

# Optische Stecker = Connecteurs pour fibres optiques

Autor(en): **Novak, Rostislav**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **60 (1982)**

Heft 4

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-876155>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

*Zusammenfassung. Seit einiger Zeit findet die Glasfaser als Übertragungsmedium für die optische Kommunikation steigendes Interesse wegen ihrer grossen Bandbreite, ihres geringen Raumbedarfs, ihrer Flexibilität sowie einiger weiterer Vorteile. Ein optischer Stecker gehört dabei zu den wichtigsten Verbindungselementen. In diesem Aufsatz werden die Forderungen an seine Eigenschaften aufgestellt, Konstruktionsprinzipien erwähnt, Verlustmechanismen mit den nötigen Formeln und Diagrammen angegeben sowie Messmethoden definiert. Zum Schluss wird über die Erfahrungen der Schweizerischen PTT-Betriebe berichtet.*

*Résumé. Depuis un certain temps, les fibres de verre suscitent un intérêt accru en tant que support de transmission pour communications optiques, en raison de leur grande largeur de bande, du peu de place qu'elles exigent, de leur flexibilité d'utilisation ainsi que d'autres avantages. Les connecteurs pour fibres optiques sont des éléments de jonction essentiels. L'auteur définit les exigences auxquelles ils doivent répondre, leurs caractéristiques, les principes de leur construction, les mécanismes des pertes avec les formules et diagrammes y afférents, ainsi que les méthodes de mesure. Il aborde enfin les expériences faites à l'Entreprise des PTT suisses.*

### Spina ottica

*Riassunto. Da qualche tempo la fibra ottica quale mezzo di trasmissione per la comunicazione ottica riscontra un interesse sempre maggiore dovuto alla sua grande larghezza di banda, al poco spazio richiesto, alla sua flessibilità e ad alcuni ulteriori vantaggi. La spina ottica è in ciò uno dei più importanti elementi di collegamento. Nell'articolo vengono enunciate le esigenze poste alle sue caratteristiche, menzionati i principi di costruzione, indicati i meccanismi di perdita con le formule e i diagrammi necessari come anche definiti i metodi di misurazione. Alla fine si parla delle esperienze fatte presso l'Azienda svizzera delle PTT.*

### 1 Einleitung

Die Anwendung der Glasfaser für die optische Nachrichtenübertragung hat in der letzten Zeit grosse Fortschritte gemacht. Es ist bekannt, dass allein in den europäischen Ländern zurzeit mehr als 100 Projekte in Form von Übertragungsstrecken verwirklicht werden und weitere in Vorbereitung sind. Auch in der Schweiz werden solche Projekte in Angriff genommen. Nach den guten Erfahrungen mit der ersten Versuchsübertragungsstrecke Mattenhof—Bollwerk in Bern werden nun 1982 die Glasfaserverbindungen zwischen den Zentralen Basel und Rheinfelden (24,2 km) sowie Lausanne und Morges (12,3 km) realisiert. In Vorbereitung sind weitere Strecken in St. Gallen, Aarau, Neuenburg, Bern, Genf usw. und auch Projekte für den Übergang zu längeren Wellenlängen um 1,3  $\mu\text{m}$ .

Bei solchen Systemen bildet die steckbare Verbindung von Glasfasern — der «optische Stecker» — ein wichtiges Schlüsselement. Seine Eigenschaften können unter Umständen die gesamten Übertragungseigenschaften einer Strecke stark beeinträchtigen. Der folgende Überblick soll die optischen und feinmechanischen Aspekte der Einzelstecker für die Multimode-Glasfaser behandeln und aufzeigen, welche Lösungen heute zur Verfügung stehen.

### 2 Forderungen an einen optischen Stecker

Unter einem optischen Stecker versteht man eine wiederholt lösbare Verbindung zweier oder mehrerer Glasfasern. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei dem *eigentlichen* lichtführenden Übergang von Kern zu Kern gewidmet. Gradientenindexfasern, wie man sie zum Teil für Übertragungssysteme hoher Qualität einsetzt, weisen bei einer Betriebswellenlänge  $\lambda = 850 \text{ nm}$  Dämpfungswerte um 3...3,5 dB/km und bei  $\lambda = 1,2...1,3 \mu\text{m}$  sogar um 0,6 dB/km und weniger auf. Im letzteren Fall bedeutet das, dass die Steckerverluste zweier Anschlussstecker von Endausrüstungen mit je 1 dB Dämpfung ei-

### 1 Introduction

L'utilisation des fibres de verre pour la transmission optique d'informations a fait, ces derniers temps, de grands progrès. On sait qu'actuellement, dans les pays européens, plus de cent projets sous forme de tronçons de transmission sont en cours de réalisation et que d'autres sont en préparation. En Suisse également, on s'attaque à de tels projets. Après les bonnes expériences faites avec le premier tronçon de transmission d'essai Mattenhof — Bollwerk à Berne, des liaisons à fibres optiques seront réalisées en 1982 entre les centraux de Bâle et Rheinfelden (24,2 km), ainsi qu'entre ceux de Lausanne et de Morges (12,3 km). D'autres tronçons sont en préparation à St-Gall, Aarau, Neuchâtel, Berne, Genève, etc. et l'on travaille également à des projets pour le passage à des longueurs d'ondes supérieures, aux alentours de 1,3  $\mu\text{m}$ .

Dans de tels systèmes, la connexion enfichable des fibres optiques — le «connecteur optique» — est un élément clé important. Ses propriétés peuvent, dans certaines conditions, influencer fortement la qualité de transmission d'un tronçon. L'aperçu qui suit a pour objectif de traiter les aspects des différents connecteurs pour les fibres optiques multimodes et de montrer quelles solutions sont actuellement disponibles.

