Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 21

Artikel: Praktische Hinweise zur Multimode-Lichtleiter-Technik

Autor: Heinzmann, P. / Hofstetter, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904707

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Praktische Hinweise zur Multimode-Lichtleiter-Technik

Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Faseroptik erfordern neben theoretischen Kenntnissen auch praktische Erfahrung. Der vorliegende Bericht soll einige Ratschläge betreffend den Umgang mit dieser neuen Technik weitergeben. Diese beruhen teils auf eigenen Erfahrungen, teils auf Hinweisen von Faseroptik-Fachleuten aus anderen Instituten bzw. aus Industrie- oder PTT-Laboratorien.

1. Aufbau der Einzelfaserkabel

Die im Labor verwendeten Einzelfaserkabel bestehen aus dem eigentlichen Lichtleiter, einer ersten Schutzschicht (primary coating, buffer coating) und aus weiteren Elementen, welche die Faser schützen bzw. dem Kabel grössere Festigkeit verleihen (secondary coating). Es wird unterschieden zwischen sogenannten Voll-ader- (tight-tubing) und Hohl-aderkonstruktionen (loose-tubing) (Fig. 1). Die Tabelle I zeigt die wichtigsten in Kommunikationssystemen zum Einsatz kommenden Multimode-Lichtleitertypen. Im ersten Standard der IEC für die allgemeine Spezifikation optischer Fasern [1] sind vorerst nur die mit *IEC A.1...4* bezeichneten Kategorien aufgeführt. Die Standardisierungsarbeiten bezüglich der geometrischen und optischen Parameter sind zurzeit noch nicht abgeschlossen. Allerdings haben sich bei den Telekommunikationsanwendungen die 50/125-µm-Glas-Mantel/Glas-Kern-Fasern als De-facto-Standard herausgestellt.

Die maximal überbrückbare Übertragungsdistanz ist durch die einkoppelbare Lichtleistung, die Faserdämpfung, die Faserbandbreite und die Übertragungsrate bestimmt. Man spricht von Dämpfungs- oder Dispersionsbegrenzung. Bei grossem Kerndurchmesser und grosser Numerischer Apertur kann auch mit den billigen Licht-emittierenden Dioden (LED) viel Licht in die Faser eingekoppelt werden; ausserdem wird die Verbindungstechnik einfacher. Mit zunehmender Numerischer Apertur nimmt aber bei den Stufenindexfasern die Übertragungsbandbreite ab. Je nach Anwendungsbereich werden verschiedene Fasertypen entsprechend ihren unterschiedlichen Eigenschaften bevorzugt (Fig. 2).

Plastikfasern besitzen Dämpfungsminima bei etwa 570 nm, 660 nm und 780 nm. Bis jetzt wurden keine Dämpfungswerte von weniger als 100 dB/km erreicht. Man findet nur Konstruktionen mit grossen Kerndurchmessern und grosser Numerischer Apertur bzw. niedrigen Bandbreiten, so dass der Einsatz auf Distanzen unter 50 m beschränkt ist (Instrumentierung). Wie bei den Plastikfasern sind auch bei den

