

	Fachgrundspezifikation: Lichtwellenleiter Deutsche Fassung EN 188000:1992	DIN EN 188000
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.	Klassifikation VDE 0888 Teil 101
Generic specification: Optical Fibres German version EN 188000:1992 Spécification générique: Fibres optiques Version allemande EN 188000:1992 Ersatz für DIN VDE 0472 Teil 211/01.85 DIN VDE 0472 Teil 212/08.86 DIN VDE 0472 Teil 213/08.92 DIN VDE 0472 Teil 214/10.87 DIN VDE 0472 Teil 221/01.85 DIN VDE 0472 Teil 222/08.86 DIN VDE 0472 Teil 251/05.90 DIN VDE 0472 Teil 252/01.85 DIN VDE 0472 Teil 253/01.85 DIN VDE 0472 Teil 254/01.85 DIN VDE 0472 Teil 255/12.87 und DIN VDE 0472 Teil 256/01.89 Die Europäische Norm EN 188000:1992 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 188000:1992 gilt seit August 1992. Bezüglich Übergangsfrist siehe Vorbemerkung. Nationales Vorwort Diese Norm wurde als Schriftstück CECC(Secretariat)3021 von der WG 28 Optical Fibres and Optical Fibre Cables der CECC erarbeitet und bei CENELEC als EN 188000 übernommen. Für diese Norm ist das UK 412.6 Lichtwellenleiter der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) zuständig. Die EN 188000 ist in Anlehnung an die IEC-Publikation 793-1:1992 unter Ergänzung weiterer Prüfverfahren entstanden. Bezüglich LWL-Kabel wird die EN 188000 durch die EN 187000: „Fachgrundspezifikation: Lichtwellenleiterkabel“ ergänzt. Prüfverfahren für Lichtwellenleiter waren bisher in verschiedenen Teilen von DIN VDE 0472 als nationale Festlegungen enthalten, wobei Verfahren aus den IEC-Publikationen 793-1 und 794-1 teilweise übernommen wurden. Dabei galt DIN VDE 0472 gemeinsam für Starkstromkabel, Fernmeldeleiter und Lichtwellenleiter. Die Prüfverfahren für Lichtwellenleiterkabel werden nunmehr in einer separaten, international harmonisierten Norm festgelegt. Fortsetzung Seite 2 und 106 Seiten EN-Norm Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)		

Folgende Prüfverfahren waren bisher in Teilen von DIN VDE 0472 enthalten und werden durch vorliegende Norm ersetzt (Übergangsfrist siehe Vorbemerkung).

	Kurztitel	EN 188000 Prüfverfahren
DIN VDE 0472 Teil 211	Toleranzbereiche von LWL	103
DIN VDE 0472 Teil 212	Kern- und Mantelmaße von LWL	101/102
DIN VDE 0472 Teil 213	Felddurchmesser	314/315
DIN VDE 0472 Teil 214	Geometrie der Einmodenfasern	102
DIN VDE 0472 Teil 221	Zugfestigkeit an kurzen Längen von LWL	202
DIN VDE 0472 Teil 222	Zugprüfung an Gesamtlängen	201
DIN VDE 0472 Teil 251	Rückstreuung bei LWL	303
DIN VDE 0472 Teil 252	Dämpfung von LWL	301/302
DIN VDE 0472 Teil 253	Bandbreite von Mehrmoden-LWL	304/305
DIN VDE 0472 Teil 254	Numerische Apertur von Mehrmoden-LWL	311
DIN VDE 0472 Teil 255	Grenzwellenlänge von Einmodenfasern	312
DIN VDE 0472 Teil 256	Dispersion von Einmoden-LWL	308/309/310

Der Zusammenhang zwischen den in dieser Norm zitierten IEC-Publikationen sowie Europäischen Normen und den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben:

IEC 68-2-10 DIN IEC 68 Teil 2-10

Zitierte Normen

- In der Deutschen Fassung
Siehe Seite 92
- In nationalen Zusätzen
DIN IEC 68 Teil 2-10 Elektrotechnik, Grundlegende Umweltprüfverfahren; Prüfung und Leitfaden: Schimmelwachstum; Identisch mit IEC 62-2-10:1988

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0472 Teil 211/01.85
DIN VDE 0472 Teil 212/08.86
DIN VDE 0472 Teil 213/08.92
DIN VDE 0472 Teil 214/10.87
DIN VDE 0472 Teil 221/01.85
DIN VDE 0472 Teil 222/08.86
DIN VDE 0472 Teil 251/01.85, 05.90
DIN VDE 0472 Teil 252/01.85
DIN VDE 0472 Teil 253/01.85
DIN VDE 0472 Teil 254/01.85
DIN VDE 0472 Teil 255/12.87
DIN VDE 0472 Teil 256/02.89

Änderungen

Gegenüber den im Ersatzvermerk genannten Normen wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- EN 188000:1992 übernommen.

Internationale Patentklassifikation

G 01 B
G 02 B 006/00
G 02 B 006/10
G 01 J
G 01 M 011/02

DK 621.372.8-033.5:681.7.068:621.39:620.1

Deskriptoren: Qualität, elektronische Bauelemente, Lichtwellenleiter

Deutsche Fassung

Fachgrundspezifikation: Lichtwellenleiter

Generic Specification:
Optical Fibres

Spécification générique:
Fibres optiques

Diese Europäische Norm wurde vom CENELEC-Komitee für Bauelemente der Elektronik (CECC) am 21. August 1992 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die Forderungen der 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 CECC-Generalsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien und dem Vereinigten Königreich.

CECC

CENELEC-Komitee für Bauelemente der Elektronik
CENELEC Electronic Components Committee
Comité des Composants Electroniques du CENELEC

Generalsekretariat: Gartenstraße 179, 60596 Frankfurt/Main

Vorbemerkung

Das CENELEC-Komitee für Bauelemente der Elektronik (CECC) besteht aus den Mitgliedsländern des Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung (CENELEC), die sich an einem harmonisierten Gütebestätigungssystem für elektronische Bauelemente beteiligen wollen.

Ziel des Systems ist es, den internationalen Handel zu erleichtern durch Harmonisierung der Normen und Gütebestimmungsverfahren für elektronische Bauelemente und durch die Erteilung eines international anerkannten Konformitätszeichens oder einer Konformitätsbescheinigung. Die entsprechend den Festlegungen dieses Systems hergestellten Bauelemente sind deshalb in allen Mitgliedsländern ohne weitere Prüfung annehmbar.

Diese Europäische Norm wurde von der CECC-Arbeitsgruppe WG 28, Lichtwellenleiter und LWL-Kabel, erstellt.

Der Text dieser Spezifikation wurde als Schriftstück(Sekretariat)3021 zur Abstimmung vorgelegt. Er wurde zusammen mit dem Abstimmungsbericht CECC(Sekretariat)3168 vom CECC angenommen und zur Veröffentlichung als EN 188000 am 21. August 1992 freigegeben.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- | | | |
|--|--------|------------|
| – spätestes Datum der Ankündigung
der EN auf nationaler Ebene | (doa): | 1993-09-28 |
| – spätestes Datum der Veröffentlichung
einer identischen nationalen Norm | (dop): | 1994-03-28 |
| – spätestes Datum für die Verfallserklärung
der nationalen Norm | | 1994-03-28 |
| – spätestes Datum für die Zurückziehung
entgegenstehender nationaler Normen | (dow): | 2003-09-28 |

Inhalt

	Seite
Vorbemerkung	2
Hauptabschnitt Eins – Allgemeines	5
1.1 Anwendungsbereich	5
1.2 Zweck	5
1.3 Arbeitsbegriffe	5
1.4 Faserklassen	5
1.5 Fasereigenschaften	6
1.6 Vorbereitung der Proben	6
1.7 Klassen von Prüf- und Meßverfahren	6
Hauptabschnitt Zwei – Prüfverfahren für Maße	6
2.1 Zweck	6
2.2 Bezugsoberfläche	7
2.3 Konzentritätsabweichung	7
2.4 Zulässige Abweichungen	7
2.5 Arbeitsbegriffe	7
2.6 Prüfverfahren 101 – Strahlenbrechungsverfahren (RNF)	8
2.7 Prüfverfahren 102 – Nahfeldmessung (TNF)	10
2.8 Prüfverfahren 103 – Vier konzentrische Kreise	12
2.9 Prüfverfahren 104 – Mechanische Messung des Durchmessers	13
2.10 Prüfverfahren 105 – Mechanische Längenmessung	14
2.11 Prüfverfahren 106 – Längenmessung durch Laufzeitmessung des durchgehenden und/oder reflektierten Pulses	14
Hauptabschnitt Drei – Prüfverfahren für mechanische Eigenschaften	18
3.1 Zweck	18
3.2 Arbeitsbegriffe	18
3.3 Physische Fehler	19
3.4 Prüfverfahren 201 – Lichtwellenleiter-Durchlaufprüfung	19
3.5 Prüfverfahren 202 – Zugfestigkeit für kurze Längen von Lichtwellenleitern	22
3.6 Prüfverfahren 203 – Zugfestigkeit für große Längen von Lichtwellenleitern	23
3.7 Prüfverfahren 204 – Abrieb	23
3.8 Prüfverfahren 205 – Sichtprüfung	23
3.9 Prüfverfahren 206 – LWL-Absetzprüfung	23
Hauptabschnitt Vier – Prüfverfahren für übertragungstechnische und optische Eigenschaften	26
4.1 Zweck	26
4.2 Dämpfung	26
4.3 Arbeitsbegriffe	27
4.4 Beschreibung der Dämpfungsmeßverfahren	28
4.5 Prüfverfahren 301 – Rückschneideverfahren	28
4.6 Prüfverfahren 302 – Einfügedämpfungsverfahren	32
4.7 Prüfverfahren 303 – Rückstreuverfahren	34
4.8 Impulsantwort	43
4.9 Arbeitsbegriffe	43
4.10 Beschreibung von Impulsantwortmeßverfahren	43
4.11 Prüfverfahren 304 – Impulsantwort	44
4.12 Prüfverfahren 305 – Frequenzantwort	45
4.13 Prüfverfahren 306 – Mikrokrümmungsempfindlichkeit	46
4.14 Prüfverfahren 307 – Übertragene oder abgestrahlte Lichtenergie	49
4.15 Prüfverfahren 308 – Messung der chromatischen Dispersion von LWL – Phasenverschiebungsverfahren	51
4.16 Prüfverfahren 309 – Chromatische Dispersionsmessung mit Hilfe spektraler Gruppenlaufzeitmessung im Zeitbereich	57
4.17 Prüfverfahren 310 – Chromatische Dispersionsmessung von LWL mit dem differentiellen Phasenverschiebungsverfahren	61
4.18 Anhang zu chromatischen Dispersionsmessungen	68
4.19 Prüfverfahren 311 – Numerische Apertur, Fernfeldlichtverteilung	69
4.20 Grenzwellenlänge	73
4.21 Prüfverfahren 312 – Messung der Grenzwellenlänge von Einmoden-LWL	73
4.22 Prüfverfahren 313 – Messung der Kabelgrenzwellenlänge bei Einmoden-LWL	76
4.23 Felddurchmesser	80

	Seite
4.24 Prüfverfahren 314 – Felddurchmessermessung mit Hilfe des direkten Fernfeld-Abtastverfahrens . .	82
4.25 Prüfverfahren 315 – Messung des Felddurchmessers – Variable Apertur-Verfahren im Fernfeld.	85
4.26 Änderung der optischen Übertragung	88
4.27 Prüfverfahren 316 – Aufzeichnung der übertragenen Leistung	88
4.28 Prüfverfahren 317 – Aufzeichnung der Rückstreuung	90
4.29 Prüfverfahren 318 – Makrokrümmungsempfindlichkeit	91
Hauptabschnitt Fünf – Prüfverfahren für Umwelteigenschaften	92
5.1 Anwendungsbereich	92
5.2 Arbeitsbegriffe	92
5.3 Prüfverfahren 401 – Temperaturwechsel	92
5.4 Prüfverfahren 402 – Kontamination.	94
5.5 Prüfverfahren 403 – Radioaktive Strahlung	95
5.6 Prüfverfahren 404 – Haftfestigkeit der LWL-Beschichtung verkabelter LWL	102
Hauptabschnitt Sechs – Verpackung	102
6.1 Anwendung	102
Hauptabschnitt Sieben – Anzuwendende Prüfung für Qualitätsüberwachung, Inspektion und Bauartzulassung (In Vorbereitung).	103
Anhang A: Zur Information	103

Hauptabschnitt Eins – Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

Diese Spezifikation bezieht sich auf Fasern mit primärer Beschichtung oder Fasern mit zusätzlicher Hülle für die Verwendung in Telekommunikationseinrichtungen und in Einheiten, die ähnlichen Techniken dienen.

1.2 Zweck

Festlegung einheitlicher Anforderungen an die geometrischen, optischen, übertragungstechnischen, mechanischen und umweltspezifischen Eigenschaften von Fasern.

1.3 Arbeitsbegriffe

In Vorbereitung.

1.4 Faserklassen

1.4.1 Klasse A – Mehrmodenfasern

Die Faserklassen basieren auf dem Profilparameter g .

Das normierte Brechzahlprofil wird ausgedrückt als

$$\delta(x) = 1 - x^g,$$

wobei $\delta(x) = \frac{n(x)-n(1)}{n(0)-n(1)}$

und $n(x)$ = Brechzahl an der Stelle x

$$x = \frac{r}{a} \quad (0 \leq r \leq a)$$

a = Kernradius

Tabelle 1: Klassen von Mehrmodenfasern

Klasse	Material	Typ	Grenzen
A1	Glaskern/Glasmantel	Gradientenfaser*)	$1 \leq g < 3$
A2.1	Glaskern/Glasmantel	Quasistufenfaser*)	$3 \leq g < 10$
A2.2	Glaskern/Glasmantel	Stufenfaser*)	$10 \leq g < \infty$
A3	Glaskern/Kunststoffmantel	Stufenfaser*)	$10 \leq g < \infty$
A4	Kunststofffaser		

*) Genauere Hinweise zum Brechzahlprofil sind in den Bauartspezifikationen festgelegt. Für einige Anwendungen kann g als Funktion von x festgelegt werden.

Die Faserklasse wird aufgrund des g-Wertes bestimmt, der sich dem normierten Brechzahlprofil mit den oben angegebenen Grenzen am besten anpaßt.

1.4.2 Klasse B – Einmodenfasern

Einmodenfasern werden durch folgende Parameter festgelegt.

1.4.2.1 Felddurchmesser

Siehe [4.23](#)

1.4.2.2 Grenzwellenlänge

Die Grenzwellenlänge ist diejenige Wellenlänge, oberhalb derer das Verhältnis von Gesamtleistung einschließlich angeregter Moden höherer Ordnung und Leistung der Grundmode auf einen festgelegten Wert abgefallen ist. Dabei sind die Moden im wesentlichen gleichförmig angeregt.

ANMERKUNG: Definitionsgemäß wird als festgelegter Wert 0,1 dB für eine 2 m lange, im wesentlichen geradlinige Faser gewählt, die eine einzelne Schleife mit einem Radius von 140 mm enthält.

1.4.2.3 Gesamtdispersion

Die Gesamtdispersion ist die Abhängigkeit der Ausbreitungskonstanten von der Wellenlänge. Sofern der Sender eine endliche Linienbreite hat, wirkt sich die Dispersion als Verzerrung aus. Die Gesamtdispersion kann sich ergeben aus:

- Materialdispersion
- Wellenleiterdispersion
- Profildispersion
- Polarisationsdispersion; sie liefert in einer normalen runden Faser keinen nennenswerten Beitrag.

Der Maximalwert des Gesamtdispersionskoeffizienten und, falls anwendbar, die Wellenlänge der Nulldispersion in einem bestimmten Wellenlängenbereich müssen in der Produktspezifikation festgelegt werden.