### 2 Exigences posées à un connecteur optique

Par connecteur optique, on entend un dispositif permettant d'établir ou d'interrompre de façon répétée une liaison entre une ou plusieurs fibres optiques. Dans ces systèmes, une attention particulière est vouée au passage d'un cœur de la fibre à l'autre, qui conduisent *réellement* la lumière. Les fibres à gradients d'indice, telles qu'on les utilise en partie pour les systèmes de transmission de haute qualité, ont des valeurs d'affaiblissement de 3...3,5 dB/km pour une longueur d'onde d'exploitation  $\lambda = 850 \text{ nm}$  et de 0,6 dB/km ou moins pour une longueur d'ondes  $\lambda = 1,2...1,3 \mu\text{m}$ . Dans le dernier

ner Streckenreduzierung von mehr als 3 km (!) gleichbedeutend wären. Die Positionierung zweier solcher Multimode-Glasfaserkerne mit einem Durchmesser von nur 50 µm stellt somit bezüglich der verlangten extremen Genauigkeit um 1 µm, wie dies im weiteren gezeigt wird, ein schwieriges feinmechanisches Problem dar. Noch komplizierter ist das bei Ausrichten zweier Monomode-Glasfaserkerne von nur 5...7 µm Kerndurchmesser.

An die optischen Stecker werden im allgemeinen folgende Anforderungen gestellt:

- Möglichst *kleine Dämpfung*. Je nach Konstruktionstyp liegen diese Werte zurzeit bei einigen sehr guten Steckern um 0,5 dB und besser (ohne Immersionsflüssigkeit).
- Gute *Wiederholbarkeit* der gleichen optischen Verbindung. Gemeint sind möglichst kleine Variationen der Steckerverluste bei wiederholter Trennung und Wiederherstellung der gleichen optischen Verbindung. Sehr gute Stecker weisen dabei nur Schwankungen um  $\pm 0,1$  dB auf. Auch die mechanische Abnutzung des Steckers soll minimal sein.
- Gute *Kompatibilität* zwischen den verschiedenen Steckern innerhalb der gleichen Gruppe. Gemeint ist eine möglichst kleine Streuung der Steckerverluste bei Kombination verschiedener Steckerhälften des gleichen Typs. Praktische Werte liegen bei sehr guten Steckern um  $\pm 0,2$  dB.
- Einfache *Handhabung*. Der Stecker soll in der Anwendung möglichst anspruchslos sein. Gute Zugsentlastung der Glasfaser oder des Glasfaserkabels, zuverlässige Reinigung des Steckers usw. sind selbstverständliche Voraussetzungen.
- Einfache *Feldanwendung* des Steckers. Darunter ist eine unkomplizierte direkte Montage des Steckers an die Glasfaser selber oder die Benützung der mit einem Stück Faser (pigtail) versehenen vormontierten Stecker mit anschließender Anspießung an die Glasfaser des Benützers zu verstehen.
- Einfache *Anpassung* des Steckers an verschiedene Multimode-Gradienten- und Stufenindex-Glasfasern sowie Kabel. Monomode-Stecker bilden dabei einen Sonderfall, da die Kernabmessungen noch kleiner sind und die Genauigkeit demzufolge noch höher sein muss.
- Niedriges *Modenrauschen*. Eine nicht ideale Koppelstelle zwischen zwei Glasfasern bildet bei Verwendung eines kohärenten Senders (Laserdiode) eine zusätzliche Rauschquelle. Dieses Modenrauschen beeinflusst vor allem den Signalrauschabstand bei der analogen Demodulation. Es gibt einen direkten Zusammenhang zwischen der Qualität des Steckers und dem sich daraus ergebenden Rauschen [1].
- Minimale *Modenstrukturveränderungen*. Die Energieverteilung zwischen den einzelnen Lichtmoden darf sich beim Übergang durch den Stecker nicht ändern. Dies würde sonst eine Störung des Übertragungsverhaltens in der folgenden Faser verursachen (erhöhte Dämpfung und Dispersion) [2].

Die aufgeführten Beurteilungskriterien beziehen sich auf die sehr anspruchsvolle Anwendung solcher Stecker für die Nachrichtenübertragung über grosse Entfernungen. Selbstverständlich können in anderen Fällen die Anforderungen herabgesetzt oder anders definiert werden.

cas, cela signifie que les pertes dans les deux connecteurs de raccordement des terminaux, de 1 dB chacune, correspondent à une réduction de la portée du système de transmission de plus de 3 km (!). Le positionnement de deux cœurs de fibres optiques multimodes, d'un diamètre de 50 µm seulement, avec une précision exigée d'environ 1 µm, comme cela sera montré plus loin, représente donc un problème de fine mécanique difficile à résoudre. L'alignement de deux fibres optiques monomodes dont le diamètre du cœur n'est que de 5...7 µm est encore plus compliqué.