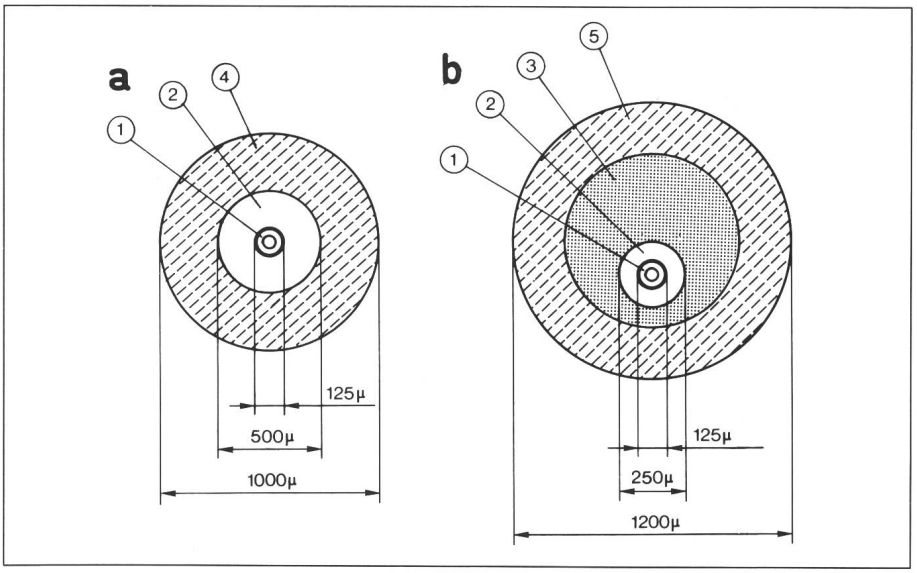


Fig. 1 Aufbau von Einzelfaserkabeln

a Volladerkonstruktion (tight-tubing)
b Hohlladerkonstruktion (loose-tubing)
① Fasermantel und -kern (cladding, core)
② Erste Schutzschicht (primary coating)
③ Gel
④ Plastikummantelung
⑤ Plastikröhrchen

Adresse der Autoren

P. Heinzmann, R. Hofstetter, I. Meier, Institut für Kommunikationstechnik, ETHZ, 8092 Zürich.

Zusammenstellung der gebräuchlichsten Fasertypen [1; ...; 5] Tabelle I

Faser-kategorie gemäss Standard IEC 793-1	Material		Bezeichnung	Pro-fil	Durchmesser [µm]			Numerische Apertur	Dämpfung		Bandbreite [MHz · km]
	Kern	Mantel			Kern	Mantel	1. Schutz-schicht		D.-Mass [dB/km]	im Wellenlän-genbereich [nm]	
A.1	Glas (Silica)	Glas (Silica)	GI-Glasfaser GI-Silicafaser GI-Quarzfaser GI-Fused-Silica	GI	50[1] 62,5 85 100	125[1] 125 125 140	250/500	0,2...0,29	3,5[2] 1	850 1300	200...2000[2]
A.2	Glas (Silica)	Glas (Silica)	SI-Glasfaser SI-Silicafaser SI-Quarzfaser SI-Fused-Silica	SI	62,5 100 200	125 140 280	250/500	0,17...0,29	< 4	850	10...100
-	Compound-Glas	Compound-Glas	SI-Glasfaser SI-Compound-Glasfaser	SI	200 200	230 250	500	0,4...0,5	20	850	5
-	Glas (Silica)	Hard-Polymer	HCS-Faser (Hard-Clad-Silica)	SI	110 120 200 400 600 1000	125 140 230 430 630 1035	250 250 500 730 950 1400	0,3	6...12	850	9,17
A.3	Glas (Silica)	Plastik (Silicon)	PCS-Faser (Plastic-Clad-Silica)	SI	200[3] 600	380 750	600 1060	0,2...0,4	6...12	850	10...30
A.4	Plastik	Plastik	Plastikfaser	SI	970 1000	1000 1030	- -	0,4...0,5	150...600 etwa 1000	570 850	< 5

SI Stufenindex; GI Gradientenindex; [1] CCITT Recommendation G.651 und IEC 693; [2] CCITT Recommendation G.956; [3] IEC 693

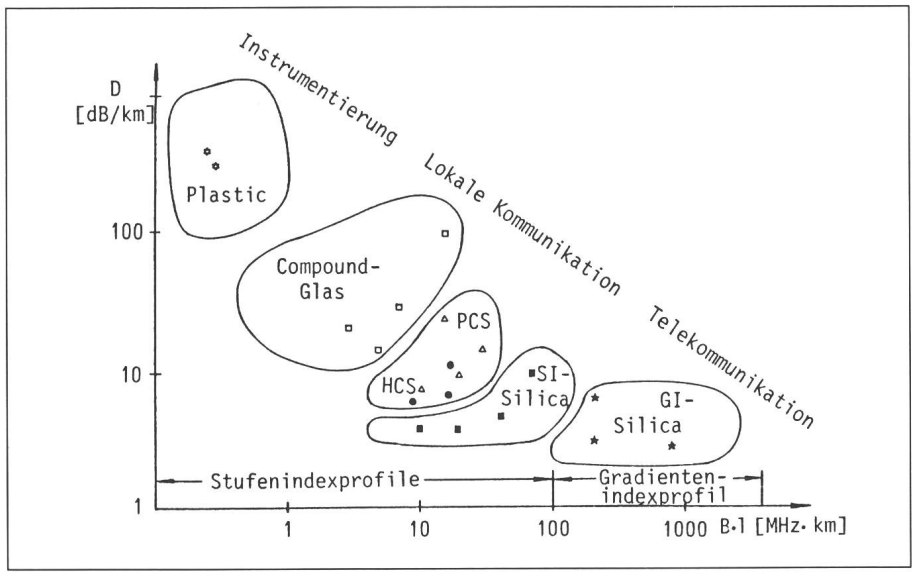


Fig. 2 Anwendungsbereiche für verschiedene Fasertypen

D Dämpfung
b · l Bandbreite-Längen-Produkt
✡ Plastic-Fasern
□ Compound-Glas
● Hard-Clad-Silica
△ Plastic-Clad-Silica
■ SI-Silica
★ GI-Silica