1.4.2.4 Klassen für Einmodenfasern

Die z. Z. gebräuchlichen Einmodenfasern werden in Klassen unterteilt, wie in folgender Tabelle angegeben:

Tabelle 1B: Klassen für Glaskern/Glasmantel Einmodenfasern

Klasse	Material	Nulldispersions- wellenlänge Nennwert (nm)	Spezifizierte Wellenlänge Nennwert (nm)
B1.1 B1.2	Dispersion unverschoben Dämpfung minimiert	1310 1310	1310 1550
B2	Dispersion verschoben	1550	1550
B3	Dispersion geglättet	siehe Anmerkung 3	1310 und 1550
ANMERKUNG 1: Beim Spleißen von Fasern verschiedenen Typs ist Vorsicht angebracht. Vorläufige Ergebnisse zeigen jedoch, daß angemessene Spleißdämpfung und mechanische Festigkeit erzielt werden, wenn Fasern verschiedenen Typs derselben Faserklasse gespleißt werden. ANMERKUNG 2: Die Faserklasse B1.2 ist im Bereich von 1310 nm nicht einmodig. ANMERKUNG 3: Die Faserklasse B3 für Einmodenfasern ist durch eine geringe Dispersion über einen großen Wellenlängenbereich gekennzeichnet.			

1.4.3 Andere Faserklassen

Wird später eingefügt.

1.5 Fasereigenschaften

Der Aufbau, die Maße und die mechanischen, optischen, übertragungstechnischen, materialspezifischen und umweltspezifischen Eigenschaften jedes Fasertyps müssen der entsprechenden Bauartspezifikation entsprechen.

1.6 Vorbereitung der Proben

Die Faserenden müssen sauber, glatt und rechtwinklig zur Faserachse sein.

ANMERKUNG: Fasern, die mit UV härtbarem Acrylat beschichtet sind, können für Spleißzwecke oder vor Messungen gereinigt werden (z. B. von Kabelfüllmassen), ohne die Beschichtung zu beschädigen, indem vom Faserhersteller empfohlene Reinigungsmittel verwendet werden. Jedoch ist der Einsatz von Reinigungsmitteln auf Basis chlorierter Stoffe unbedingt zu vermeiden, da sie die Beschichtung selbst nach ihrer Anwendung und als Gas angreifen.

1.7 Klassen von Prüf- und Meßverfahren

- a) Messung der Parameter
- b) Messungen der Eigenschaften
- c) Abnahmeprüfungen

Hauptabschnitt Zwei – Prüfverfahren für Maße

2.1 Zweck

Die Meßverfahren beziehen sich auf praktische Messungen der Länge und der Querschnittsmaße einer Faser. Die Verfahren sind bei Prüfungen von Fasern für den Handelsverkehr anzuwenden.

Die Maße von Fasern müssen bestimmt werden, indem an Proben Prüfungen, ausgewählt aus [Tabelle 2](#), durchgeführt werden. Die angewandten Prüfungen, die Akzeptanzkriterien und die Zahl der Proben müssen entsprechend der Bauartspezifikation gewählt werden. Es sei darauf hingewiesen, daß diese Tabelle alle Faserklassen umfaßt, aber daß nicht alle Prüfungen für jede Faserklasse anwendbar sind.

Tabelle 2: Fasermaße

Prüfverfahren	Prüfung	vom Prüfverfahren erfaßte Parameter
101	Strahlenbrechungsverfahren	Kerndurchmesser Manteldurchmesser Rundheitsabweichungen Rundheitstoleranz
102	Nahfeldmessung	Kerndurchmesser Manteldurchmesser Durchmesser über Beschichtung Durchmesser über Faserhülle Rundheitsabweichungen Rundheitstoleranz
103	4-Kreis-Verfahren	Kerndurchmesser Manteldurchmesser Rundheitsabweichungen Rundheitstoleranz
104	Mechanische Durchmesser messung	Manteldurchmesser Durchmesser über Beschichtung Durchmesser über Faserhülle Rundheitsabweichungen
105	Mechanische Längenmessung (in Vorbereitung)	Faserlänge
106	Laufzeit des durchgehenden und/oder reflektierten Pulses	Faserlänge
303	Rückstreuverfahren	Faserlänge
ANMERKUNG 1: Das Strahlenbrechungsverfahren ist eine unmittelbare Anwendung der Kerndefinition auf Basis des Brechzahlprofils. Dieses Verfahren liefert das Brechzahlprofil, aus dem die Maße und die numerische Apertur berechnet werden können. ANMERKUNG 2: Die mit der Nahfeldmessung ermittelten Maße korrelieren mit dem Brechzahlprofil, stimmen aber nicht exakt mit der Definition des Kerndurchmessers überein. ANMERKUNG 3: Das 4-Kreis-Verfahren, basierend auf der Nahfeldmessung, ist bei Abnahmemessungen anzuwenden. Es ist zur Messung der tatsächlichen Werte von Fasermaßen nicht geeignet. ANMERKUNG 4: Für Maße, die mit den Übertragungseigenschaften von Einmodenfasern zusammenhängen (d.h. Felddurchmesser, Konzentritätsabweichung), gilt Hauptabschnitt Vier: Prüfverfahren für Übertragungstechnische und optische Eigenschaften. ANMERKUNG 5: Aus praktischen Gründen wird der Kerndurchmesser von Einmodenfasern normalerweise nicht spezifiziert. ANMERKUNG 6: Eine Definition des Kerndurchmessers von Einmodenfasern ist in Vorbereitung.		

2.2 Bezugsoberfläche

Die Bezugsoberfläche wird in der Bauartspezifikation behandelt und kann die Oberfläche des Kernes, des Mantels, der Primärbeschichtung oder der Faserhülle sein.

2.3 Konzentritätsabweichung

Die Konzentritätsabweichung kann zwischen jedem der oben genannten Durchmesser festgelegt werden; und zwar in der Bauartspezifikation.

2.4 Zulässige Abweichungen

Durchmessertoleranzen können in der Bauartspezifikation festgelegt werden.

Ein Bezug auf das Prüfverfahren 103: 4-Kreis-Verfahren (als Übereinstimmungsprüfung) ist ebenfalls möglich.

2.5 Arbeitsbegriffe

2.5.1 Definition des Mehrmoden-Faserdurchmessers

Der Kerndurchmesser eines Lichtwellenleiters ist ausgehend vom Brechungsindexprofil als der Durchmesser definiert, der durch den Kernmittelpunkt verläuft und das Indexprofil in Punkt n_3 schneidet, so daß gilt

$$n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2),$$

worin n_2 – der Brechungsindex des homogenen Mantels,
 n_1 – der maximale Brechungsindex und
 k – eine Konstante, üblicherweise k -Faktor genannt,

bedeuten.

Das Brechungsindexprofil kann mit Hilfe von Profilmessungen gemessen werden, z. B. des Strahlenbrechungsverfahrens (RNF) oder der transversalen Interferometrie (TI) und durch Messung des Nahfeldes eines voll erleuchteten Kerns, wie z. B. der Nahfeldmessung (TNF).

Es wird empfohlen, sowohl beim Indexprofil als auch bei der TNF-Technik eine Kurvenanpassung durchzuführen, um die Meßgenauigkeit beim Kerndurchmesser zu verbessern.

ANMERKUNG 1: In der Regel ist $k = 0,025$ sowohl für Profilmessungen mit Kurvenanpassung als auch für das TNF-Verfahren ohne Kurvenanpassung äquivalent mit $k = 0$ für das TNF-Verfahren mit Kurvenanpassung.

ANMERKUNG 2: Für Fasern mit Brechungsindexprofilen, die einen allmählichen Übergangsbereich an der Kern/Mantel-Grenze haben, ist ein Wert $k = 0,05$ des TNF-Verfahrens mit Kurvenanpassung äquivalent einem $k = 0$ -Wert des TNF-Verfahrens ohne Kurvenanpassung.

2.6 Prüfverfahren 101 – Strahlenbrechungsverfahren (RNF)

2.6.1 Zweck

Das Strahlenbrechungsverfahren ist ein direktes und genaues Verfahren, mit dem der Brechzahlverlauf über die Faserstirnfläche direkt gemessen wird (Kern und Mantel). Das Verfahren läßt eine gute Auflösung zu und kann für die Angabe von absoluten Werten der Brechzahlindizes kalibriert werden. Es kann für die Ermittlung von Profilen sowohl bei Einmoden- als auch Mehrmodenfasern verwendet werden.

2.6.2 Geräte

Eine schematische Zeichnung des Meßaufbaus ist in den Bildern 1 und 2 angegeben.

2.6.2.1 Sender

Ein stabiler Laser, der einige Milliwatt-Leistung im TEM_{00} -Modus abgibt, ist erforderlich.

Ein HeNe-Laser, der eine Wellenlänge von 633 nm hat, darf verwendet werden, jedoch muß bei der Extrapolation auf andere Wellenlängen ein Korrekturfaktor eingesetzt werden. Es muß vermerkt werden, daß eine Messung bei 633 nm für längere Wellenlängen nicht ausreicht, insbesondere kann eine nicht gleichmäßige Faserdotierung die Korrektur beeinflussen.

Ein $\lambda/4$ -Plättchen wird eingeführt, um den Strahl von linearer auf zirkuläre Polarisation zu ändern, weil das am Luft-Gas-Übergang reflektierte Licht streng winkel- und polarisationsabhängig ist.

Eine kleine Öffnung am Brennpunkt der Linse 1 wirkt wie ein räumliches Filter.

2.6.2.2 Ankopplungsoptik

Die Ankopplungsoptiken, die für eine Überfüllung der NA der Faser sorgen, bringen einen Lichtstrahl zu einem Brennpunkt auf das flache Ende der Faser. Die optische Achse des Lichtstrahles muß innerhalb 1° von der Faserachse liegen. Die Auflösung der Einrichtung ist bestimmt durch die Größe des fokussierten Fleckes, der so klein

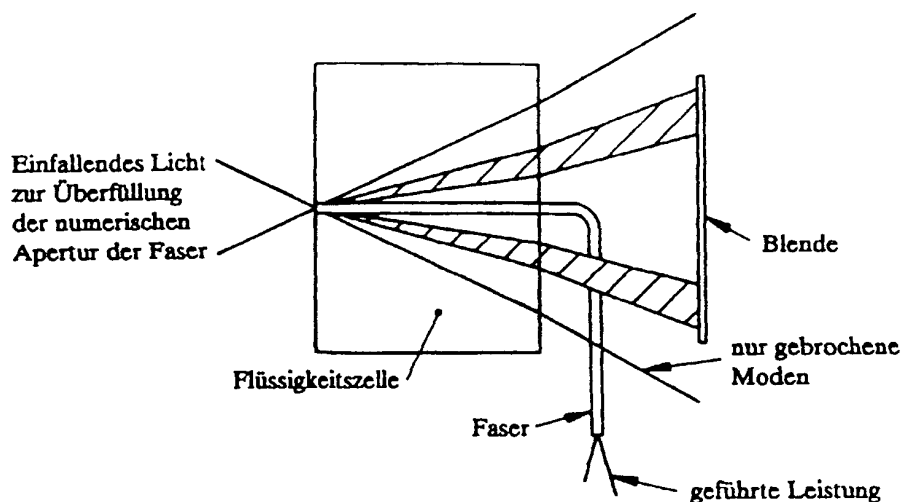


Bild 1: Strahlenbrechungsverfahren, schematische Darstellung

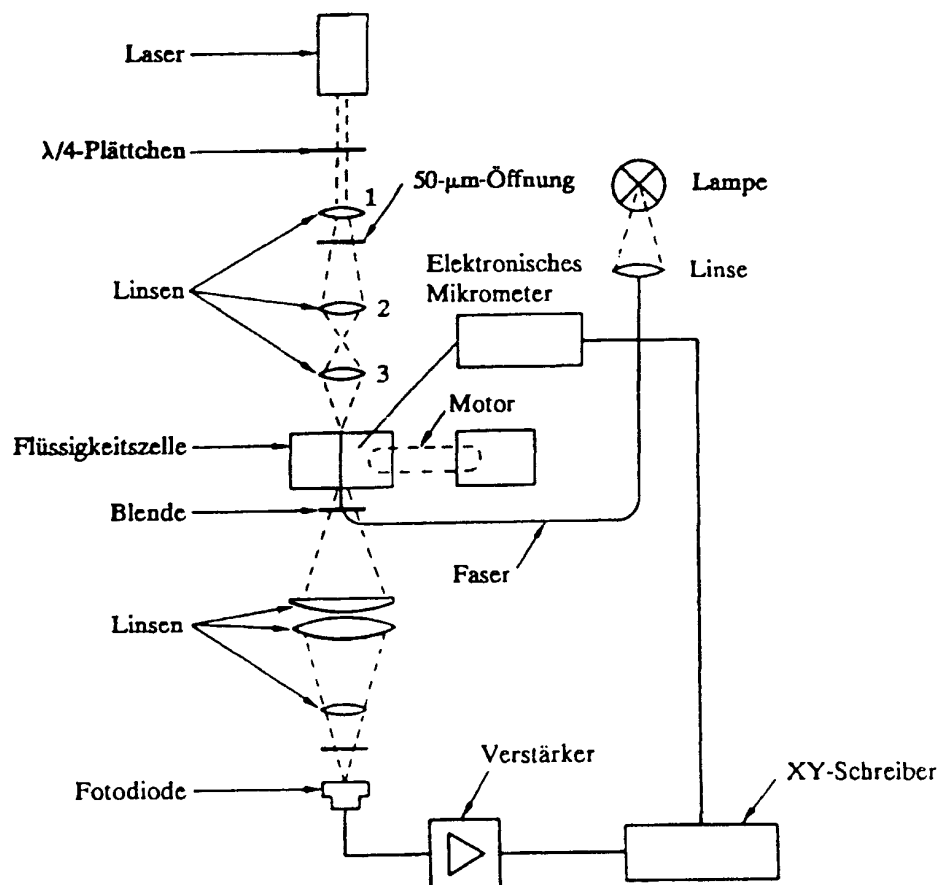


Bild 2: Typischer Aufbau der Prüfeinrichtung für Strahlenbrechungsmessungen

wie möglich sein sollte, um eine möglichst gute Auflösung zu erhalten, z. B. weniger als 1,5 μm . Die Einrichtung ermöglicht ein Abtasten des fokussierten Fleckes entlang dem Faserdurchmesser.

2.6.2.3 Flüssigkeitszelle

Die Flüssigkeit und die Flüssigkeitszelle muß eine geringfügig höhere Brechzahl haben als der Fasermantel.

2.6.2.4 Abtastung

Das nicht ausgeblendete Licht wird gesammelt und in geeigneter Weise ohne Verlust zu einem Detektor geleitet. Durch Berechnung kann die benötigte Größe der Blende und ihre Stellung entlang der Mittelachse bestimmt werden.

2.6.3 Probenherstellung

Es ist eine Faserlänge von etwa 1 m erforderlich. Alle Faserbeschichtungen müssen im Bereich der in die Flüssigkeitszelle eingetauchten Faser entfernt sein. Die Faserenden müssen sauber, glatt und rechtwinklig zur Faserachse sein.

2.6.4 Durchführung

Siehe schematische Darstellung der Prüfeinrichtung (Bild 2).

2.6.4.1 Faserprofilaufzeichnung

Das Einkoppelende der zu messenden Faser wird in eine Flüssigkeitszelle eingetaucht, deren Brechzahl etwas höher ist als die des Fasermantels. Die Faser wird vom fernen Ende mittels einer Wolframlampe durchleuchtet. Die Linsen 2 und 3 erzeugen ein fokussiertes Abbild der Faser.

Die Linse 3 ist so eingestellt, daß das Faserbild im Mittelpunkt und Brennpunkt zugleich steht und der Laserstrahl gleichzeitig zentriert und auf die Faser fokussiert wird.