D'une façon générale, les exigences posées aux connecteurs optiques sont les suivantes:

- *Affaiblissement aussi faible que possible*. Selon le type de construction, les valeurs de ce dernier sont d'environ 0,5 dB ou moins, pour quelques connecteurs de très bonne qualité (sans liquide d'immersion).
- Bonne *reproductibilité* de la même liaison optique. On entend par là que les variations des pertes dans le connecteur doivent être aussi faibles que possible lorsque l'on établit ou que l'on coupe la même liaison optique de façon répétée. Les écarts présentés par les très bons connecteurs sont de  $\pm 0,1$  dB. L'usure mécanique du connecteur doit également être minimale.
- Bonne *compatibilité* entre les différents connecteurs d'un même groupe. On entend par là une dispersion aussi faible que possible des pertes d'un connecteur lors de la combinaison de différentes moitiés de connecteurs du même type. Pour les très bons connecteurs, les valeurs pratiques sont d'environ  $\pm 0,2$  dB.
- *Utilisation simple*. L'utilisation du connecteur ne doit pas poser d'exigences particulières. Un bon dispositif de protection contre les effets des efforts de traction appliqués à la fibre ou au câble à fibres optiques, ainsi qu'un système d'auto-nettoyage satisfaisant du connecteur sont des conditions qui doivent être remplies sans qu'il soit nécessaire de les mentionner spécialement.
- *Utilisation simple du connecteur dans le terrain*. On entend par là un montage simple du connecteur sur la fibre ou l'utilisation d'un connecteur avec une amorce prémontée (en anglais pigtail) qui peut être épissée à la fibre de l'utilisateur.
- *Adaptation simple du connecteur aux différentes fibres multimodes à gradients d'indice et à sauts d'indice*, ainsi qu'aux câbles. Les connecteurs monomodes représentent un cas particulier, vu que les dimensions du cœur sont encore plus petites et que la précision exigée est donc plus élevée.
- *Bruit modal faible*. Un point de couplage non idéal entre deux fibres optiques constitue, lors de l'utilisation d'un émetteur cohérent (diode laser), une source de bruit supplémentaire qui influence en premier lieu le rapport signal sur bruit au moment de la démodulation analogique. Il existe un rapport direct entre la qualité du connecteur et le bruit qui en découle [1].
- *Modifications des structures de mode minimales*. La répartition de l'énergie entre les différents modes lumineux ne doit pas être modifiée au passage à travers le connecteur. Si tel était le cas, cela entraînerait une modification des conditions de propagation dans la fibre suivante (affaiblissement et dispersions accrues) [2].

### 3 Dämpfungsursachen in optischen Steckern

Die Dämpfung eines optischen Steckers stellt die Verluste des durchgehenden Lichtes dar. Sie wird als zehnfacher Logarithmus des Verhältnisses der optischen Leistungen  $P_1$  (W) und  $P_0$  (W) nach und vor dem Stecker in Dezibel ausgedrückt

$$\alpha_{dB} = 10 \log \frac{P_1 (W)}{P_0 (W)} \quad (1)$$

Jede Koppelstelle kann Lichtverluste aufweisen. Die Ursachen der Dämpfung an einer stumpfen Faser-Faser-Koppelstelle lassen sich in folgende Kategorien einordnen:

- 31 Lichtverluste aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften der zu verkoppelnden Fasern (intrinsic factors) zufolge
  - unterschiedlicher Kerndurchmesser
  - unterschiedlicher numerischer Aperturen
  - unterschiedlicher Brechungsindexprofile
- 32 Lichtverluste aufgrund mechanischer Fehler des Steckers (extrinsic factors), wie
  - radialer Versatz der optischen Achsen
  - axialer Versatz der Faserendflächen (Faserabstand)
  - Winkel zwischen den optischen Achsen
  - Winkel zwischen den Stirnflächen
- 33 Lichtverluste aufgrund von Medienübergängen
  - Fresnelsche Reflexionsverluste
  - Streuverluste (Verschmutzung, beschädigte Faserstirnflächen usw.)

Die quantitative Abschätzung der einzelnen Dämpfungsbeiträge stützt sich dabei auf die theoretischen Arbeiten über die Modenausbreitung [3, 4]. Unter den Moden werden die diskreten Lösungen der Maxwell'schen Ausbreitungsgleichungen der elektromagnetischen Wellen in einer Glasfaser verstanden, die ihrerseits an bestimmte «Lichtrichtungen» gebunden sind und sich am Ende einer Faser durch entsprechende Raumwinkelaustrahlung darstellen lassen. Die Anzahl der Moden, die eine Koppelstelle ungehindert passieren können, charakterisiert deren Dämpfung. Der Koppelwirkungsgrad ergibt sich aus der Anzahl der nach der Koppelstelle propagationsfähigen Moden und der vor der Koppelstelle angebotenen Moden. Ausserdem hängen alle abgeleiteten Beziehungen auch von der Struktur der angebotenen Moden und den Parametern der Glasfasern ab.

Im Laufe der Zeit entstand deshalb eine ganze Reihe verschiedener universeller und oft wenig übersichtlicher Formeln, in denen die Dämpfung unter verschiedensten Voraussetzungen definiert wird [5, 12].

Im weiteren werden folgende praxisnahe Bedingungen vorausgesetzt:

- alle Formeln sind abgeleitet für die am meisten verwendeten Multimode-Glasfasern mit den Nominalwerten: Kerndurchmesser  $D = 50 \mu$ , numerische Apertur  $NA = 0,2$ , Indexprofil-Parabolparameter  $\alpha = 2$
- sendeseitig werden alle möglichen Moden angeregt
- alle Moden übertragen den gleichen Energieanteil
- die Fehlergrößen einzelner Dämpfungsursachen sind kleiner als 30 % der Nominalwerte

Les critères de qualité ci-dessus se rapportent à l'utilisation des connecteurs dans le domaine exigeant des télécommunications à grande distance. Il est clair que, dans d'autres cas, les exigences peuvent être moins sévères ou définies différemment.