Compound-Glas-, PCS- und HCS-Fasern nur Stufenindexprofile anzutreffen. Diese Fasertypen werden bei Systemen mit Übertragungsdistanzen unterhalb etwa 5 km, d.h. im Lokalbereich eingesetzt. Über weite Distanzen (Telekommunikation) und bei hohen Übertragungsarten verwendet man Gradientenindexfasern.

2. Präparieren von Glasfaserkabeln

Die Glas-Kern/Glas-Mantel-Fasern[1] sind im Telekommunikationsbereich bei weitem die gebräuchlichsten Fasertypen. Auch die modernen Monomodefasern gehören zu dieser Klasse. Im folgenden wird daher ausführlicher auf die Präparierung dieser Typen eingegangen.

[1] Zum Teil wird zwischen *Glass-Fibers* (Compound-Fibers) und *Silica-Fibers* (Quarzfasern, Fused-Fibers, aber auch Glasfasern) unterschieden. Glass-Fibers werden aus gewöhnlichem geschmolzenem Glas hergestellt und sind daher billiger als die mit synthetischem SiO_2 hergestellten Silica-Fibers.

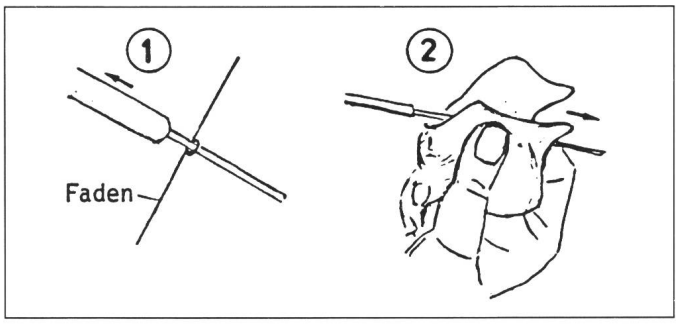


Fig. 3
Entfernen des Primary Coatings und Reinigung der Faser
① Faser wegziehen
② mit Lappen abstreifen

2.1 Entfernen der sekundären Schutzschichten

Zum Entfernen der Plastikummantelung bzw. des Plastikröhrchens verwendet man gewöhnliche Elektro-Abisolierzangen. Will man die Ummantelung nur auf einem kurzen Faserabschnitt entfernen, und zwar nicht am Faserende, so wird dies manchmal auch mit dem Lötkolben bewerkstelligt.

2.2 Entfernen der ersten Schutzschicht und Reinigen der Faser

Eine ganz frisch gezogene Glasfaser übertrifft bezüglich Zugfestigkeit sogar Stahl. Unglücklicherweise greift die Atmosphäre, insbesondere die Feuchtigkeit, die ungeschützte Faser sehr schnell an, wodurch diese brüchig wird. Aus diesem Grund versieht man die Glasfasern schon beim Ziehvorgang mit einer ersten Schutzschicht (primary coating). Diese dünne Schutzschicht bewahrt der Faser eine hohe Zugfestigkeit. Am weitesten verbreitet sind Primary Coatings aus Silicon oder aus Acrylaten.

Silicon Primary Coatings wurden vor allem bei Tight-Tubing-Kabeln eingesetzt. Sie lassen sich mit Hilfe eines dünnen Fadens (Angelschnur, Silch) entfernen, indem man eine kleine Schlinge um die Faser legt und diese zurückzieht (Fig. 3). Silicon Primary Coatings können auch mittels Schwefelsäure weggelöst werden.