Die Blende ist auf den Ausgangskegel zentriert. Bei Mehrmodenfasern ist die Blende auf der optischen Achse positioniert, um gerade noch die Leckmoden abzufangen. Für Einmodenfasern ist die Blende so angebracht, daß eine optimale Auflösung erzielt wird.

Die gebrochenen Moden, die die Blende passieren, werden gesammelt und auf eine Fotodiode fokussiert. Der fokussierte Laserfleck überquert das Faserende, wobei ein unmittelbares Bild des Brechzahlverlaufs erhalten wird.

2.6.4.2 Kalibrierung der Meßeinrichtung

Die Meßeinrichtung wird kalibriert, wobei die Faser aus der Flüssigkeitszelle herausgenommen ist. Während der Messung verändert sich der Winkel des Lichtkegels gemäß der Brechzahl am Fasereingang (und folglich die Leistung, die die Blende passiert). Mit der herausgezogenen Faser und der bekannten Brechzahl der Flüssigkeit und der Dicke der Zelle kann diese Änderung des Winkels durch Versetzen der Blende entlang der optischen Achse simuliert werden. Durch Blendenverschiebung auf eine Anzahl vorbestimmter Positionen kann das Profil in Werten der relativen Brechzahl skaliert werden. Absolute Brechzahlen, z. B. n_1 und n_2 , können nur dann gefunden werden, wenn die Brechzahl des Mantels oder der Flüssigkeit bei der Meßwellenlänge und Temperatur genau bekannt sind.

2.6.4.3 Auswertung

Die folgenden Einzelheiten müssen angegeben werden:

- Aufbau der Meßeinrichtung und Wellenlängenkorrekturverfahren
- relative Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur
- Faserbezeichnung. Abhängig von den Anforderungen der Spezifikation:
 - Profil durch Kern- und Mantelmitte, kalibriert für eine gegebene Wellenlänge
 - Profile entlang der Haupt- und Nebenachse des Kerns, kalibriert für eine gegebene Wellenlänge
 - Profile entlang der Haupt- und Nebenachse des Mantels, kalibriert für eine gegebene Wellenlänge.

Durch Rasterabtastung des Profilquerschnittes können die folgenden Größen berechnet werden:

- Kerndurchmesser
- Manteldurchmesser
- Konzentrität Kern/Mantel
- Unrundheit des Kernes
- Unrundheit des Mantels
- max. theoretische Numerische Apertur
- Brechzahldifferenz
- relative Brechzahldifferenz
- Hinweise auf Meßunsicherheit und Reproduzierbarkeit.

2.7 Prüfverfahren 102 – Nahfeldmessung (TNF)

2.7.1 Zweck

Die folgende Prüfung gilt für Eingangs- und/oder Ausgangskontrolle. Ein Querschnitt am Ende der zu prüfenden Faser wird abgebildet.

Die Abbildung wird durch eine Ausgangsoptik vergrößert, z. B. Mikroskop und verschiedene Arten von Sensoren können verwendet werden (direkte Untersuchung, Fotokamera, Videoanalyser, Abtastdetektor usw.). Ausgangsoptik und Sensoren dürfen in einer Apparatur kombiniert sein.

2.7.2 Probenvorbereitung

Die Probe muß ein kurzes Stück des zu messenden Lichtwellenleiters sein. Die Länge ist anzugeben. Die Faserenden müssen sauber, glatt und rechtwinklig zur Faserachse sein.

2.7.3 Geräte

2.7.3.1 Lichtquelle

Die Lichtquelle für die Kernausschleuchtung muß inkohärentes Licht liefern, das in der Intensität regelbar ist, und der Typ muß angegeben werden. Eine zweite Lichtquelle kann zur Faserausleuchtung für Mantelmeßzwecke verwendet werden. Die gewählte Lichtquelle muß während der vorgeschriebenen Meßdauer stabil sein.

2.7.3.2 Erfassungssysteme

Unterschiedliche Erfassungssysteme können in Abhängigkeit von der durchzuführenden Art der Messung verwendet werden (visuelle Prüfung, Fotografie, Berechnungen des vollständigen Bildmusters).

2.7.3.2.1 Mikroskop

Es muß ein invertiertes, metallurgisches Mikroskop oder ein biologisches Mikroskop mit einer Auflösung nahe der Beugungsgrenze verwendet werden (z. B. sollte es eine bis zu 600fache, geeichte Vergrößerung haben und mit einem Fadenmikrometer ausgestattet sein).

2.7.3.2.2 *Mikroskop mit einer Fotokamera*

Das Mikroskop, wie in 2.7.3.2.1 beschrieben, darf mit einer Kamera für Mikrofotografie ausgestattet sein. Ein passender Maßstab muß verwendet werden, um die Maße der fotografischen Abbildung zu kalibrieren.

2.7.3.2.3 *Videoanalysator*

Das Mikroskop, wie in 2.7.3.2.1 beschrieben, darf mit einer TV-Kamera ausgestattet sein. Das Ausgangssignal der Kamera kann auf einen TV-Monitor für eine visuelle Begutachtung gesendet werden oder auf einen Videoanalysator, um das ganze abgestrahlte Nahfeld einer Faser zu erfassen.

2.7.3.2.4 *Abtastempfänger*

Die TV-Kamera, wie in 2.7.3.2.3 beschrieben, kann ersetzt werden durch einen Lochblendenfotodetektor, um ein oder mehrere Querschnitte des abgestrahlten Fasernahfeldes aufzuzeichnen. Das Signal des Empfängers wird von einem XY-Schreiber aufgezeichnet.

2.7.4 *Durchführung*

- a) Das Probenende, von dem die Abbildung vorzunehmen ist, wird vorbereitet und so eingesetzt, daß die Endfläche senkrecht zur Probenachse ist.
- b) Die Numerische Apertur und damit die Auflösung der Objektivlinse muß in der Größenordnung der erforderlichen Meßgenauigkeit sein. Die Vergrößerung wird so gewählt, daß sie für das Fasermaß und das Sichtfeld geeignet ist.
- c) Die Lichtquelle wird an das andere Ende der Probe angekoppelt, das genauso vorzubereiten ist wie das Meßende und so ausgerichtet, daß das Bild des Faserendes im wesentlichen frei von Fehlstellen oder unscharfen Stellen ist. Falls erforderlich, kann Immissionsflüssigkeit verwendet werden, um eine bessere Ankopplung zwischen Lichtquelle und Probe zu erreichen.

2.7.4.1 *Mikroskopprüfung mit visueller Prüfung*

- a) Das Mikroskop wird durch die Messung eines Objektes mit bekannten Maßen kalibriert.
- b) Die zu messenden Parameter an der Probe werden bestimmt durch die Messung mit dem Fadenmikrometer und der bekannten Kalibrierung. Der kleinste und größte Durchmesser wird gemessen, indem das Bild oder die Skala gedreht werden.

2.7.4.2 *Mikroskoptechnik mit Fotografie*

- a) Die Intensität von Auf- und Durchlicht, die Verschlusszeit, Blende und Film sind so zu wählen, daß eine saubere Fotografie entsteht, die z. B. klar die Grenzflächen zwischen Kern und Mantel zeigt.
- b) Die gesamte Bildvergrößerung muß bestimmt werden, indem eine geeichte Skala, z. B. eine Strichplatte, fotografiert wird.
- c) Die Größe des Fotos muß größer als 30 mm × 30 mm sein. Die zu messenden Parameter werden bestimmt aus der Größe des Bildes und der Vergrößerung.
- d) Wenn ein Maßstab, wie in 2.7.3.2.2 beschrieben, verwendet wird, wird dieser als transparente Maske auf die Fotografie gelegt und die Beurteilung vorgenommen.

2.7.4.3 *Mikroskoptechnik mit einem Videoanalysator*

- a) Das Bild im Mikroskop wird mit einem Videodigitalisierer ausgewertet, der durch einen Rechner gesteuert ist. Hierfür können z. B. Abtastvideokameras, CCD-Elemente oder andere Verfahren zur Mustererkennung eingesetzt werden.
- b) Das vollständige Bild wird dargestellt, und die bearbeitete Zeile wird angezeigt, z. B. durch einen Cursor.
- c) Die Grenzen werden mit Hilfe von Kontraststufen ermittelt und auf ein Standardmuster bezogen, so daß dadurch die geometrischen Parameter gemessen werden können.

2.7.4.4 *Mikroskoptechnik mit einem Lochblenden-Erfassungssystem*

- a) Abbildung eines vergrößerten Bildes der Probenendfläche auf eine Fläche.
- b) Ermittlung der Intensität des vergrößerten Nahfeldes. Als Beispiel darf eine der folgenden Techniken verwendet werden:
 - 1) Abtastempfänger mit Lochblende.
 - 2) Abtastspiegel mit fester Lochblendenapertur im Empfänger.
- c) Aufzeichnung der Intensität als Funktion der Detektorposition.
- d) Verwendung eines phasenempfindlichen Verstärkersystems (oder gleichwertiger Einrichtung), um Signale mit niedrigem Pegel zu verstärken.
- e) Abtasten des Faserkernbildes oder des Lochblendenempfängers durch Verwendung eines Schrittmotors mit Verschiebeeinrichtung oder eines Abtastspiegels.

- f) Aufzeichnung der Signalintensität als Funktion der Position des Kerndurchmessers.
- g) Das Mikroskop muß kalibriert werden, indem die Länge eines Gegenstandes mit bekannten Maßen gemessen wird.

2.7.5 Dokumentation

Die folgenden Daten sind anzugeben:

- Faserkenndaten
- Anzahl der Proben
- relative Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur
- Beschreibung des Meßaufbaus
- Vergrößerung
- gemessene Parameter
- Fotografie oder gegebenenfalls Kopie des Videoanalysatorbildes.

2.8 Prüfverfahren 103 – Vier konzentrische Kreise

2.8.1 Zweck

Im folgenden wird ein Abnahmeprüfverfahren für Maße und Toleranzen von LWL beschrieben. Es ist nicht anwendbar zur Messung der exakten Werte von Kern- und Manteldurchmessern, Unrundheiten und Konzentritätsfehlern.

Dieses Prüfverfahren gibt Aufschluß über die Übereinstimmung mit den festgelegten Werten der Faser. Es soll zur Wareneingangs- und/oder Ausgangskontrolle verwendet werden.

Die 4 konzentrischen Kreise bilden zwei Ringe mit den Durchmessern

$$\begin{array}{l} D_{CL} + \Delta D_{CL} \\ D_{CL} - \Delta D_{CL} \end{array} \text{ für den Mantel}$$

und $\begin{array}{l} D_{CO} + \Delta D_{CO} \\ D_{CO} - \Delta D_{CO} \end{array}$ für den Kern,

die das Toleranzfeld definieren.

Eine Faser besteht die Prüfung, wenn zwischen Faser und Toleranzfeld eine solche Position gefunden werden kann, bei der beide, die Mantelkontur und die Kernkontur, vollständig innerhalb dieser Ringe liegen. Die Werte für D_{CL} , ΔD_{CL} , D_{CO} und ΔD_{CO} sind der Bauartspezifikation zu entnehmen.

2.8.2 Probenvorbereitung / Auswahl

Die Probe muß ein kurzes Stück des zu messenden LWL sein. Diese Länge ist anzugeben.

2.8.3 Prüfeinrichtungen

2.8.3.1 Lichtquelle

Siehe [2.7.3.1](#)

2.8.3.2 Mikroskop

Siehe [2.7.3.2.1](#)

2.8.3.3 Mikroskop mit einer Fotokamera

Siehe [2.7.3.2.2](#)

2.8.3.4 Videoanalysator

Siehe [2.7.3.2.3](#). Der Vergleich zwischen den gegebenen 4 Kreisen und der Kern- und Mantelkontur darf durch Rechnung, Betrachtung oder Ausdruck erfolgen.

2.8.3.5 Abtastempfänger

Siehe [2.7.3.2.4](#)

2.8.3.6 Maske

Eine Maske mit 4 konzentrischen Kreisen ist vorzusehen und in das optische Meßsystem einzufügen.

Die Genauigkeit der Maske muß so sein, daß die in der Bauartspezifikation geforderte Genauigkeit bei der Probe erreicht wird.

Eines der folgenden Verfahren kann angewandt werden:

- a) eine Maske im Okular des Mikroskops

- b) eine transparente Maske auf der Fotografie
- c) zwei getrennte Objektive im Mikroskop für Maske bzw. Probe.

ANMERKUNG: Für den Videoanalysator wird eine körperliche Maske nicht benötigt.

2.8.4 Durchführung

Die vorbereitete Probe wird im Probenhalter befestigt und durch die Lichtquelle so ausgeleuchtet, daß Kern- und Mantelrand so klar wie möglich sichtbar sind. Durch Bewegen der Probe werden die Ränder von Kern und Mantel innerhalb der 2 Ringe gebracht. Falls dies möglich ist, hat die Faser die Prüfung bestanden. Falls gewünscht, kann eine Fotografie gemacht werden, um das Ergebnis (bestanden/nicht bestanden) zu dokumentieren.

2.8.5 Dokumentation

Die folgenden Daten sind anzugeben:

- Faserkenndaten
- Anzahl der Proben
- relative Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur
- (Fotografie)
- Beschreibung des Meßaufbaus, Typ des Mikroskops und der Maske
- Prüfergebnis: bestanden/nicht bestanden

2.9 Prüfverfahren 104 – Mechanische Messung des Durchmessers

2.9.1 Zweck

Das folgende Verfahren betrifft die mechanische Messung des Manteldurchmessers von LWL aus Glas oder Silizium. In der Praxis ergibt es für glatte und runde Fasern vergleichbare Ergebnisse, wie sie mit den Prüfverfahren 101 und 102 erzielt werden, wobei damit auch die Unrundheit der Faser bestimmt werden kann. Dieses Prüfverfahren kann auch zur Messung des Hüllendurchmessers einiger umhüllter oder ummantelter Fasertypen oder A3- bzw. A4-Fasern verwendet werden. Bei diesem Prüfverfahren werden beide Seiten des Prüflings durch flache parallele Oberflächen berührt. Der Abstand der Oberflächen wird genau gemessen.

2.9.2 Einsatzgebiet

Der Durchmesser einer Faser und einer umhüllten Faser sind grundlegende Angaben, die für die nachfolgenden Arbeitsschritte wie Handhabbarkeit, Spleißen, Steckerkonfektionierung, Verkabelung und Messung bekannt sein müssen.

2.9.3 Prüfeinrichtung

2.9.3.1 Allgemeines

Das Prüfverfahren verwendet zwei Stempel mit sehr flachen Andruckstellen, um jede Seite der Faser zu berühren. Die Andruckstellen der Stempel müssen parallel zueinander sein und die Andruckkraft, mit der der Stempel auf die Faser drückt, muß genau eingestellt werden, um Beschädigungen der Probe oder der Stempel zu vermeiden.

2.9.3.2 Vorrichtung

Siehe schematische Skizze der Prüfvorrichtung (Bild 3).

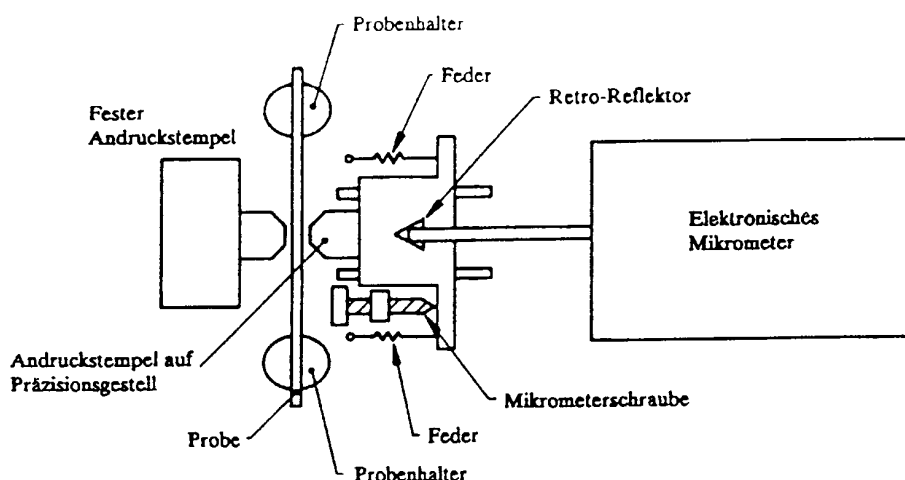


Bild 3: Draufsicht auf ein elektronisches Mikrometersystem

2.9.3.2.1 Stempel

Es gibt zwei Stempel, einer fest und der andere auf einem Präzisionsgestell befestigt. Die Andruckstellen der Stempel sind parallel zueinander und senkrecht zur Bewegungsrichtung des Gestells. Sie sind aus einem harten, nichtkorrosiven Material hergestellt, z. B. aus nichtrostendem Stahl oder Glas.