### 3 Causes de l'affaiblissement dans les connecteurs optiques

L'affaiblissement d'un connecteur optique représente les pertes subies par la lumière le traversant. Exprimé en dB, il est égal à 10 fois le logarithme du rapport des puissances optiques  $P_1(W)$  et  $P_0(W)$ , mesurées après et avant le connecteur

$$\alpha_{dB} = 10 \log \frac{P_1 (W)}{P_0 (W)} \quad (1)$$

Chaque point de couplage peut présenter des pertes de lumière. Les causes de l'affaiblissement à un point de jonction entre deux fibres mises directement bout à bout peuvent être classées dans les catégories suivantes:

- 31 Pertes de lumière provenant de propriétés différentes des fibres à joindre (pertes intrinsèques), dues à des
  - diamètres de cœur différents
  - ouvertures numériques différentes
  - profils d'indice de réfraction différents
- 32 Pertes de lumière découlant de défauts mécaniques du connecteur (pertes extrinsèques), tels que
  - décentrement transversal des axes optiques
  - séparation axiale (distance entre les fibres)
  - inclinaison axiale (inclinaison des axes optiques)
  - inclinaison entre les faces terminales des fibres
- 33 Pertes de lumière à la suite du passage d'un milieu à l'autre
  - pertes par réflexion de Fresnel
  - pertes par dispersion (saleté, surfaces frontales des fibres détériorées, etc.)

L'évaluation quantitative des différentes composantes de l'affaiblissement se fonde sur les travaux théoriques concernant la propagation des modes [3,4]. Par modes, on entend les solutions discrètes des équations de Maxwell concernant la propagation des ondes électromagnétiques dans une fibre de verre qui, de leur côté, sont liées à certaines «directions du rayon lumineux» et peuvent être représentées à l'extrémité d'une fibre par l'éclaircissement correspondant d'un cône. Le nombre des modes qui peuvent traverser sans encombre un point de couplage en caractérise l'affaiblissement. Le rendement de couplage est donné par le rapport entre le nombre de modes pouvant se propager après le point de couplage et celui des modes offerts avant ce dernier. De plus, toutes ces relations dépendent également de la structure des modes offerts et des paramètres des fibres de verre.

Avec le temps, il en découla toute une série de formules universelles souvent peu claires dans lesquelles l'affaiblissement était défini sous les conditions les plus diverses [5, 12].

Die unter diesen Bedingungen angegebenen Beziehungen liefern für die Kopplung den ungünstigsten Dämpfungsextremfall, sozusagen den Worst-case-Wert. Ein solcher Zustand herrscht nur «unweit» der verwendeten Lichtquelle. Im wirklichen Betriebszustand, das heisst unter Umständen bereits nach einigen hundert Metern, herrscht das sogenannte Modengleichgewicht [6]. In diesem Fall entspricht die Moden-Energieverteilung an einer Koppelstelle sendeseitig einem kleineren Kerndurchmesser und einer kleineren numerischen Apertur, so dass die einzelnen Dämpfungsanteile etwas geringer sind, und zwar um etwa 3...5 % [4, 5].

311 Dämpfung infolge unterschiedlicher *Kerndurchmesser* (Fig. 1, S. 195):

$$\alpha_D = -10 \log (1 - 0,04 \Delta D) \quad (2)$$

mit  $\alpha_D$  = Dämpfung in (dB)  
 $\Delta D = D_T - D_R$  = Differenz in  $\mu\text{m}$  zwischen den Kerndurchmessern  $D_T$  und  $D_R$  auf der Sende- und der Empfangsseite.

Selbstverständlich gilt diese Beziehung nur, wenn der sendeseitige Kerndurchmesser grösser ist als jener der Empfangsseite, das heisst für  $D_T > D_R$ . Bei  $D_T < D_R$  ist die Dämpfung  $\alpha_D$  gleich Null.

312 Dämpfung infolge unterschiedlicher *numerischer Aperturen* (Fig. 2, S. 195):

$$\alpha_{NA} = -10 \log (1 - 10 \Delta NA) \quad (3)$$

mit  $\alpha_{NA}$  = Dämpfung in (dB)  
 $\Delta NA = NA_T - NA_R$  = Differenz der numerischen Aperturen der sende- und empfangsseitigen Faser. Auch in diesem Falle ist die numerische Apertur auf der Sendeseite grösser.

313 Dämpfung infolge unterschiedlicher *Indexprofile* (Fig. 3, S. 196):

$$\alpha_\alpha = -10 \log (1 - 0,25 \Delta \alpha) \quad (4)$$

mit  $\alpha_\alpha$  = Dämpfung in (dB)  
 $\Delta \alpha = \alpha_T - \alpha_R$  = Differenz der beiden Indexprofil-Parabolparameter.

321 Dämpfung infolge des *radialen Versatzes* der optischen Achsen (Fig. 4, S. 196):

$$\alpha_R = -10 \log \left( 1 - \frac{0,08}{\pi} a \right) \quad (5)$$

mit  $\alpha_R$  = Dämpfung in (dB)  
 $a$  = Radialer Versatz der beiden optischen Achsen in  $\mu\text{m}$ .

322 Dämpfung infolge des *axialen Versatzes* der Faserendflächen (Fig. 5, S. 197):

$$\alpha_A = -10 \log \left( 1 - \frac{0,008}{\pi} s \right) \quad (6)$$

mit  $\alpha_A$  = Dämpfung in (dB)  
 $s$  = Abstand der beiden Faserendflächen in  $\mu\text{m}$ .