Primary Coatings aus Acrylaten wurden früher vorwiegend bei Loose-Tubing-Konstruktionen eingesetzt. Sie lassen sich mit Dichloromethan (oder Methylenchlorid) weglösen. Neuerdings werden auch bei Tight-Tubing-Konstruktionen immer häufiger Acrylat-Coatings verwendet, weil diese im Gegensatz zu den Silicon-Coatings einen leicht höheren Brechungsindex als Quarzglas bzw. als das Mantelmaterial aufweisen und daher die Ausbreitung von Mantelmoden verhindern (Modenstripperwirkung). In jüngster Zeit findet man auch Fasern mit zweischichtigen Acrylat-Coatings, welche sich mechanisch entfernen lassen. Die Verfahren, bei welchen das Primary Coating mit einer Flüssigkeit weggelöst werden muss, weisen zwei Nachteile auf: Einerseits ist das Hantieren mit den zum Teil giftigen Flüssigkeiten sehr unhandlich, anderseits lässt sich der Bereich, in welchem sich die Schutzschicht loslösen soll, nicht genau kontrollieren.

Nach dem Entfernen des Primary Coatings empfiehlt sich vor allem beim Verfahren mit dem Faden eine Nachreinigung der Faser mit einem benetzten Papiertaschentuch (Fig. 3), wobei anhand eines leichten «Singens» der Faser die Sauberkeit festgestellt werden kann. Als Benetzungsflüssigkeit verwende man Spiritus (Propanol 2), Alkohol oder Aceton. Auch einige Möbelabbeizmittel können gute Dienste leisten. Es ist zu beachten, dass die Faser nun von allen Schutzschichten befreit ist und daher durch die Atmosphäre bzw. den Wasserdampf angegriffen wird. Schon nach kurzer Zeit ist eine so präparierte Faser sehr brüchig, wenn sie nicht weiter bearbeitet bzw. in einem Spleiss vergossen wird.

2.3 Präparieren der Endfläche

Die Endfläche soll eben sein und einen rechten Winkel zur Faserachse bilden. Winkelabweichungen von mehr als 0,8° ergeben bei Singlemode-Spleissungen bereits eine Zunahme der Durchgangsdämpfung von mehr als 0,3 dB [6; 7]. Multimode-Faserverbindungen sind in dieser Beziehung etwas weniger empfindlich. Nach Bildung einer Sollbruchstelle durch leichtes Anritzen des Fasermantels mit einem Keramikplättchen, mit dem Lichtbogen, mit einem Diamanten oder mit Schneidewerkzeugen aus diversen Materialien (Wolframcarbid, Stahl oder Saphir) wird die Faser einer Zugspannung in Richtung der Faserachse ausgesetzt. Wenn man darauf achtet, dass die Faser während dieses Vorgangs keinen Torsionsspannungen unterworfen ist, so entsteht ein sauberer planer 90°-Bruch.

Für die genannten Arbeitsgänge sind bereits verschiedene, zum Teil sehr teure und komplizierte Werkzeuge auf dem Markt. Erste Erfahrungen lassen vermuten, dass sie rasch abgenutzt sind und daher schon nach weniger als hundert Brüchen unbefriedigende Ergebnisse liefern. Die Präparierung «frei Hand» (Fig. 4) oder mit dem Spleissgerät bzw. dem Spleiss-Messtisch (Fig. 5) scheint immer noch die beste und zudem billigste Lösung zu sein.

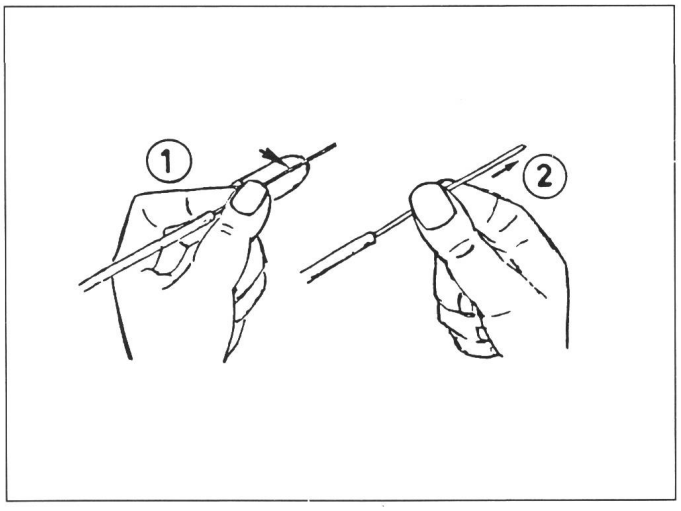


Fig. 4
Präparieren der Endflächen ohne Spezialgerät
① Faser leicht anritzen (mit Keramikplättchen)
② Ende in Richtung Faserachse abstreifen

Bemerkung: Weil das Faserende frei ist, können an der Sollbruchstelle keine Torsionsspannungen entstehen. Das abgebrochene Endstücklein soll für eine allfällige Kontrolle des Brechwinkels aufgehoben werden.