2.9.3.2.2 Präzisionsgestell

Das Präzisionsgestell hält den beweglichen Stempel und den Reflektorspiegel für das elektronische Mikrometermeßsystem. Das Gestell wird durch eine Mikrometerschraube bewegt und durch Federn gegen die Schraube gedrückt. Die Federn wirken so, daß die Stempel zusammengezogen werden.

2.9.3.2.3 Elektronisches Mikrometersystem

Ein elektronisches Mikrometersystem, wie z. B. ein Zweiweg-Michelson-Interferometer, kann verwendet werden mit einem Retroreflektor zur genauen Messung der Gestellbewegung und damit auch der beweglichen Stempel.

2.9.3.2.4 Probenhalterung

Diese halten die Probe zwischen den Andruckstellen der Stempel.

2.9.3.3 Durchführung

2.9.3.3.1 Grundsätzliches zur Messung

Der Probendurchmesser wird durch Berührung der gegenüberliegenden Seiten des Stempels gemessen. Die Andruckkraft, die durch die Gestellfederkraft und die Stempelandruckoberfläche bestimmt wird, ist so einzustellen, daß die Einwirkungen auf die Probe oder den Stempel vernachlässigbar sind. Angaben für die einzelnen Materialien sind zwischen Anwender und Hersteller zu vereinbaren. Zum Beispiel beträgt für eine 125-µm-Faser die Kraft 0,2 N für die Stempel mit einer Berührungslänge von 1 mm längs der Faser.

Der Abstand der Stempel wird mit einem elektronischen Mikrometer genau gemessen.

2.9.3.3.2 Messung

Die Stempelandruckstellen werden gereinigt und die Mikrometerschraube gedreht, bis sich die Stempelandruckstellen berühren. Die Mikrometerschraube wird noch etwas weiter gedreht, so daß die Stempel nur noch durch die Federkräfte zusammengehalten werden. Der mit dem elektronischen Mikrometer gemessene Abstand wird notiert. Das Mikrometer ist dann so einzustellen, daß der Zwischenraum zwischen den Stempelandruckstellen größer ist als der Probendurchmesser. Die Probefaser wird auf die Halterung zwischen den Stempelandruckstellen gelegt. Die Mikrometerschraube wird langsam so weit gedreht, bis die Stempelandruckstellen die Faser berühren und die Stempel nur mit der Federkraft gegen die Faser gedrückt werden. Die mit dem elektronischen Mikrometer gemessenen Abstände werden notiert. Die Differenz zwischen der ersten und der zweiten Ablesung ist der Durchmesser der Probe. Die Messung sollte mehrmals wiederholt werden, um die Reproduzierbarkeit nachzuweisen.

2.9.3.4 Ergebnisse

Der mittlere Durchmesser der Probe und die Standardabweichung aus einer Anzahl von Messungen ist anzugeben, um die Reproduzierbarkeit der Messung zu bestätigen.

Die Unrundheit der Faser kann durch eine Reihe von Messungen ermittelt werden, wobei die Faser zwischen den einzelnen Messungen gedreht wird.

2.10 Prüfverfahren 105 – Mechanische Längenmessung

In Vorbereitung.

2.11 Prüfverfahren 106 – Längenmessung durch Laufzeitmessung des durchgehenden und/oder reflektierten Pulses

2.11.1 Zweck

Das folgende Prüfverfahren gilt für die Messung der Faserlänge, indem die Laufzeit eines Lichtpulses auf der Basis der bekannten Gruppenlaufzeit einer Faser gemessen wird.

Alternativ kann dieses Prüfverfahren verwendet werden, um den Gruppenlaufzeitfaktor einer Faser bekannter Länge zu ermitteln. Daher wird in der Praxis diese Faserlängenmessung mit Hilfe einer Faser desselben Typs mit bekannter Länge geeicht.

Die Länge eines Lichtwellenleiters ist eine der wichtigsten Werte und muß zur Ermittlung der Übertragungseigenschaften wie Dämpfung und Bandbreite bekannt sein.

2.11.2 Prinzip

Ein Lichtpuls, der durch einen LWL der Länge L mit dem mittleren Gruppenlaufzeitindex N läuft, erfährt eine Laufzeit/Verzögerungszeit Δt :

$$\Delta t = \frac{N \cdot L}{c},$$

wobei Δt die Laufzeit und
 c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist.

Falls N bekannt ist, erhält man L aus der Messung von Δt , und andererseits ergibt die Messung von Δt den Wert von N bei bekanntem L .

ANMERKUNG: Toleranzen des Gruppenlaufzeitindex aufgrund von Toleranzen der Numerischen Apertur sind zu berücksichtigen.

2.11.3 Probe

Die Probe kann eine Faser sein (auch im Kabel). Der Wert von N ist unter den Bedingungen zu verifizieren, die auch für die Probe unter Prüfbedingungen gültig sind (z. B. Spannung, Temperatur).

2.11.4 Prüfeinrichtung

2.11.4.1 Allgemeines

Für die Messung der Laufzeit eines Lichtpulses gibt es folgende 2 Prüfverfahren:

- Zeitmessung des durchlaufenden Pulses (Δt wird gemessen)
- Zeitmessung des reflektierten Pulses ($2\Delta t$ wird gemessen).

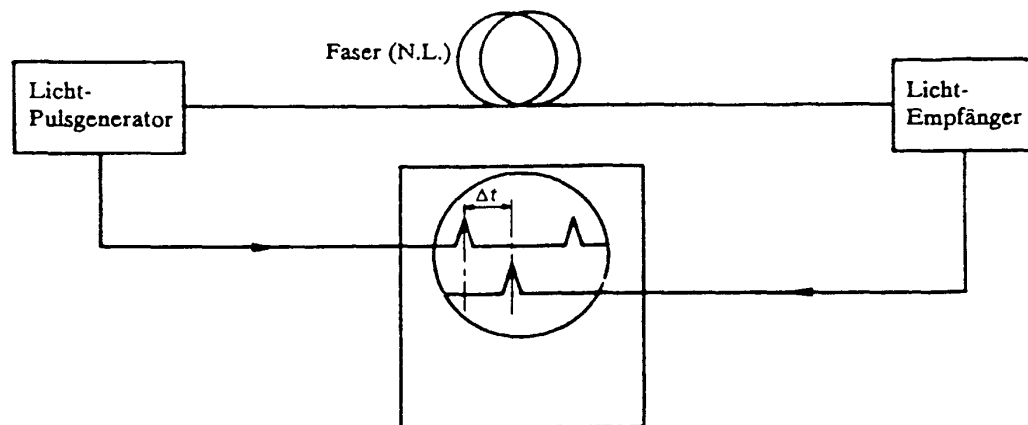


Bild 4a: Laufzeitmessung des durchgehenden Pulses

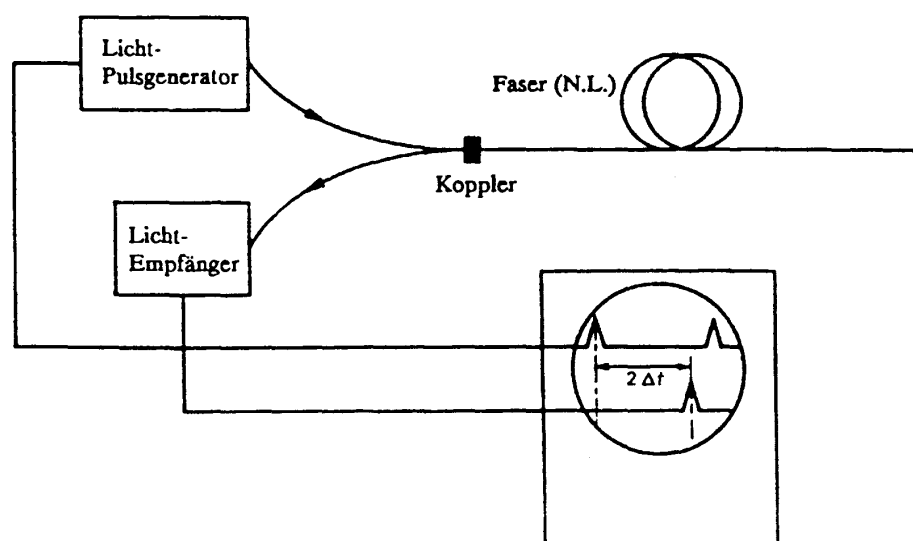


Bild 4b: Laufzeitmessung des reflektierten Pulses

Bild 4: Messung der Faserlänge durch Laufzeit des Lichtpulses

Zwei verschiedene Meßaufbauten entsprechend den beiden Prüfverfahren unter Verwendung eines Samplingoszillographen sind in [Bild 4](#) dargestellt.

Anstelle eines Samplingoszillographen kann eine Rückstreuereinrichtung oder ein Zähler mit getrenntem Start-/Stopausgang und einer Mittelungsmöglichkeit (z. B. mind. 10^4 Zählungen) verwendet werden.

2.11.4.2 Lichtquelle

1) Messung mit einem Samplingoszillographen

Ein optischer Pulsgenerator hat vorzugsweise eine Hochleistungslaserdiode zu sein, angeregt durch einen elektrischen Pulsfolgenerator, der in Frequenz und Pulsbreite verstellbar ist. Die Wellenlänge und die spektrale Breite ist festzuhalten.

2) Messung mit einem Zähler oder einer Rückstreuereinrichtung

Ein optischer Pulsgenerator hat vorzugsweise eine Hochleistungslaserdiode zu sein, angeregt durch einen elektrischen Pulsfolgenerator, dessen Pulsbreite einstellbar ist. Die Zeit zwischen zwei Pulsen soll länger sein als die Laufzeit des Pulses (Δt , mit Zähler) oder des reflektierten Pulses ($2\Delta t$, mit Rückstreumeßplatz). Die Wellenlänge und die spektrale Breite der Laserdiode muß angegeben sein.

2.11.4.3 Lichtempfänger

Der Empfänger hat vorzugsweise eine Hochgeschwindigkeits-Lawineneffekt-Fotodiode zu sein. Die Empfindlichkeit des Lichtempfängers muß bei der Meßwellenlänge ausreichend sein, und die Bandbreite muß groß genug sein, so daß dadurch nicht die Pulsform beeinflußt wird.

2.11.5 Durchführung

a) Kalibrierung

Die Laufzeit von der Lichtquelle bis zum Einkoppelpunkt ist zu messen (die Verzögerung des Meßaufbaus selbst).

b) Mittlerer Gruppenindex

An einer bekannten Faserlänge, die mechanisch gemessen wird, ergibt die Messung von Δt den mittleren Wert N des Gruppenindex der Faser.

c) Längenmessung

Die Längenmessung ist eine Angabe im Zeitbereich auf dem Oszillographenschirm¹⁾ (oder die Angabe der gemittelten Laufzeit der Anzeige eines elektronischen Zählers), korrigiert um den Kalibrierwert.

2.11.6 Ergebnisse

Die Faserlänge ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

a) Verfahren mit durchgehendem Puls
$$L = \frac{\Delta t \cdot c}{N},$$

b) Verfahren mit reflektiertem Puls
$$L = \frac{\Delta t \cdot c}{2N},$$

wobei L = Faserlänge (m)

Δt = Laufzeit (ns) des durchgehenden oder reflektierten Impulses

c = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (m/ns)

N = mittlerer Gruppenindex

sind.

2.11.7 Dokumentation

Die folgenden Daten sind anzugeben:

- Faserkenndaten
- relative Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur
- Prüfverfahren
- Wellenlänge
- Gruppenlaufzeit
- Verzögerungszeit des Meßaufbaus²⁾
- Übertragungs- oder Reflexionszeit²⁾
- Faserlänge

1) Eine wichtige, praktische Verbesserung kann erreicht werden, indem man durch Verwendung eines Zweikanaloszillographen (siehe [Bild 5](#)) die Meßunsicherheit der Messung unabhängig von der aktuellen Länge der Faser macht.

2) Auf Wunsch

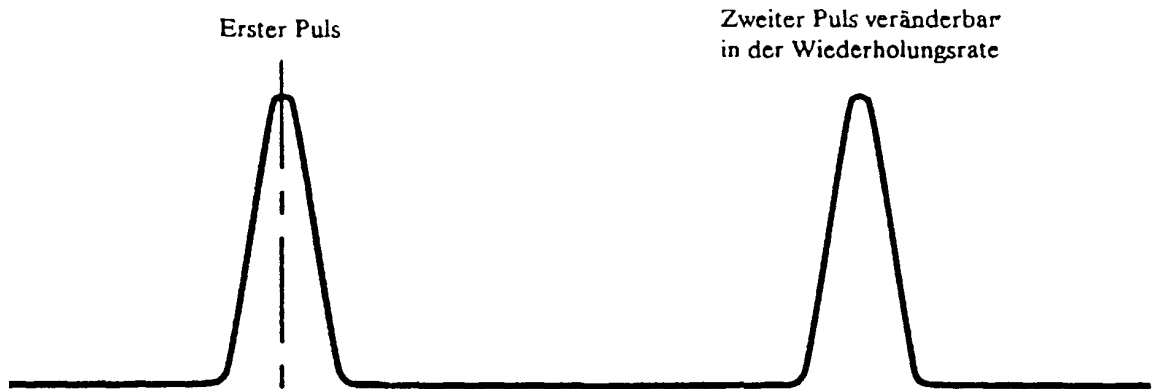


Bild 5a: Kanal 1: Sendepuls

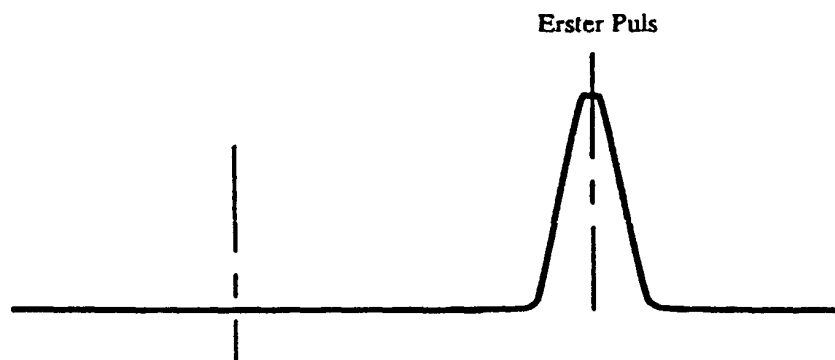


Bild 5b: Kanal 2: Übertragener Puls

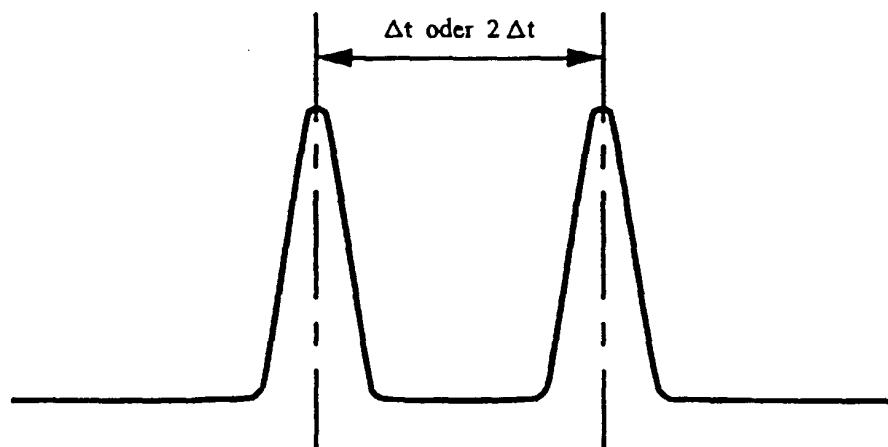


Bild 5c: Kanal 1: Sendepuls nach Anpassung an die Wiederholungsrate in der Weise, daß der 2. Puls in Kanal 1 übereinstimmt mit dem übertragenen Puls in Kanal 2

Bild 5: Prinzip der Faserlängenmessung

Hauptabschnitt Drei – Prüfverfahren für mechanische Eigenschaften

3.1 Zweck

Die Prüfverfahren dienen zur Prüfung der mechanischen Festigkeit, der Leichtigkeit der Handhabung oder der Erkennung von physischen Fehlern von direkt beschichteten oder mit einer Hülle versehenen Glasfasern. Die Verfahren sollen bei den Prüfungen der Fasern für den Handelsverkehr benutzt werden.