En outre, on tient compte d'une façon générale des conditions suivantes découlant de la pratique:

- toutes les formules ont été adaptées aux fibres optiques multimodes les plus utilisées avec les valeurs nominales suivantes: diamètre du cœur  $D = 50 \mu\text{m}$ , ouverture numérique  $NA = 0,2$ , paramètre de la parabole du profil d'indice  $\alpha = 2$
- côté émission, on excite tous les modes possibles
- tous les modes transmettent la même part d'énergie
- la quote-part d'affaiblissement due aux différentes causes est inférieure à 30 % des valeurs nominales

Les relations données dans ces conditions correspondent au cas d'affaiblissement extrême le plus défavorable (worst-case). Un tel état ne règne que «dans le voisinage» de la source de lumière utilisée. En état d'exploitation réel, l'état d'équilibre des modes règne, dans certaines conditions, déjà après quelques centaines de mètres [6]. Dans ce cas, la répartition d'énergie dans les modes à un point de couplage côté émetteur correspond à un diamètre plus petit du cœur et à une ouverture numérique inférieure, si bien que chacune des composantes d'affaiblissement est quelque peu réduite, d'environ 3...5 % [4, 5].

311 Affaiblissement par suite de *diamètres de cœur* différents (fig. 1, p. 195):

$$\alpha_D = -10 \log (1 - 0,04 \Delta D) \quad (2)$$

avec  $\alpha_D$  = Affaiblissement en (dB)  
 $\Delta D = D_T - D_R$  = Différence en  $\mu\text{m}$  entre les diamètres du cœur  $D_T$  et  $D_R$  du côté émission et réception. Il va sans dire que cette relation n'est valable que si le diamètre de cœur côté émission est plus grand que celui côté réception, c'est-à-dire  $D_T > D_R$ . Pour  $D_T < D_R$  l'affaiblissement  $\alpha_D$  est nul.

312 Affaiblissement par suite de *d'ouvertures numériques* différentes (fig. 2, p. 195):

$$\alpha_{NA} = -10 \log (1 - 10 \Delta NA) \quad (3)$$

avec  $\alpha_{NA}$  = Affaiblissement en (dB)  
 $\Delta NA = NA_T - NA_R$  = Différence entre les ouvertures numériques des fibres côté émission et côté réception. Dans ce cas également, l'ouverture numérique côté émission est plus grande.

313 Affaiblissement par suite de *profils d'indice* différents (fig. 3, p. 196):

$$\alpha_\alpha = -10 \log (1 - 0,25 \Delta \alpha) \quad (4)$$

avec  $\alpha_\alpha$  = Affaiblissement en (dB)  
 $\Delta \alpha = \alpha_T - \alpha_R$  = Différence des deux paramètres paraboliques du profil d'indice.

321 Affaiblissement par suite de *décentrement transversal* des axes optiques (fig. 4, p. 196):

$$\alpha_R = -10 \log \left( 1 - \frac{0,08}{\pi} a \right) \quad (5)$$

avec  $\alpha_R$  = Affaiblissement en (dB)  
 $a$  = Décentrement transversal des deux axes optiques en  $\mu\text{m}$ .

- 323 Dämpfung infolge des *Winkels* zwischen den *optischen Achsen* (Fig. 6, S. 198):

$$\alpha_{WA} = -10 \log (1 - 0,0554 \varphi) \quad (7)$$

mit  $\alpha_{WA}$  = Dämpfung in (dB)  
 $\varphi$  = Winkel in Graden zwischen den optischen Achsen.

- 324 Dämpfung infolge des *Winkels* zwischen den *Stirnflächen*:

$$\alpha_{WS} = -10 \log \left[ 1 - \frac{2}{\pi \cdot 11,5} \gamma \left( \frac{n}{n_0} - 1 \right) \right] \quad (8)$$

mit  $\alpha_{WS}$  = Dämpfung in (dB)  
 $\gamma$  = Winkel zwischen den Glasfaserstirnflächen in Graden.

$n$  und  $n_0$  = Brechungszahlen des Kerns und des Mediums zwischen den beiden Stirnflächen.

Wie aus der Beziehung (8) ersichtlich ist, hängt die Dämpfung auch von den Eigenschaften des Mediums zwischen beiden Kernen ab. Wenn Immersionsöl benutzt wird ( $n_0 = n = 1,5$ ), verschwindet dieser Dämpfungsbeitrag vollständig. Im Falle eines Glas-Luft-Glas-Überganges ( $n_0 = 1$ ,  $n = 1,5$ ) nimmt die Formel (8) folgende Gestalt an (Fig. 7, S. 198):

$$\alpha_{WS} = -10 \log (1 - 0,0277 \gamma) \quad (9)$$

- 331 Dämpfung infolge der *Fresnelschen Reflexionen*:

An jedem optischen Übergang zwischen zwei Medien wird ein Teil des Lichtes reflektiert. Die entsprechende Leistung kann gemäss der Fresnel-Formel berechnet werden:

$$\frac{P_r}{P} = \left( \frac{n - n_0}{n + n_0} \right)^2 \quad (10)$$

mit  $P_r(W)$  = reflektierter Anteil der Gesamtleistung  $P(W)$ .

$n$  und  $n_0$  = Brechungszahlen beider Medien.  
 Zu verzeichnen wäre dabei, dass die reflektierte Lichtmenge von der Lichtausbreitungsrichtung unabhängig ist. Für den praktischen Fall eines Glas-Luft-Überganges ( $n = 1,5$ ,  $n_0 = 1$ ) beträgt die Reflexion 4 %. In einem Stecker bestehen zwei solche Übergänge. Die entsprechende Übertragungsdämpfung  $\alpha_{FR}$  ergibt sich dann aus

$$\alpha_{FR} = -10 \log \left[ 1 - 2 \left( \frac{n - n_0}{n + n_0} \right)^2 \right] = 0,36 \text{ dB} \quad (11)$$

Diese Dämpfung ist also in einem «trockenen» Stecker immer vorhanden und kann nur durch Anwendung einer Immersionsflüssigkeit ( $n = n_0 = 1,5$ ) oder einer Antireflexionsbeschichtung vollständig vermieden werden.

