigen Spannungs- oder Dehnungsspitzen (z.B. beim Verlegen) unterworfen werden und dass
- Spleissungen an kontrollierbare, leicht zugängliche Stellen im Glasfasernetz plaziert werden.

**Literatur**


[1] *A. Bertholds* and *R. Dändliker:* Interferometric investigation of monomode fibers under longitudinal stress. Conference proceedings OFS'84. 2nd international conference on optical fiber sensors, September 5...7, 1984, Stuttgart; p. 365...368.

[2] *J. J. Mecholsky, R. W. Rice* and *S. W. Freiman:* Prediction of fracture energy and flaw size in glasses from measurements of mirror size. Journal of the American Ceramic Society 57(1974)10, p. 440...443.

[3] *J. J. Mecholsky, S. W. Freiman* and *S. M. Morey:* Fractographic analysis of optical fibers. American Ceramic Society Bulletin 56(1977)11, p. 1016...1017.

[4] *H. Aulich* a.o.: Influence of preparation conditions on tensile strength of optical fibers. Siemens Forschungs- und Entwicklungsberichte 9(1080)1, p. 57...64.

[5] *S. M. Wiederhorn* a.o.: Application of fracture mechanics to Space-Shuttle windows. Journal of the American Ceramic Society 57(1974)7, p. 319...323.

[6] *R. Olshansky* and *R. D. Maurer:* Tensile strength and fatigue of optical fibers, Journal of Applied Physics 47(1976)10, p. 4497...4499.

[7] *T. Staub* and *P. Laeng:* Mechanische Eigenschaften und Dauerverhalten von Glasfasern für die optische Übertragungstechnik. Bull. SEV/VSE 77(1986)7, S. 361...366.

[8] *S. M. Wiederhorn* a.o.: Fracture of glass in vacuum. Journal of the American Ceramic Society 57(1974)8, p. 336...341.

[9] *S. M. Wiederhorn* and *H. Johnson:* Effect of electrolyte pH on crack propagation in glass, Journal of the American Ceramic Society 56(1973)4, p. 192...197.

[10] *H. Scholze:* Glas – Natur, Struktur und Eigenschaften. 2. Auflage. Berlin u.a., Springer-Verlag, 1977.

[11] *S. M. Wiederhorn:* Mechanisms of subcritical crack growth in glass. In: Fracture mechanics of ceramics. Volume 4: Crack growth and microstructure. New York/London, Plenum Press, 1978; p. 549...580.

[12] *H. P. Rossmanith:* Grundlagen der Ingenieur-Bruchmechanik. In: Grundlagen der Bruchmechanik. Herausgegeben von H. P. Rossmanith. Wien/New York, Springer-Verlag, 1982; S. 11...49.

[13] *S. M. Wiederhorn* and *L. H. Bolz:* Stress corrosion and static fatigue of glass. Journal of the American Ceramic Society 53(1970)10, p. 543...548.

[14] *S. Sakaguchi, Y. Hibino* and *Y. Tajima:* Fatigue in silica glass for optical fibers. Review of the Electrical Communication Laboratories 32(1984)3, p. 444...451.

[15] *Y. Sawaki* a.o.: Fail safe design for optical fibers and cable units based on fracture mechanics. Trans. IECE Japan E65(1982)6, p. 310...317.