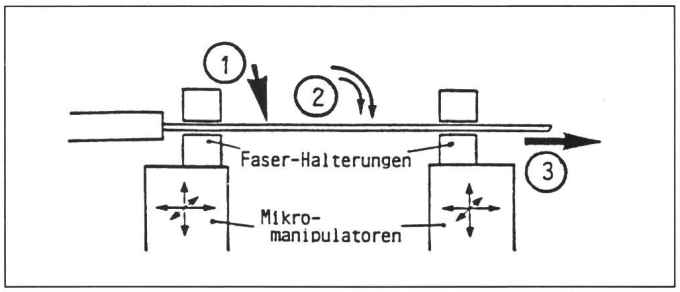


Fig. 5
Präparieren mit dem Spleissgerät
① Anbringen der Sollbruchstelle (mit Keramikplättchen oder Lichtbogen)
② Schmelzen (Entspannen) der Faser
③ Zugspannung in axialer Richtung

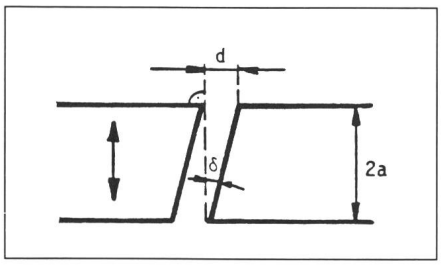
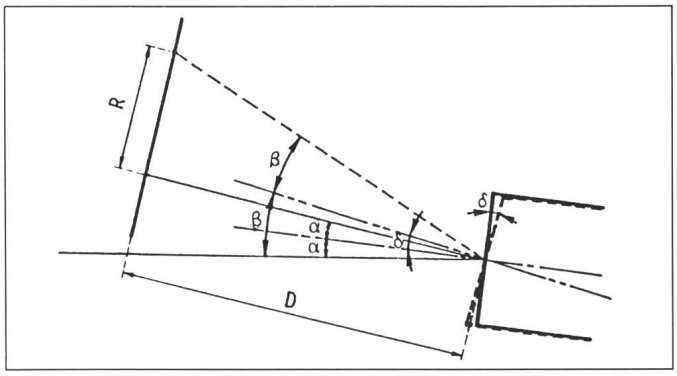


Fig. 6 Kontrolle des Endflächenwinkels unter dem Mikroskop
$\delta \leqslant \operatorname{arctg}(d/2a)$
Für $d = 10\ \mu m$ und $2a = 125\ \mu m$ ist $\delta \leqslant 4{,}6°$

Fig. 8
Berechnung des Endflächenwinkels
$\delta = 1/2 \operatorname{arctg}(R/D)$



3. Präparieren von Fasern mit Plastikkomponenten

Plastikfasern besitzen einen grossen Kerndurchmesser; die Verbindungstechnik ist deshalb sehr einfach. Die sekundären Schutzschichten werden genau gleich wie bei den reinen Glasfaserkapseln entfernt und die Fasern mit einer heissen Rasierklinge durchschnitten. Normalerweise erreicht man damit noch genügend plane Endflächen. Manchmal werden die Endflächen durch Reiben auf Schleifpapier poliert.

Plastic-Clad-Silica-Fasern, d.h. Fasern mit einem Plastikmantel und einem Glaskern können im Prinzip genau gleich wie die gewöhnlichen Glasfasern bearbeitet werden (Entfernen des meistens aus Tefzel [= Fluor-Kunststoff] bestehenden Secondary Coatings mittels Abisolierzange, wobei das Silicon-Mantelmaterial am Glaskern belassen werden soll). Beim Anritzen der PCS-Faser wird allerdings im Gegensatz zur Glasfaser auch der lichtführende Kern und nicht nur der Siliconmantel verletzt, was die Abstrahlcharakteristik der Faser verändern kann. In vielen Fällen werden daher die Endflächen nach dem Brechen ebenfalls poliert.