- 332 Dämpfung infolge der *Streuverluste*:

Falls die Glasfaser-Stirnflächen uneben, beschädigt oder verschmutzt sind, treten zusätzliche Lichtver-

- 322 Affaiblissement par suite de *séparation terminale* des surfaces d'extrémité des fibres (fig. 5, p. 197):

$$\alpha_A = -10 \log \left( 1 - \frac{0,008}{\pi} s \right) \quad (6)$$

avec  $\alpha_A$  = Affaiblissement en (dB)  
 $s$  = Distance séparant les deux faces d'extrémité des fibres en  $\mu\text{m}$ .

- 323 Affaiblissement par suite d'*inclinaison axiale* entre les axes optiques (fig. 6, p. 198):

$$\alpha_{WA} = -10 \log (1 - 0,0554 \varphi) \quad (7)$$

avec  $\alpha_{WA}$  = Affaiblissement en (dB)  
 $\varphi$  = Angle en degrés entre les axes optiques.

- 324 Affaiblissement dû à un *angle* entre les *faces d'extrémité*:

$$\alpha_{WS} = -10 \log \left[ 1 - \frac{2}{\pi \cdot 11,5} \gamma \left( \frac{n}{n_0} - 1 \right) \right] \quad (8)$$

avec  $\alpha_{WS}$  = Affaiblissement en (dB)  
 $\gamma$  = Angle en degrés entre les faces d'extrémité des fibres

$n$  et  $n_0$  = Coefficients de réfraction du cœur et du milieu entre les deux surfaces d'extrémité des fibres.

Comme l'indique la formule (8), l'affaiblissement dépend également des propriétés du milieu entre les deux cœurs. Si l'on utilise un liquide adaptateur d'indice ( $n_0 = n = 1,5$ ), cette composante de l'affaiblissement disparaît totalement. Dans le cas d'un passage verre-air-verre ( $n_0 = 1$ ,  $n = 1,5$ ), la formule (8) prend la forme suivante (fig. 7, p. 198):

$$\alpha_{WS} = -10 \log (1 - 0,0277 \gamma) \quad (9)$$

- 331 Affaiblissement par suite de *réflexions de Fresnel*  
 Une partie de la lumière est réfléchiée par chaque point de transition entre deux milieux. La puissance correspondante peut être calculée à l'aide de la formule de Fresnel:

$$\frac{P_r}{P} = \left( \frac{n - n_0}{n + n_0} \right)^2 \quad (10)$$

avec  $P_r(W)$  = Portion réfléchiée de la puissance totale  $P(W)$   
 $n$  et  $n_0$  = Facteurs de réfraction des deux milieux.

Il y a lieu encore de mentionner que la quantité de lumière réfléchiée est indépendante du sens de propagation. Pour le cas pratique d'un passage verre-air ( $n = 1,5$ ,  $n_0 = 1$ ), la réflexion se monte à 4 %. Dans un connecteur, on a affaire à deux passages de ce genre.

L'affaiblissement de transmission correspondant  $\alpha_{FR}$  se calcule d'après la formule suivante:

$$\alpha_{FR} = -10 \log \left[ 1 - 2 \left( \frac{n - n_0}{n + n_0} \right)^2 \right] = 0,36 \text{ dB} \quad (11)$$

Cet affaiblissement se produit donc toujours dans un connecteur «sec» et ne peut être complètement évité que par l'utilisation d'un liquide adaptateur

luste auf, die unter Umständen ganz erhebliche Werte erreichen können. Übliche Staubpartikeln in der Grösse zwischen 2 und 10 µm können eine Dämpfung  $\alpha_s$  von 0,1...0,5 dB und mehr verursachen. Das bedeutet, dass die Steckerkonstruktion Staubzutritt zu den aktiven Glasfaserstirnflächen verhindern soll. Unebenheiten dieser Stirnflächen sollten durch geeignete Vorbereitungen (Brechen, Polieren usw.) vermieden werden. Geeignete Reinigungsmethoden sind sehr wichtig, da man im allgemeinen eine Verschmutzung bei Verwendung der Stecker nicht vollständig vermeiden kann. Auch auf diesem Gebiet wird einiges sowohl auf der Seite der Hersteller als auch auf jener der Anwender gemacht.

Meistens treten die erwähnten Dämpfungsursachen nicht allein auf, sondern die gesamte Dämpfung eines Steckers A besteht aus mehreren Teildämpfungen. In diesem Falle gilt

$$A = \alpha_D + \alpha_{NA} + \alpha_\alpha + \alpha_R + \alpha_A + \alpha_{WA} + \alpha_{WS} + \alpha_{FR} + \alpha_S \quad (12)$$

Die aufgeführten Formeln und Diagramme sollen dem Anwender der Glasfaserübertragungstechnik ein «Fingerspitzengefühl» für die Ursache und Gröszenordnung der Dämpfung an jeder Koppelstelle vermitteln. Dabei soll er sich bewusst sein, mit welcher kleinen Dimensionen gearbeitet wird und auf was alles aufzupassen ist. Die Diagramme sollen dem Benutzer zudem als praktisches Hilfsmittel dienen, um Fehleranteile bei einer Koppelstelle schnell zu analysieren.

#### 4 Klassifizierung der optischen Stecker

Im Laufe der letzten Jahre wurden von verschiedenen Konstrukteuren und Herstellern ganz unterschiedliche, sowohl einfache als auch sehr komplizierte Steckerkonzepte entwickelt. Die wichtigste Frage bezüglich der verschiedenen Steckerbauarten ist jedoch: Wie gut kann man Licht von einem Kern zum anderen führen? Entsprechende Überlegungen haben zu Prinzipien geführt, die in folgende Kategorien unterteilt werden können [5, 7, 8, 9 und 10].