Die mechanischen Eigenschaften von LWL sind zu überprüfen, indem Proben Prüfungen unterworfen werden, die aus Tabelle 3 auszuwählen sind. Die anzuwendenden Prüfverfahren, Annahmekriterien und Anzahl von Proben haben der Bauartspezifikation zu entsprechen.

Tabelle 3: Mechanische Eigenschaften von LWL

Prüfverfahren	Prüfung	Eigenschaften, die bei dem Prüfverfahren erfaßt werden
201 202 203*	LWL-Durchlauftest Zugfestigkeit für kurze LWL-Längen Zugfestigkeit für lange LWL-Längen	Mechanische Festigkeit
204*	Abrieb	
205* 303	Sichtprüfung Rückstreuverfahren	Physische Fehler Rückstreuverhalten
206	Abstreifprüfung	Abisolierung
*) In Vorbereitung		

3.2 Arbeitsbegriffe

3.2.1 Festigkeit einer Faserlänge

- a) Die Festigkeit einer Faserlänge hängt von der Tiefe des tiefsten Risses ab, der in dieser Länge vorhanden ist.

Wenn eine Faserlänge bei bestimmter Umgebungstemperatur und bestimmten Feuchtigkeitsbedingungen einer Spannung α ausgesetzt wird, wird die Rißtiefe gemäß einer von Charles vorgeschlagenen Gleichung anwachsen:

$$\frac{da}{dt} = A \cdot K_I^n,$$

in der K_I in Übereinstimmung mit Griffith gegeben ist durch:

$$K_I = Y \cdot \alpha \cdot a^{1/2}$$

in der

- K_I = Spannungsintensitätsfaktor
- Y = Formfaktor (konstant)
- α = Spannung
- n = Spannungskorrosionsfaktor (konstant)
- a = Rißtiefe
- A = Proportionalitätskonstante, experimentell zu ermitteln

sind.

In den Fällen, wo die Risse während einer Zeit Δt bis zu einem Wert gewachsen sind, bei dem $K_I = K_{Ic}$ wird (kritischer Spannungsintensitätsfaktor), wird die Faser brechen. (Siehe Bild 6.)

- b) Zur Erläuterung:

Wenn eine Faser einer Spannung α_1 während einer Zeit $\Delta t = t_2 - t_1$ unterworfen wurde, wird der Riß von a_{t_1} zu a_{t_2} gewachsen sein.

Jedoch sollte für den Handelsverkehr angenommen werden, daß, nachdem eine Faser einer Durchlaufprüfung mit einer Spannung α_1 unterworfen wurde, der Riß den Wert a_c (d. h. den Wert, bei dem die Faser bricht) fast erreicht hat. Folglich muß die Spannung α_2 (für $t > t_2$) unter α_1 bleiben, wenn ein Faserbruch vermieden werden soll.

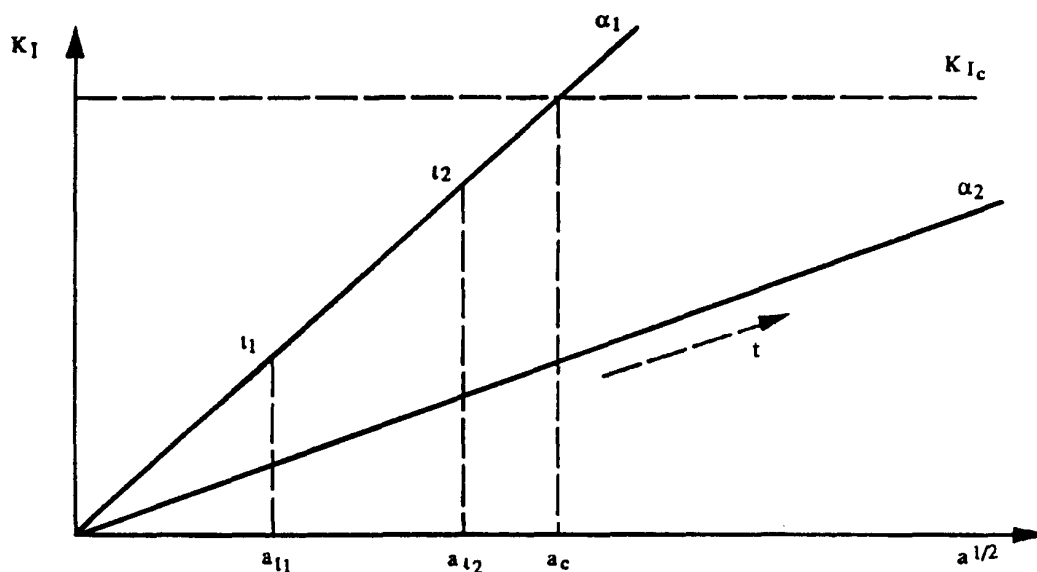


Bild 6: Darstellung des Rißwachstums eines LWL unter Spannung

3.3 Physische Fehler

Es ist bekannt, daß physische Fehler in der Faser vorkommen können, die sowohl die optischen als auch die mechanischen Eigenschaften beeinflussen können, z. B. Einschlüsse und Blasen. Bestimmte Fehlerarten können möglicherweise durch Reflexionstechniken oder andere Meßverfahren nachgewiesen werden.

3.4 Prüfverfahren 201 – Lichtwellenleiter-Durchlaufprüfung

3.4.1 Zweck

In dieser Prüfung wird die vollständige Lichtwellenleiterlänge im Durchlauf geprüft, um Stellen mit gleicher oder geringerer Festigkeit als die der Prüfbelastung auszusondern.

3.4.2 Prüfbedingungen

Die Prüfung muß bei Normklima nach 5.3 von IEC 68-1 durchgeführt werden.

3.4.3 Allgemeine Prüfdurchführung

3.4.3.1 Die Durchlaufprüfung muß in Übereinstimmung mit einem der folgenden Verfahren durchgeführt werden:

- a) konstante Spannung
- b) konstante Längsbelastung
- c) konstante Biegespannung

3.4.3.2 Die Verfahren mit konstanter Spannung und konstanter Längsbelastung sind für Fasern mit elastischen Schutzbeschichtungen und Hüllen anwendbar, mit Wanddicken, die den beaufschlagten Längs- und Querkraften entsprechen und die Faseroberfläche vor schädlichen, radialen Spannungen schützen. Wo die Beschichtungen und Hüllen nicht geeignet sind, diesen Kräften standzuhalten, kann das Verfahren mit konstanter Biegespannung verwendet werden.

3.4.3.3 Die Höhe der Beanspruchung muß an Fasern erprobt werden, nachdem eine Korrektur für vorhandene Beschichtungen und Hüllen durchgeführt wurde.

3.4.3.4 Spannungsänderungen, die beim Ab- und Aufwickeln der Faser entstehen, müssen vom Prüfbereich der Einrichtung ferngehalten werden.

3.4.3.5 Die Durchlaufgeschwindigkeit der Faser in der Prüfeinrichtung sowie die Maße der Apparatur müssen so bemessen sein, daß die Spannungsprüfung während der in der Bauartspezifikation angegebenen Zeit erfolgen kann.

3.4.4 Konstante Spannungsprüfung

3.4.4.1 Geräte

Die Einrichtung für die Prüfung mit konstanter Spannung muß grundsätzlich in Übereinstimmung mit Bild 7 sein. A und C sind angetriebene Räder oder Rollen, und B ist ein freibewegliches Rad oder eine Rolle, angeordnet in gleicher Ebene mit den beiden anderen. Es ist räumlich frei beweglich, begrenzt auf eine senkrechte Linie, die

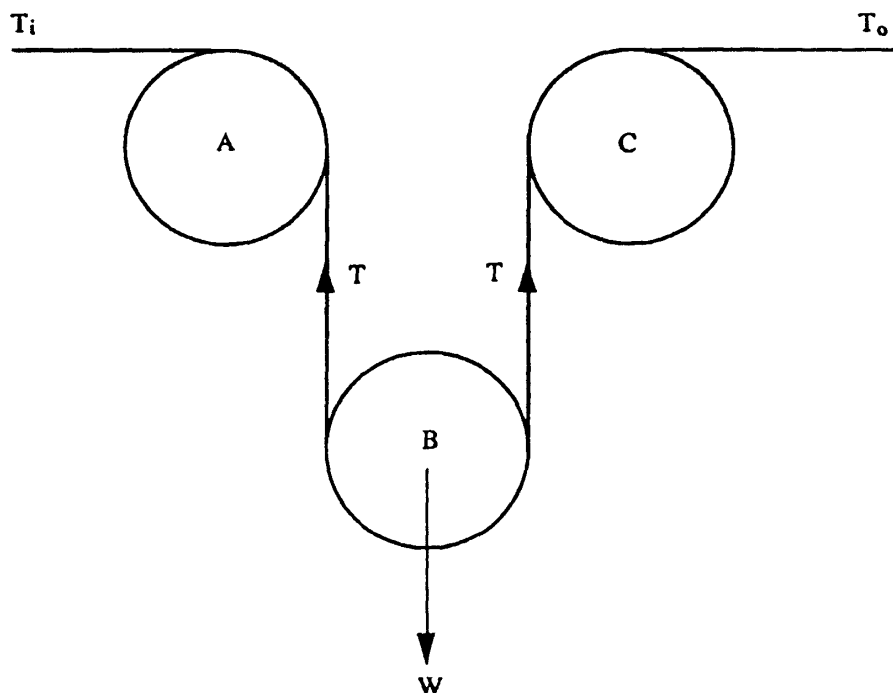


Bild 7: Konstant-Spannungsprüfeinrichtung

durch ihre Achse verläuft. Ein Gewicht W , das an B angebracht ist, erzeugt die Zugspannung T . Es ist eine wichtige Forderung, daß der statische Reibungskoeffizient zwischen dem LWL und den Rädern A, B und C hoch ist, und daß Hilfsmittel verwendet werden dürfen, z. B. Druckbänder, um sicherzustellen, daß der Schlupf minimiert wird. Eines der Räder muß mit konstanter Winkelgeschwindigkeit angetrieben sein. Hilfsmittel dürfen verwendet werden, um eine konstante vertikale Position von Rad B, durch Veränderung der Winkelgeschwindigkeit von Rad C, sicherzustellen. Die Spannung am Eingang der Prüfanordnung T_i darf 10 % der Prüfspannung T nicht überschreiten. Der Durchmesser der Räder muß so sein, daß die durch die Biegung verursachte Spannung an jedem Punkt der LWL-Übertragungseinrichtung 10 % des Prüfwertes nicht überschreitet.

3.4.4.2 Durchführung

Der LWL muß die in Bild 7 dargestellte Prüfeinrichtung durchlaufen, und zwar mit einer der Prüfzeit entsprechenden Geschwindigkeit, die in der Bauartspezifikation gefordert wird.

Die Masse des an dem freilaufenden Rad oder der Rolle B angebrachten Gewichtes W muß in der Bauartspezifikation angegeben sein.

3.4.4.3 Anforderung

Nach der Prüfung muß der LWL mit einem OTDR oder auf andere Weise auf Brüche untersucht werden. Die Faser darf keine Brüche aufweisen.

3.4.5 Konstante Längsbelastungs-Durchlaufprüfung

3.4.5.1 Geräte

Die konstante Belastungsprüfeinrichtung muß grundsätzlich mit Bild 8 übereinstimmen. A und B sind Räder oder Rollen, die so angeordnet sind, daß sich beim Drehen eine Umfangsgeschwindigkeitsdifferenz ergibt, die der geforderten Belastung entspricht.

Die Geschwindigkeitsdifferenz kann durch eine Anordnung erreicht werden, bei der die Räder den gleichen Nenn-durchmesser haben, sich aber mit einer dem geforderten Belastungsniveau entsprechenden Winkelgeschwindigkeit drehen, oder aber die Durchmesser der Räder stehen in einem festen Verhältnis zu dem geforderten Belastungsniveau, und die Räder sind gekoppelt und drehen mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit. Der statische Reibungskoeffizient zwischen dem Lichtwellenleiter und den Rädern muß hoch sein, um den Schlupf zu verringern. Hierfür dürfen Druckriemen oder ähnliche Einrichtungen verwendet werden. Die Belastung entsprechend der Einlaufspannung T_1 darf 10 % des Prüfwertes nicht überschreiten. Die Durchmesser der Räder müssen so gewählt werden, daß die durch die Biegung verursachte Spannung an jeder Stelle der LWL-Übertragungseinrichtung 10 % des Prüfwertes nicht überschreitet.

3.4.5.2 Durchführung

Die hergestellte Belastung muß den Werten der Bauartspezifikation entsprechen, entweder durch eine Geschwindigkeitskontrolle der Räder zur Erreichung der geforderten Drehungsdifferenz oder durch passende Räder mit den geforderten Durchmesserdivergenzen.

Der Lichtwellenleiter muß die Einrichtung für die konstante Längsbelastungsprüfung mit einer Geschwindigkeit durchlaufen, die der Prüfzeit, die in der Bauartspezifikation gefordert ist, entspricht.

3.4.5.3 Anforderung

Nach der Prüfung muß der Lichtwellenleiter mit einem OTDR oder auf andere Weise auf Brüche untersucht werden. Die Faser darf keine Brüche aufweisen.

3.4.6 Konstanter Biegebeanspruchungs-Durchlauftest

3.4.6.1 Geräte

Die konstante Biegebeanspruchungs-Prüfeinrichtung muß grundsätzlich mit Bild 9 übereinstimmen. A, B und C sind drei Walzen, die sich frei um parallele Achsen drehen. Die Faser wird entlang eines Weges so gezogen, indem sie über die frei drehenden Walzen unter ausreichender Spannung, angepaßt an die Walzengeometrie, bewegt wird. Die Walzendurchmesser sind so zu wählen, daß eine maximale Belastung durch Biegung an der Faseroberfläche herbeigeführt wird, die gleich der geforderten Belastung ist. Die Dicke irgendwelcher Schutzbeschichtungen oder -hüllen ist zu berücksichtigen.