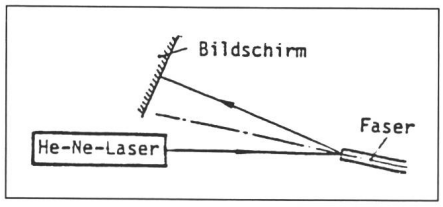


Fig. 7 Messapparatur zur Bestimmung des Endflächenwinkels
Die Faser bzw. das Faserendstücklein ist drehbar gelagert.

Über die Bearbeitung der *Hard-Clad-Silica*-Fasern liegen noch keine Erfahrungen vor.

4. Kontrolle des rechten Winkels der Faserendflächen

Die Parallelität der Faserendflächen kann unter dem Spleissgerät bzw. Mikroskop überprüft werden, indem man die beiden Faserenden so nahe aneinanderfügt, dass sie sich gerade noch nicht berühren. Wenn nun die Verschiebung des einen Endes in zwei zueinander und zur Faserachse senkrechte Richtungen keine Änderung des Abstandes bzw. eine Berührung der Endflächen ergibt, so ist die Abweichung vom 90°-Winkel kleiner als ein bestimmter Grenzwinkel. Dieser Winkel wird durch den Faserdurchmesser $2a$ und den Abstand d der beiden Faserenden bestimmt (Fig. 6).

5. Messung des Winkels der Faserendflächen

Das beim Brechen der Faser übrig gebliebene Faserabfallstück weist denselben Winkel zur Faserachse auf wie die Endfläche der präparierten Faser. Die Endfläche dieses Abfallstückleins wird nun mit dem Helium-Neon-Laser so beleuchtet [8], dass seine Reflexion auf einen Bildschirm bzw. auf ein Blatt Papier mit Millimetereinteilung fällt (Fig. 7).

Wenn man nun das Faserstücklein um dessen eigene Achse dreht, so wandert der Reflexionspunkt bei schief gebrochener Endfläche auf einem Kreis. Der Brechwinkel lässt sich aus der Distanz des Bildschirmes von der Faserendfläche und aus dem Radius dieses Kreises bestimmen, wie dies aus Figur 8 hervorgeht.

$$2\alpha - 2\beta = \operatorname{arctg}(R/D)$$

Mit $\beta = \alpha + \delta$ folgt:

$$\delta = \tfrac{1}{2} \cdot \operatorname{arctg}(R/D)$$

6. Zusammenfassung

Verschiedene Fasertypen und ihre Anwendungsbereiche wurden vorgestellt. Die beschriebenen Verfahren für die Faserpräparierung zeigen, dass die neue Technik durchaus beherrschbar ist. Die grosse Vielfalt der Fasertypen bzw. gewisse Anlaufschwierigkeiten bei der Standardisierung stellen bei vielen industriellen Anwendungen nicht unbedingt ein Hindernis dar, da sich einerseits bereits verschiedene De-facto-Standards herauskristallisiert haben und anderseits beim Einsatz von Fasern in alleinstehenden Systemen ohnehin eine grosse Freiheit in der Wahl der Komponenten besteht.

Literatur

[1] Fibres optiques. Première partie: Spécification générique. Publication de la CEI Nr. 793-1, 1984.

[2] *D.C. Hanson:* Fiber optics in local area network applications. Advances in Electronics and Electron Physics 57(1981), p. 145...229.

[3] Laser Focus Buyers Guide 1983. Littleton/MA, Advances Technology Group Publications Office, 1983.

[4] *M. Aslami* and *C. DeLuca:* Practical considerations in selecting optical fibers. Laser Focus 20(1984)8, p. 110...116.

[5] *W.B. Beck* and *M.H. Hodge:* Hard clad Silica: A new family of optical fibers. Laser Focus 20(1984)12, p. 90...96.

[6] *E.E. Basch, H.A. Carnes* and *R.F. Kearns:* Considerations for single-mode fiber systems. IEEE International Conference on Communications 1983, vol. 2, p. 676...680.

[7] *D.B. Payne* and *D.J. McCartney:* A comparative study of monomode splicing techniques. IEEE International Conference on Communications 1984, p. 1075...1079.

[8] *H. Buser* und *M. Wüthrich:* Gerät zur Qualitätsbeurteilung von Glasfaser-Schnittflächen. GD PTT Bericht Nr. VM 23.530 U. Bern, Generaldirektion der PTT, Abteilung Forschung und Entwicklung, 1981.