##### 41 Mantel-Mantel-Positionierung

Diese Art der gegenseitigen Positionierung zweier Glasfasern fand bis jetzt die grösste Verbreitung. Es wird dabei nicht Kern gegen Kern ausgerichtet, sondern man benützt dazu die Aussenseite jeder Glasfaser als Referenzfläche. Dieses einfache Prinzip hat den Nachteil, dass die Positioniergenauigkeit des Kern-Kern-Überganges von Eigenschaften der Faser abhängt. Dabei spielen vor allem die Exzentrizität des Kerns gegenüber dem Aussenmantel und deren Unrundheit eine entscheidende Rolle. Man kann dabei zwischen zwei grundsätzlich unterschiedlichen Plazierungsmöglichkeiten einer Faser im Stecker unterscheiden (Fig. 8). In einem «primären Justierungssystem» dient die Oberfläche der Faser F als Referenz. In einem «sekundären Justierungssystem» wird die Faser F zunächst in einer Faserendhülse 2 präzise eingeklebt, die dann als Referenz dient.

d'indice ( $n = n_0 = 1,5$ ) ou un traitement de surface antiréfléchissant.

##### 332 Affaiblissement dû aux pertes par dispersion:

Lorsque les faces d'extrémité des fibres ne sont pas planes, qu'elles sont abîmées ou sales, il apparaît des pertes de lumière supplémentaires qui, dans certaines conditions, peuvent atteindre des valeurs importantes. Des particules de poussière courantes d'une grandeur entre 2...10 µm peuvent entraîner un affaiblissement  $\alpha_s$  de 0,1...0,5 dB ou plus. Cela signifie que la construction du connecteur doit empêcher l'accès de la poussière jusqu'aux surfaces d'extrémité actives des fibres. La non-planéité des surfaces d'extrémité devrait être évitée par des mesures de préparation convenables (couper, polir, etc). Des méthodes de nettoyage appropriées sont très importantes, vu que l'encrassement des connecteurs à l'usage ne peut être complètement évité. Dans ce domaine, tant les fabricants que les utilisateurs sont conscients de la situation et se comportent en conséquence.

Dans la plupart des cas, les différentes causes d'affaiblissement mentionnées n'apparaissent pas seules, mais l'affaiblissement total d'un connecteur A se compose de plusieurs affaiblissements partiels. Dans ce cas, la relation suivante est valable

$$A = \alpha_D + \alpha_{NA} + \alpha_\alpha + \alpha_R + \alpha_A + \alpha_{WA} + \alpha_{WS} + \alpha_{FR} + \alpha_S \quad (12)$$

Les formules et diagrammes indiqués doivent donner à l'utilisateur de la technique de transmission par fibres optiques un certain «doigté» en ce qui concerne les causes et l'ordre de grandeur de l'affaiblissement à chaque point de couplage. Mais cet utilisateur doit être aussi conscient des faibles dimensions avec lesquelles on travaille et de tout ce à quoi il y a lieu de prêter attention. Les diagrammes doivent servir d'auxiliaires pratiques pour permettre d'analyser rapidement les quotes-parts d'affaiblissement dans un point de couplage.

#### 4 Classification des connecteurs optiques

Au cours de ces dernières années, divers constructeurs et fabricants ont développé des concepts de

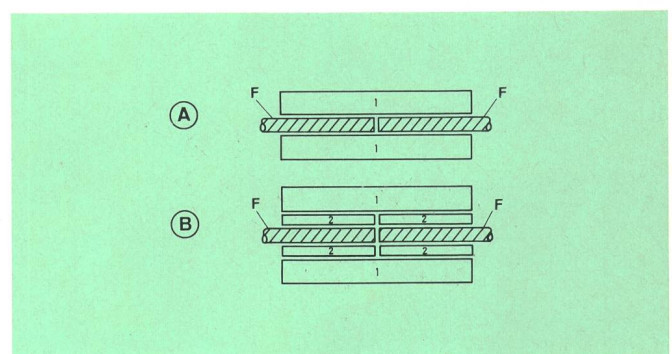
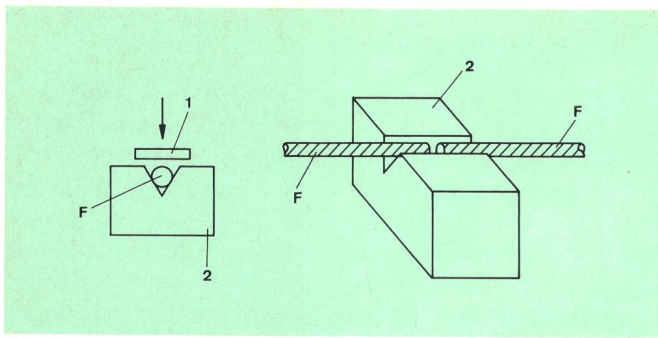


Fig. 8  
Positionierung zweier Glasfasern im Stecker — Positionnement de deux fibres de verre dans un connecteur

- A Primäres Justierungssystem — Système d'ajustage primaire
- B Sekundäres Justierungssystem — Système d'ajustage secondaire
- F Glasfaser — Fibre de verre
- 1 Stecker — Connecteur
- 2 Faserendhülse — Manchon terminal de la fibre



**Fig. 9**  
**V-Rille-Positionierungsprinzip — Principe de positionnement par rainure en V**  
 F Glasfaser — Fibre de verre  
 1 Druckplättchen — Plaquette de pression  
 2 Steckerkörper mit V-Rille — Corps de connecteur avec rainure en V