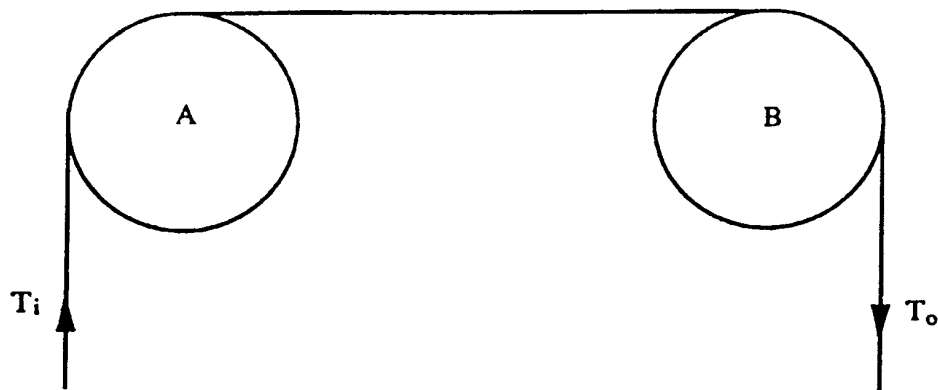


Bild 8: Konstant-Belastungs-Prüfeinrichtung

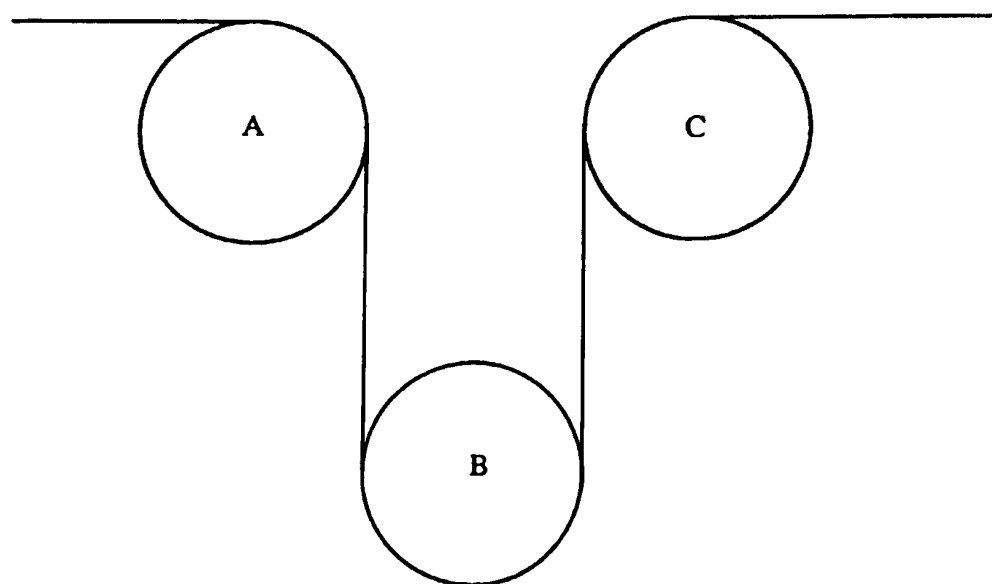


Bild 9: Biegebelastungs-Prüfeinrichtung

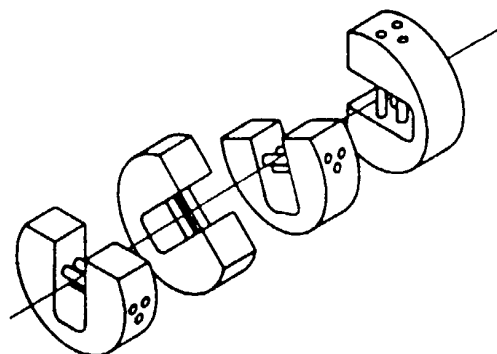


Bild 10: Mehrfachwalzen

Um eine nahezu konstante maximale Belastung an allen Stellen der Faseroberfläche sicherzustellen, sind mehrere Walzenanordnungen – mit versetztem Winkel zur ersten – einzusetzen.

Bis zu vier Walzenanordnungen, die um 45° gegeneinander versetzt sind, werden in der Regel eingesetzt (Bild 10).

Die Faser ist so ab- bzw. aufzuwickeln, daß Verdrehungen der Faser während des Durchlaufes durch die Prüfeinrichtung vermieden werden.

3.4.6.2 Durchführung

Die Belastung muß dem in der Bauartspezifikation angegebenen Wert durch Auswahl der Walzendurchmesser entsprechen. Der Lichtwellenleiter muß die Einrichtung für konstante Belastungsprüfung mit einer Geschwindigkeit durchlaufen, die der Prüfzeit, die in der Bauartspezifikation gefordert ist, entspricht.

3.4.6.3 Anforderung

Nach der Prüfung muß der Lichtwellenleiter mittels eines OTDR oder auf andere Weise auf Brüche untersucht werden. Die Faser darf keine Brüche aufweisen.

3.5 Prüfverfahren 202 – Zugfestigkeit für kurze Längen von Lichtwellenleitern

3.5.1 Zweck

Die Prüfung liefert Zugfestigkeitswerte von kurzen Faserlängen. Die Verteilung der Zugfestigkeitswerte einer gegebenen Faser hängt sehr stark ab von der Probenlänge, der Lastgeschwindigkeit und den Umgebungsbedingungen. Der Test gilt für Nachweise, bei denen statistische Angaben über die Faserfestigkeit verlangt werden. Die Ergebnisse sollten mittels einer statistischen Verteilung im Rahmen der Qualitätskontrolle dargestellt werden. Normalerweise wird die Prüfung nach Temperatur- und Feuchtigkeitskonditionierung der Probe durchgeführt. In einigen Fällen kann es genügen, die Werte bei Raumtemperatur und normalen Feuchtigkeitsbedingungen zu ermitteln.

3.5.2 Probe

Die Proben müssen so vorbereitet werden, daß die zu prüfende Länge bis zu 1 m lang ist.

3.5.3 Geräte

Es ist eine geeignete Zugprüfmaschine mit Einspannvorrichtungen zu verwenden, die eine Beschädigung und ein Rutschen der Probe verhindert. Die Ziehgeschwindigkeit sollte etwa 3 % bis 5 % der Probenlänge je Minute betragen.

ANMERKUNG: Die Zugprüfmaschine kann eine vertikale oder horizontale Ziehvorrichtung besitzen. Die Fasereinspannung kann durch Abspannrollen oder andere geeignete Einrichtungen erreicht werden.

3.5.4 Konditionierung (wahlweise, entsprechend der Bauartspezifikation)

Wenn gefordert, können die Proben in einem Wasserbad bei Temperaturen von 20° C oder in einer Klimakammer (mit z. B. einer geregelten Temperatur von 23° C und einer relativen Luftfeuchte von 95 %) konditioniert werden. Die Konditionierungszeit sollte nicht weniger als 24 Stunden betragen.

3.5.5 Durchführung

Prüfung A (ohne Konditionierung):

Die Probe muß so in die Zugprüfmaschine eingelegt werden, daß die freie Länge zwischen den Klemmen bis zu 1 m beträgt. Die Geschwindigkeit ist in der Faser-Bauartspezifikation angegeben.

Prüfung B (mit Konditionierung):

Die Prüfung muß innerhalb 5 Minuten nach Entnahme der Probe aus der Konditionierungseinrichtung begonnen werden, und zwar mit derselben Durchführung wie in Prüfung A beschrieben.

3.5.6 *Auswertung*

Die folgenden Details müssen angegeben werden:

- Prüflänge
- Art der Klemmvorrichtungen
- Ziehgeschwindigkeit
- relative Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur
- Faserkenndaten
- Probelängen
- Festigkeitswerte: der Spannungswert, bei dem die Faser bricht, wird als Festigkeit der Faser bezeichnet.
- Zum Vergleich sollte die Qualitätsverteilung derselben Kategorie auch angegeben werden, z. B. anhand einer Weibull-Verteilung. Die Bedeutung der Weibull-Verteilungskurve hängt von der gesamten geprüften Faser genauso ab wie von den Längen der Proben.

ANMERKUNG: Im Falle eines Faserbruches nahe der Einspannstelle (z. B. 10 mm bis 15 mm) sollte der Wert nicht in die statistische Qualitätsverteilung aufgenommen, sondern separat angegeben werden.

3.6 **Prüfverfahren 203 – Zugfestigkeit für große Längen von Lichtwellenleitern**

In Vorbereitung

3.7 **Prüfverfahren 204 – Abrieb**

In Vorbereitung

3.8 **Prüfverfahren 205 – Sichtprüfung**

In Vorbereitung

3.9 **Prüfverfahren 206 – LWL-Absetzprüfung**

3.9.1 *Zweck*

3.9.1.1 Diese Prüfung bestimmt die Kraft, die benötigt wird, um die Beschichtung von dem LWL mechanisch entlang der Längsachse zu entfernen. Diese Prüfung dient weder der Erhöhung der Faserfestigkeit noch dem Entfernen der Beschichtung noch der Ermittlung der besten Bedingungen für das Absetzen von LWL bei der Montage.

3.9.1.2 Diese Prüfung ist in erster Linie gedacht entweder zur Prüfung an LWL, so wie sie beim Faserhersteller gefertigt wurden, oder an LWL, die anschließend unter Verwendung verschiedener Polymere mit einer Schutzschicht (feste Hülle) versehen wurden. Die Prüfung kann an fertigen Fasern nach der Herstellung, oder nachdem sie verschiedenen Umweltbedingungen ausgesetzt wurden, durchgeführt werden.

3.9.1.3 Diese Prüfung ist bei A1, A2, A3 und B-Fasern anwendbar.

3.9.2 *Prüfeinrichtung*

3.9.2.1 *Zugprüfeinrichtung*

Es ist eine geeignete Vorrichtung, z. B. ein senkrechter Zugprüfer, zu verwenden, der eine relative Bewegung zwischen zu prüfendem LWL und dem Absetzwerkzeug ermöglicht.

Sie muß einen konstanten Bewegungsablauf ohne Rucken entweder der zu prüfenden Faser oder des Absetzwerkzeuges erlauben.

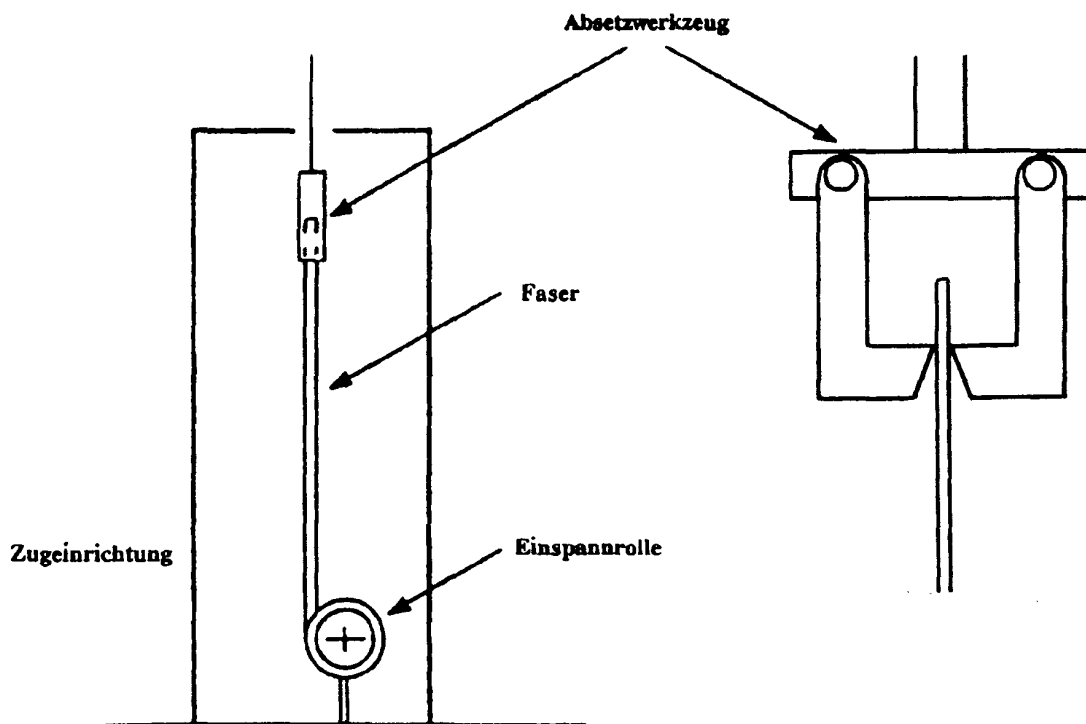
Die Bewegung ist mit der in [3.9.4.2](#) angegebenen Geschwindigkeit vorzunehmen.

Die Vorrichtung muß eine Relativbewegung in beide Richtungen ermöglichen, um ein Zurücksetzen zu erlauben. Es sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um das Klemmen und Festhalten der Absetzschneide senkrecht zur Faserachse oder in einer Richtung, in der Faserbiegung vermieden wird, sicherzustellen und um ein Ende der zu prüfenden Faser festzuhalten. Um Faserbruch zu vermeiden, dürfen die Mittel zur Sicherung der Fasern an der Klemmstelle die Faser nicht übermäßig beanspruchen.

Beispiele für Prüfanordnungen sind in [Bild 11](#) angegeben.

3.9.2.2 *Kraftmeßzelle*

Es kann jede geeignete Vorrichtung verwendet werden, die imstande ist, die auf die Faser während des Absetzvorganges einwirkende Kraft festzustellen.



Entweder ist das Absetzwerkzeug oder die Einspannrolle fest angebracht.

Bild 11

3.9.2.3 Meßverstärker

Die Einrichtung empfängt die von der Kraftmeßzelle ausgehenden Signale und gibt die auf die zu prüfende Faser wirkende Zugkraft an, bis die Faserbeschichtung von der Faser entfernt ist. Die Anzeige muß kontinuierlich sein, wie z. B. ein Linienschreiber, und soll ausreichende Informationen enthalten, um die maximale und mittlere Zugkraft, die Amplitude und die Häufigkeiten jeder Oszillation der Zugkraft während des Absetzens zu ermitteln.

Die Genauigkeit der Kraftmessung muß in der Bauartspezifikation angegeben werden.

3.9.2.4 Absetzwerkzeug

3.9.2.4.1 Da die Ergebnisse dieses Prüfverfahrens stark von der Konstruktion des Absetzwerkzeuges abhängen, ist es wichtig, folgende Richtlinien für die Werkzeugkonstruktion zu beachten:

- Sofern nicht anders in der Bauartspezifikation angegeben, soll der Lochdurchmesser im Werkzeugmesser oder der Abstand zwischen den Schneiden größer als der Nenndurchmesser der Beschichtung der abzuisolierenden Faser sein, um die Beschichtungsfläche nicht zu beschädigen. Ein praktisches Beispiel ist ein Lochdurchmesser bzw. ein Abstand zwischen den Schneiden, der 50 µm größer ist als der Nenndurchmesser der beschichteten Faser.
- Die Absetzwerkzeugschneiden müssen so konstruiert sein, daß die Schneiden keine Faserkrümmungen verursachen. Absetzwerkzeuge, bei denen die Schneiden in derselben Ebene anstoßen, sind bei diesem Prüfverfahren zu bevorzugen.

3.9.2.4.2 Das Absetzwerkzeug muß auf der Prüfhalterung befestigt sein und die Fasern unter Verwendung geeigneter Klemmen fest umschließen.

3.9.2.4.3 Absetzwerkzeuge sind in bestimmten Zeitabständen zu ersetzen, wie es in einem schriftlich niedergelegten Qualitätsplan gefordert wird oder immer dann, wenn die Abnutzung so weit fortgeschritten ist, daß die Ergebnisse beeinträchtigt werden können.

ANMERKUNG: Eine Abnutzung des Werkzeuges kann einen oder alle nachfolgenden Effekte beeinflussen: Faserbruch; verbleibende Beschichtungsreste auf der Glasoberfläche; die Art, wie die Beschichtung von der Faser entfernt wird; und die zum Entfernen der Beschichtung benötigte Kraft.

3.9.2.5 Faserführung

Die über die Schneide des Absetzwerkzeuges verlaufende Faser muß mittels einer geeigneten Führungseinrichtung gerade gehalten werden (was im Absetzwerkzeug selbst vorgesehen werden darf). Sie muß die folgenden Anforderungen erfüllen:

- a) Die Führung muß ein Durchhängen der Faser aufgrund ihres Gewichtes verhindern.
- b) Die Führung muß Krümmungen der Faser aufgrund vom Ausknicken der Beschichtung beim Absetzvorgang verhindern.
- c) Die Führung muß sich so nah wie möglich am Absetzwerkzeug befinden, ohne den Absetzvorgang zu behindern.
- d) Die Führung muß sich leicht in die Prüfvorrichtung einsetzen und leicht reinigen lassen sowie genug Platz im Falle eines Ausknickens der Beschichtung bieten.

3.9.3 Probenvorbereitung

3.9.3.1 Repräsentative Proben

Die Probe muß für die Gesamtmenge der zu prüfenden Fasern repräsentativ sein. Wegen der Schwankungen bei der Prüfung sind mindestens 10 Proben zu prüfen und davon der Mittelwert zu bilden, um ein Ergebnis für eine bestimmte Probe zu erhalten.

3.9.3.2 Probenlänge

Die abgesetzte Faserlänge kann die Absetzkraft beeinflussen. Für Fasern mit einem Nenndurchmesser der Beschichtung von 250 µm hat die abgesetzte Länge nur einen geringen Einfluß auf die Absetzkraft. Die abgesetzte Faserlänge ist in der Bauartspezifikation anzugeben. (Für 250 µm Nennbeschichtungsdurchmesser sind die Vorzugswerte 20, 30 oder 50 mm. Für größere Beschichtungsdurchmesser sind kürzere Absetzlängen zu bevorzugen.)

Die Gesamtprobenlänge wird bestimmt durch den Abstand zwischen dem gesicherten Faserende und dem Absetzwerkzeug, der spezifizierten Faserlänge, die durch das Absetzwerkzeug verläuft (siehe Bild 12) und der erforderlichen Faserlänge zur Befestigung der Faser in der Prüfvorrichtung. Prüfergebnisse hängen zum Teil von der Faserlänge, die durch das Absetzwerkzeug verläuft, ab; die Ergebnisse hängen nicht von der Gesamtprobenlänge ab.

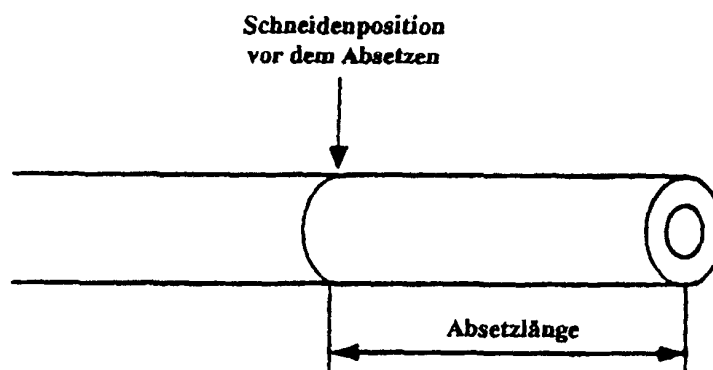


Bild 12

3.9.4 Prüfdurchführung

3.9.4.1 Einleitung

Dieses Verfahren beinhaltet:

- a) das Durchschneiden der Beschichtung im vorgeschriebenen Abstand vom Faserende und
- b) das Entfernen der Beschichtung von der Faser, währenddessen die erforderliche Kraft zum Entfernen der Beschichtung gemessen wird.

3.9.4.2 Absetzgeschwindigkeit

Die zum Entfernen der Beschichtung von der Faser benötigte Kraft ist z.T. abhängig von der Absetzgeschwindigkeit. Wenn Ergebnisse vergleichbar sein sollen, muß dieselbe Absetzgeschwindigkeit verwendet werden. Die Prüfvorrichtung muß so aufgebaut sein, daß eine relative Bewegung zwischen Faser und Absetzwerkzeug mit der in der Bauartspezifikation angegebenen Geschwindigkeit stattfindet. (Ein bevorzugter Wert für Fasern mit 250 µm Nennbeschichtungsdurchmesser ist 100 oder 500 mm/min, für größere Beschichtungsdurchmesser: 100 mm/min vorzugsweise.)

3.9.4.3 Vorkonditionierung

Soweit nicht anders festgelegt, müssen die Prüfstücke mindestens 24 Stunden bei $(25 \pm 5)^\circ \text{C}$ und 30 % bis 60 % relativer Feuchte vorkonditioniert werden.

3.9.4.4 Kalibrierung des Meßverstärkers

Der Meßverstärker und die Kraftmeßzelle müssen vor jeder Meßreihe oder gemäß einem schriftlich festgelegten Kalibrierplan kalibriert werden.

3.9.4.5 Einspannen der Proben

Vor dem Einsetzen der Faser muß der Bereich um beide Schneiden des Absetzwerkzeuges frei von Verunreinigung und/oder Resten früherer Benutzung sein.

Ein Ende der Prüffaser muß an der Probenhalterung so befestigt sein, daß sie bei Belastung nicht rutscht (z. B. 3 Windungen der Faser um eine 80-mm-Ø-Rolle). Das andere Ende wird in das Absetzwerkzeug eingefädelt und in die Faserführung/-halterung gelegt.

3.9.4.6 Absetzen der Beschichtung

3.9.4.6.1 Die Prüfeinrichtung ist so zu betätigen, daß eine konstante Relativbewegung zwischen Faser und Absetzwerkzeug entsteht.

3.9.4.6.2 Die benötigte Kraft zum Entfernen der Beschichtung von der Faser ist festzustellen und zu notieren. Die Werte von Fasern, die während der Prüfung brechen, sind nicht aufzunehmen.

3.9.4.6.3 Die Prüfung ist beendet, wenn die Beschichtung vollständig von der Faser entfernt wurde.

ANMERKUNG: Alle verbleibenden Beschichtungsreste, die mit bloßem Auge zu erkennen sind, müssen durch vorsichtiges Abwischen mit einem Tuch entferntbar sein.

3.9.5 Ergebnisse

3.9.5.1 Die folgenden Informationen sind bei jeder Prüfung anzugeben:

3.9.5.1.1 Prüfdatum.

3.9.5.1.2 Angabe der geprüften Faser einschließlich äußerem Durchmesser der Beschichtung und Art des Beschichtungsmaterials.

3.9.5.1.3 Angabe des benutzten Absetzwerkzeuges einschließlich Hersteller und Nennmaß des Schneidenloches.

3.9.5.1.4 Die Absetzgeschwindigkeit.

3.9.5.1.5 Die Länge der abgesetzten Beschichtung.

3.9.5.1.6 Prüfergebnisse einschließlich:

- a) Zahl der ungebrochenen oder unbeschädigten geprüften Fasern,
- b) Mittelwert aus 10 oder mehr Probestücken als mittlere Absetzkraft, unter Weglassung der ersten Spitze,
- c) Standardabweichung oder Bereich der Probengesamtheit,
- d) Anzahl der geprüften Fasern, die vor Beendigung des Absetzvorganges gebrochen oder beschädigt wurden,
- e) Umweltbedingungen für die Vorkonditionierung und während der Prüfung einschließlich Temperatur und relativer Feuchte,
- f) Falls die Beschichtungsreste nicht leicht entferntbar waren, wie in 3.9.4.6.3 beschrieben, ist dies anzugeben.

Hauptabschnitt Vier – Prüfverfahren für Übertragungstechnische und optische Eigenschaften

4.1 Zweck

Die Prüfverfahren gelten für praktische Messungen der Übertragungstechnischen und optischen Parameter von LWL. Diese Verfahren sind bei der Prüfung von Fasern und Kabeln für den Handelsverkehr anzuwenden.

Die Übertragungstechnischen und optischen Eigenschaften von LWL müssen anhand von ausgewählten Prüfverfahren von [Tabelle 4](#) nachgewiesen werden. Die verwendeten Prüfverfahren und Annahmekriterien müssen der Bauartspezifikation entsprechen.

4.2 Dämpfung

Die Dämpfung ist ein Maß für die abnehmende optische Leistung in einer Faser. Sie hängt von der Beschaffenheit und Länge der Faser ab und wird durch Meßbedingungen beeinträchtigt.

Undefinierte Anregungsbedingungen regen in der Regel Leckmoden höherer Ordnung an, die beim Übergang Verluste erzeugen und eine Dämpfung ergeben, die nicht proportional zur Faserlänge ist. Eine definierte stabile Anregungsbedingung liefert eine Dämpfung, die proportional zur Faserlänge ist. Unter stabilen Bedingungen kann ein Dämpfungskoeffizient für LWL ermittelt werden, und die Dämpfung zusammengeschalteter Fasern addiert sich linear.

Tabelle 4: Übertragungstechnische und optische Prüfungen

Prüfverfahren für Mehr- und Einmodenfasern		
Prüfverfahren	Prüfung	Mit dem Prüfverfahren erfaßte Eigenschaften
301 302 303	Rückschneideverfahren Einfügedämpfungsverfahren Rückstreuverfahren	Dämpfung
101 102 xxx	Strahlenbrechungsverfahren Nahfeldmessung Radiale Interferometrie (in Vorbereitung)	Brechzahlprofil
303	Rückstreuverfahren	Örtliche Fehlstellen
307 303	durchgehende oder abgestrahlte Lichtleistung Rückstreuverfahren	Optischer Durchgang
308 309	Phasenverschiebungsverfahren wellenlängenabhängige Pulsverzögerungsmessung im Zeitbereich	Chromatische Dispersion
316 317	Übertragungsleistung: Aufzeichnung Rückstreuleistung: Aufzeichnung	Änderung der optischen Übertragungsverhältnisse während mechanischer und Umweltprüfungen
Prüfverfahren für Mehrmodenfasern		
304 305	Impulsantwort Frequenzantwort	Basisbandantwort
311	Fernfeldlichtverteilung	Numerische Apertur
Prüfverfahren für Einmodenfasern		
306	Mikrokrümmungsempfindlichkeit	Empfindlichkeit gegen Mikrokrümmungen
318	Makrokrümmungsempfindlichkeit	Empfindlichkeit gegen Makrokrümmungen
310 xxx	Differentielle Phasenverschiebung Interferometrie (in Vorbereitung)	Chromatische Dispersion
312 313	Grenzwellenlänge Kabelgrenzwellenlänge	Fasergrenzwellenlänge Grenzwellenlänge der verkabelten Faser
314 315 xxx xxx	Fernfeldabtastung variable Apertur Schneidenabtastung (in Vorbereitung) Nahfeldabtastung (in Vorbereitung)	Felddurchmesser

4.3 Arbeitsbegriffe

Die Dämpfung einer Faser $A(\lambda)$ bei der Wellenlänge λ zwischen zwei Querschnitten 1 und 2, die durch den Abstand L voneinander getrennt sind, ist wie folgt definiert:

$$A(\lambda) = \left| 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \right| (\text{dB}).$$

Hierin bedeutet P_1 die optische Leistung, die durch den Querschnitt 1 fließt, und P_2 die optische Leistung, die durch den Querschnitt 2 fließt. Bei einer längsgleichmäßigen Faser kann unter Gleichgewichtsbedingungen die Dämpfung je Längeneinheit bzw. der Dämpfungskoeffizient definiert werden:

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} (\text{dB}) (\text{Längeneinheit})^{-1},$$

der unabhängig von der gewählten Faserlänge ist.

4.4 Beschreibung der Dämpfungsmeßverfahren

Im folgenden werden drei Verfahren zur Dämpfungsmessung beschrieben.

a) Rückschneideverfahren

Das Rückschneideverfahren ist eine unmittelbare Anwendung der Dämpfungsdefinition, bei der die Leistungspegel P_1 und P_2 an zwei Stellen der Faser gemessen werden, wobei die Anfangsbedingungen unverändert bleiben. P_2 ist die Leistung, die am Ende des LWL austritt, und P_1 ist die Leistung, die austritt, wenn die Faser in der Nähe des Faseranfangs geschnitten wurde.

Bei diesem Prüfverfahren ist es nicht möglich, über das Dämpfungsverhalten längs der Faser Aufschluß zu gewinnen. Ebenso ist es schwierig, die Dämpfungsänderung unter sich ändernden Bedingungen zu messen. Aber für eine festgelegte Bedingung gibt dieses Prüfverfahren den genauesten Dämpfungswert entsprechend der Definition. In einigen Fällen kann dieses zerstörende Verfahren nachteilig sein.

b) Einfügedämpfung

Das Einfügedämpfungsverfahren ist im Prinzip ähnlich dem Rückschneideverfahren, aber P_1 ist die Leistung, die am Ausgang des Anregungssystems austritt. Die gemessene Dämpfung, Faserdämpfung plus Zusatzdämpfung, bedingt durch die Meßanordnung, muß um die Steckerdämpfung und um die Dämpfung der Referenzfaserstücke korrigiert werden.

Mit diesem Verfahren ist ebenfalls keine Aussage über die Dämpfung längs der Faser möglich, aber aufgrund der zuvor gemessenen Dämpfung P_1 ist es möglich, mit diesem Verfahren kontinuierlich die Änderung der Dämpfung während sich ändernder Umweltbedingung, wie z. B. Temperatur und Kraft, zu messen.

Dieses Verfahren ist ebenfalls geeignet, konfektionierte Kabel zu messen.

c) Rückstreuverfahren

Das Rückstreuverfahren – ein Meßverfahren von einer Seite – mißt die optische Leistung, die von verschiedenen Punkten in der Faser zum Anfang der Faser rückgestreut wird.

Die Messung wird beeinflusst von der Ausbreitungsgeschwindigkeit in der Faser und dem Rückstreuverhalten der Faser. Wenn beide konstant sind – was normalerweise für einzelne Faserstücke der Fall ist –, kann das Ergebnis der Dämpfungsmessung genau sein, wenn die festgelegten Anregungsbedingungen beachtet wurden.

Die Art dieses Meßverfahrens macht es ebenfalls möglich, die Dämpfung über die ganze Länge oder bestimmte Abschnitte der Faser ebenso zusammengeschaltete Faserverbindungen zu analysieren und die Spleißdämpfung zu ermitteln. In einigen Fällen ist es notwendig, von beiden Seiten zu messen, damit richtungsabhängige Rückstreueffekte ausgeschaltet werden.

Darüber hinaus kann die Länge einer Faser gemessen werden.

4.5 Prüfverfahren 301 – Rückschneideverfahren

4.5.1 Anregungsbedingungen

4.5.1.1 Einmodenfaser

Ein optisches Linsensystem oder ein Faserpigtail kann zur Anregung der Prüffaser verwendet werden. Die in die Faser eingekoppelte Leistung muß während der Meßzeit stabil sein.

4.5.1.1.1 Faserpigtail

Wird ein Pigtail verwendet, kann es notwendig sein, Immersionsflüssigkeit zwischen dem Sendepigtail und der Prüffaser einzubringen, um Interferenzeffekte zu vermeiden.

4.5.1.1.2 Optisches Linsensystem

Wird ein optisches Linsensystem verwendet, ist eine Vorrichtung zur stabilen Halterung des Eingangsendes der Faser, wie z. B. eine Vakuum-„Klemme“, zu verwenden. Die Halterung ist auf der Positionieranordnung so zu befestigen, daß das Faserende wiederholt auf den Eingangsstrahl ausgerichtet werden kann. Ein Verfahren, um die Faserpositionierung weniger empfindlich zu machen, ist die Überstrahlung des Faserendes bezüglich Ort und Winkel.

4.5.1.1.3 Filter für Moden höherer Ordnung

Maßnahmen sind zu ergreifen, um in dem betreffenden Wellenlängenbereich sich fortpflanzende Moden höherer Ordnung zu vermeiden. Ein Beispiel eines Filters für Moden höherer Ordnung ist eine einzelne Schleife mit einem ausreichend kleinen Radius, um die Grenzwellenlänge unter die kleinste interessierende Wellenlänge zu verschieben, der aber andererseits nicht so klein sein darf, daß wellenlängenabhängige Oszillation auftritt.

4.5.1.1.4 Mantelmodenabstreifer

Der Mantelmodenabstreifer stellt sicher, daß keine Strahlungsmoden, die sich in dem Mantel ausbreiten, nach einer kurzen Strecke in der Faser noch nachweisbar sind. Der Mantelmodenabstreifer besteht oft aus einem Mate-

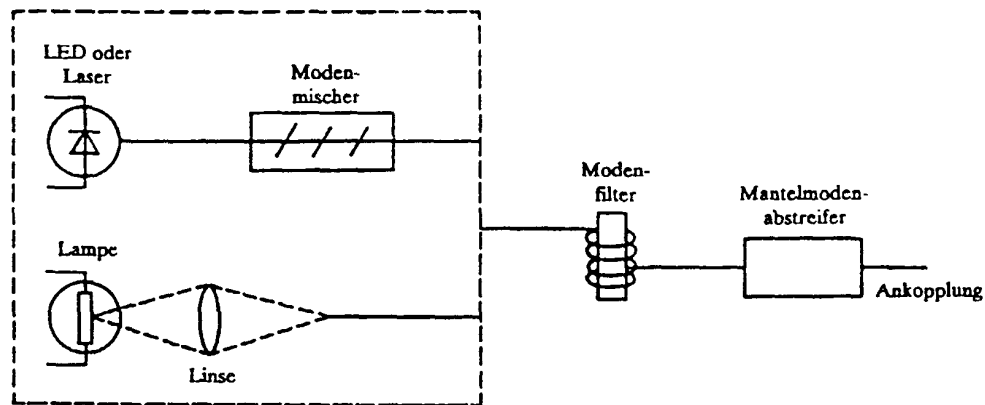


Bild 13: Allgemeine Anordnung

rial, das aus einem Brechungsindex größer oder gleich dem des Fasermantels ist. Dies kann eine Immersionsflüssigkeit sein, die unmittelbar am Ende der nackten Faser aufgebracht wird. Unter gewissen Umständen wirkt die Faserbeschichtung selbst als Mantelmodenabstreifer.

4.5.1.2 Mehrmodenfaser

Die Anregungsbedingungen sind von wesentlicher Bedeutung, um die Anforderungen in 4.2 zu erfüllen. Die Anregungsbedingungen sollten so festgelegt werden, daß ein Übergang von Leistung in höhere, nicht stabile Moden vermieden wird. Dadurch, daß die Anregungsenergie nicht in diese nicht stabilen Moden bei der zu prüfenden Faser eingekoppelt werden, werden Dämpfungen gemessen, die sich annähernd in linearer Weise addieren. Da diese Leistungsverteilung durch die Faser im wesentlichen nicht verändert wird, wird sie auch Modengleichgewichtsverteilung genannt.¹⁾

4.5.1.2.1 Anregungsverfahren

Im allgemeinen werden zwei verschiedene Verfahren, um Modengleichgewichtsverteilungsbedingungen für Dämpfungsmessungen zu erreichen, verwendet – Modenfilter und geometrisch optische Anregung. Beispiele für beide Verfahren sind in 4.5.2 angegeben. Wenn beide Verfahren bestimmungsgemäß verwendet werden, lassen sich vergleichbare Ergebnisse erzielen. Ein allgemeines Beispiel für eine Anregungsanordnung, die ein Modenfilter benutzt, ist in Bild 13 angegeben.

4.5.1.2.2 Mantelmodenabstreifer

Der Mantelmodenabstreifer stellt sicher, daß nach einer kurzen Strecke in der Faser keine Strahlungsmoden, die sich in dem Mantel ausbreiten, nachweisbar sind. Der Mantelmodenabstreifer besteht oft aus einem Material mit einem Brechungsindex größer oder gleich dem des Fasermantels. Dies kann eine Immersionsflüssigkeit sein, die unmittelbar am Ende der nackten Faser aufgebracht wird. Unter gewissen Umständen wirkt die Faserbeschichtung selbst als Mantelmodenabstreifer.

4.5.1.2.3 Modenmischer

Eine im wesentlichen gleichmäßige Leistungsverteilung sollte vor dem Modenfilter eingespeist werden. Für Quellen wie LED und Laser, die diese Bedingungen nicht erfüllen, sollte ein Modenmischer verwendet werden. Der Modenmischer muß eine geeignete Faserkombination enthalten (z. B. eine Folge von Step-Index-, Gradienten-, Step-Index-Profilfasern).

4.5.2 Beispiele für Anregungsbedingungen

4.5.2.1 Modenfilter

4.5.2.1.1 Hilfsfaser Modenfilter

Eine Faser, ähnlichen Typs wie die zu prüfende Faser, wird ausgewählt. Die Faser sollte lang genug sein (normalerweise gleich oder größer als 1 km), so daß die Leistungsverteilung in der Faser einer Gleichgewichtsverteilung entspricht, wenn die Anregungsquelle entsprechend 4.5.1.2.3 benutzt wird.

4.5.2.1.2 Wickeldorn – Modenfilter

Ein weiterer Modenfilter besitzt die Form eines Dornes, um den wenige Wicklungen (typisch drei bis fünf Wicklungen) der zu prüfenden Faser mit geringer Spannung gewickelt sind. Der Dorndurchmesser ist so auszuwählen,

1) Die Gleichgewichtsmodenverteilung ist früher in Normen verwendet worden.

daß die nicht stabilen Moden, die in der zu prüfenden Faser angeregt werden, so gedämpft sind, daß deren Verteilung der Modengleichgewichtsverteilung entspricht. Eine Fernfeldmessung ist zu verwenden, um die Leistungsverteilung, wie sie aus einer langen Länge (größer als 1 km) der Prüffaser heraustritt, die mit einer gleichförmigen Überstrahlung der Quelle angeregt worden ist, mit der Leistungsverteilung zu vergleichen, die aus einer kurzen Faserlänge heraustritt, bei der ein Dorn verwendet wurde. Der Dorndurchmesser ist so auszuwählen, daß er eine Fernfeldverteilung in der kurzen Testlänge hervorruft, die der Fernfeldverteilung der langen Länge nahekommt.

Die Numerische Apertur (gemessen nach Prüfverfahren 311) des Strahlungsfeldes, das aus der kurzen Länge heraustritt, sollte 94 % bis 100 % der Numerischen Apertur des Strahlungsfeldes der langen Länge betragen.

Der Durchmesser des Dornes kann sich von Faser zu Faser unterscheiden, abhängig von der Art der Faser und der Beschichtung. Im allgemeinen sollte der Durchmesser in der Größenordnung von 15 mm bis 40 mm liegen, mit fünf Faserwindungen innerhalb eines 20 mm breiten Dornes.

4.5.2.1.3 Kombinierte Modenmischer und Modenfilter

Die Funktionen des Modenmischers und Modenfilters können kombiniert werden, indem eine Vorrichtung verwendet wird mit einer gewissen Anzahl von Metallkugeln (Größe 1 mm bis 5 mm), die statistisch verteilt sind, aber mit den Kugelhöfen in einer geraden Linie ausgerichtet sind. Eine Faser ähnlichen Typs wie die zu prüfende Faser wird gegen die mit Kugeln besetzte Vorrichtung über eine Länge von ungefähr 0,5 m gedrückt. Änderungen des Drucks erlauben Leistungsverteilungen, die aus der kurzen Länge der Faser heraustreten, so daß sie in gleicher Weise kalibriert werden können, wie in 4.5.2.1.2 beschrieben.

4.5.2.2 Geometrisch optische Anregung

Eine begrenzte Phasenraumanregung (LPS) ist als geometrisch erzeugte Anregungsbedingung definiert, die einheitlich 70 % des Kerndurchmessers und 70 % der Numerischen Apertur der zu prüfenden Faser ausfüllt. Dies ist die maximale geometrisch angeregte Leistungsverteilung, die noch keine nicht geführten Leckmoden anregt. Für eine 50/125 μm , 0,2 NA Gradientenindex-Multimodefaser besteht die LPS-Anregungsbedingung also aus einem einheitlichen 35- μm -Fleck und einer 0,14 NA.

Zur Zeit verwendet CCITT einen 26- μm -Fleck und eine 0,11 NA für dieselbe Faser.

Ein Beispiel für die optische Einrichtungen, die nötig sind, um die LPS-Anregung herzustellen, ist in Bild 14 angegeben. Es ist wichtig, sicherzustellen, daß die Achse des Anregungsstrahls mit der Achse der Faser so zusammenfällt, daß der Fleck und der Einfallkegel des Lichtes auf den Faserkern zentriert wird. Ebenso muß das optische System auf die Betriebswellenlängen eingestellt werden, daß eine korrekte Messung möglich ist.

4.5.3 Meßgerät

a) Die Messungen können bei einer oder mehreren Wellenlängen durchgeführt werden. Alternativ kann auch das spektrale Verhalten über einen größeren Wellenlängenbereich erforderlich sein. Geeignete Meßplätze sind als Beispiele in den Bildern 15 und 16 dargestellt.

b) Lichtquelle

Eine geeignete Lichtquelle, zum Beispiel eine Lampe, ein Laser oder eine lichtemittierende Diode, muß verwendet werden. Die Auswahl der Lichtquelle hängt von der Art der Messung ab. Die Lichtquelle muß bezüglich ihrer Lage, ihrer Intensität und Wellenlänge während des gesamten Meßzeitraumes stabil bleiben. Die spektrale Linienbreite (zwischen den 50-%-Werten der optischen Lichtintensitätspunkte der genutzten Quellen) muß so festgelegt werden, daß die Linienbreite schmal ist im Vergleich zu irgendwelchen Besonderheiten in der wellenlängenabhängigen Faserdämpfung. Die Faser ist auf den Anregungskonus auszurichten oder koaxial an die Anregungsfaser anzukoppeln.

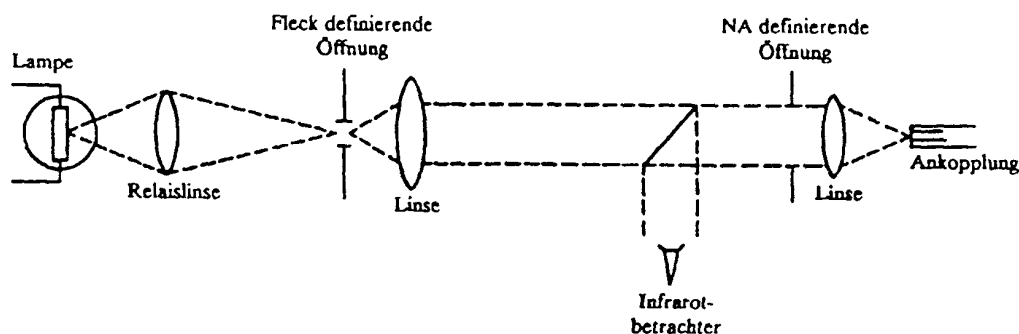


Bild 14: Begrenzte Phasenraum-Ankopplungsoptik

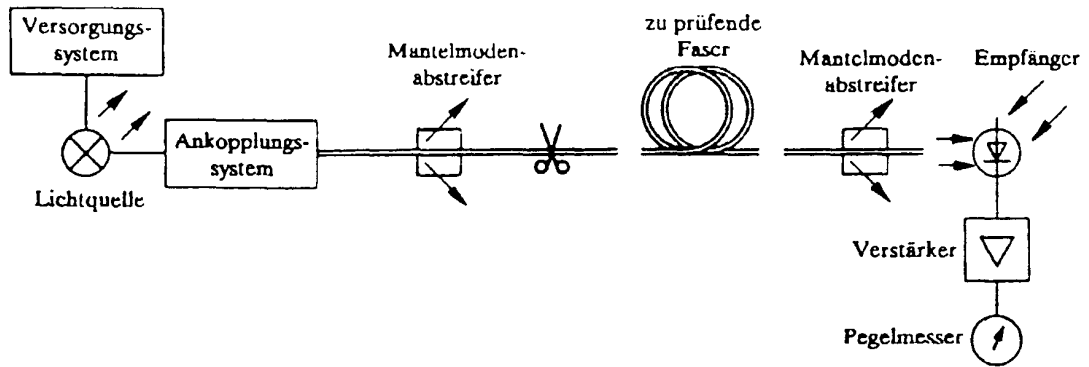


Bild 15: Anordnung zur Dämpfungsmessung bei einer bestimmten Wellenlänge

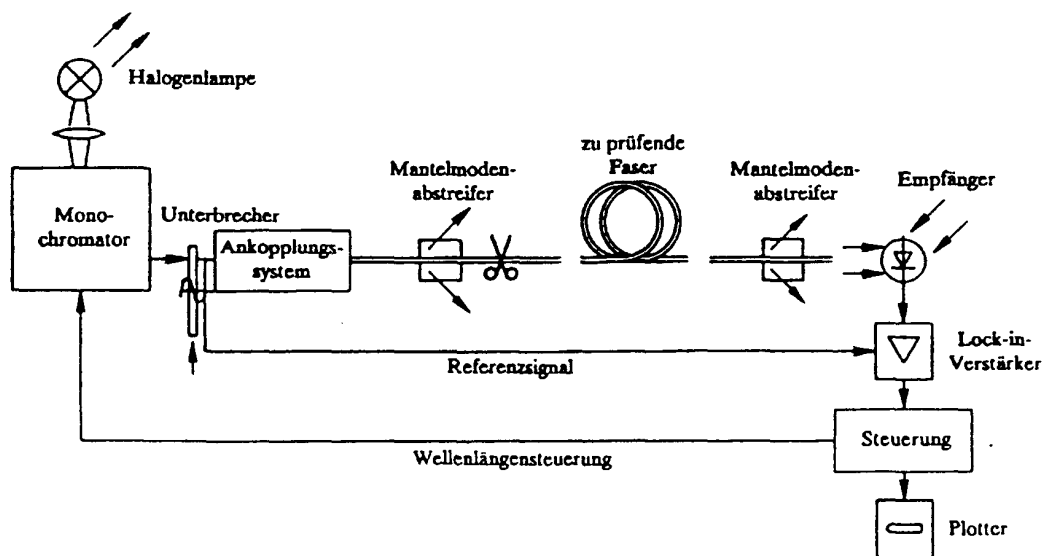


Bild 16: Anordnung zur Messung der spektralen Dämpfung

c) Lichtempfänger

Es sind Maßnahmen zu ergreifen, um die gesamte von der Prüffaser ausgesandte Energie in den aktiven Bereich des Empfängers einzukoppeln. Zum Beispiel können ein optisches Linsensystem, ein mit Immersionsflüssigkeit versehener Spleiß, anstoßend an die Faserpigtails, oder ein direktes Ankoppeln an den Empfänger mittels Immersionsflüssigkeit verwendet werden. Wenn der Empfänger bereits mit einem Pigtail versehen ist, muß die Pigtailfaser einen ausreichend großen Kerndurchmesser besitzen und eine entsprechende Numerische Apertur haben, um das gesamte Licht, das aus der Test- bzw. Referenzfaser heraustritt, aufzufangen.

Ein optischer Empfänger, der über den gewünschten Intensitätsbereich und die zu erwartenden Meßzeiten linear und stabil ist, muß verwendet werden. Ein typisches System kann z. B. eine im photovoltaischen Modus arbeitende Photodiode, deren Photostrom, verstärkt durch einen Stromverstärker, mittels Lock-in-Technik nachgewiesen wird, enthalten.

d) Signalverarbeitung

Es ist üblich, den Lichtsender zu modulieren, um das Signal/Rauschverhältnis am Empfänger zu verbessern. In diesem Fall sollte der Empfänger an einem mit der Modulationsfrequenz der Lichtquelle synchronisierten Signalverarbeitungssystem angeschlossen sein. Das Empfangssystem sollte möglichst linear sein oder aber bekannte Eigenschaften aufweisen.

e) Mantelmodenabstreifer

Es sind geeignete Verfahren zu verwenden, mit denen die Lichtleistung, die sich im Fasermantel ausbreitet, entfernt wird, wenn diese das empfangene Signal merklich beeinflussen würde.