Folgende Ausführungsbeispiele zeigen eine Auswahl typischer Lösungen für diese Positionierungsart:

– *V-Rille-Prinzip*

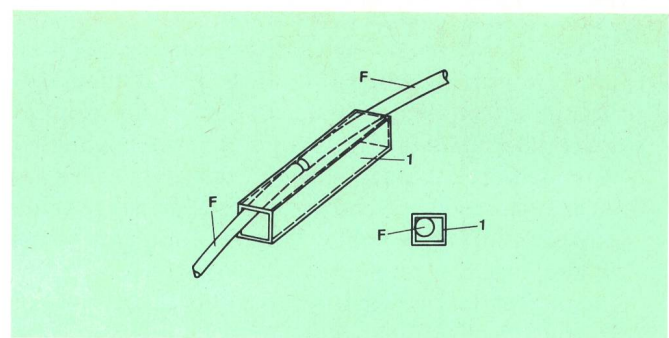
Dieses Konzept, auch als Führungsnutenprinzip bekannt, setzt die Herstellung von sehr präzisen Führungsnuten und -stiften voraus (Fig. 9 und 10). Die beiden präparierten Faserenden F liegen in einem geschliffenen V-förmigen Körper 2 des Steckers. Sie werden von oben mit einem Federplättchen 1 oder Stift 1 festgehalten. Der Körper kann aus Metall, Keramik usw. sein. Bekannt ist auch die Herstellung solcher Führungsnuten über einen fotolithografischen Prozess, der aus der Halbleitertechnologie gut bekannt und beherrschbar ist.

– *Vierkantröhrchenprinzip*

Figur 11 zeigt im Prinzip die gleiche Lösung; die V-Rille wird jedoch aus einem Stück eines Vierkantröhrchens 1 gebildet. Die beiden Faserenden F sind in einer Ecke des Röhrchens durch Vorspannen gegenseitig positioniert. Die Verbiegung der Glasfasern darf aber nicht allzu gross sein, sonst tritt eine erhöhte Dämpfung auf.

– *Doppelbogen-Vierstift Röhrchenprinzip*

Eine Änderung des letztgenannten Prinzips zeigt Figur 12. Die beiden Faserenden F werden zwangsmässig vorgespannt und in einem Röhrchen 1, bestehend aus vier Glasstiften 2, gegenseitig positioniert. Die Fa-

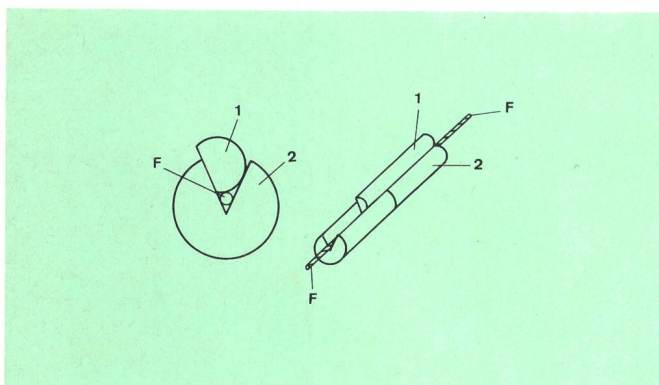


**Fig. 11**  
**Vierkant-Röhrchenprinzip — Principe du manchon de section carrée**  
 F Glasfaser — Fibre de verre  
 1 Vierkant-Röhrchen — Manchon de section carrée

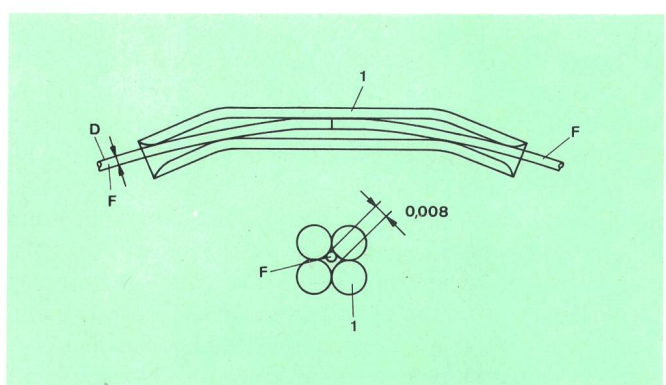
connecteurs très différents, du plus simple au plus compliqué. Et cependant, la question la plus importante à laquelle il faut répondre en ce qui concerne le genre de construction des divers connecteurs est: comment peut-on guider la lumière d'un cœur à un autre aussi bien que possible? Les réflexions essentielles à ce sujet ont conduit à des principes fondamentaux qui peuvent être répartis dans les catégories suivantes [5, 7, 8, 9, 10].

## 41 Positionnement gaine-gaine

Ce genre de positionnement de deux fibres de verre l'une par rapport à l'autre est celui qui a été le plus utilisé jusqu'ici. Dans cette façon de faire, on n'aligne pas un cœur de fibre avec l'autre, mais on utilise à cet effet la gaine des fibres en tant que surface de référence. Ce principe simple a l'inconvénient que la précision de positionnement des deux cœurs dépend des propriétés de la fibre. L'excentricité du cœur par rapport à la gaine extérieure et son ellipticité jouent un rôle primordial. On peut faire la différence entre deux possibilités de mise en place d'une fibre dans le connecteur (fig. 8). Dans un «système d'ajustage primaire», c'est la surface de la fibre F qui sert de référence. Dans un «système d'ajustage secondaire», la fibre F est tout d'abord collée avec précision dans une douille 2, qui sert ensuite de référence.

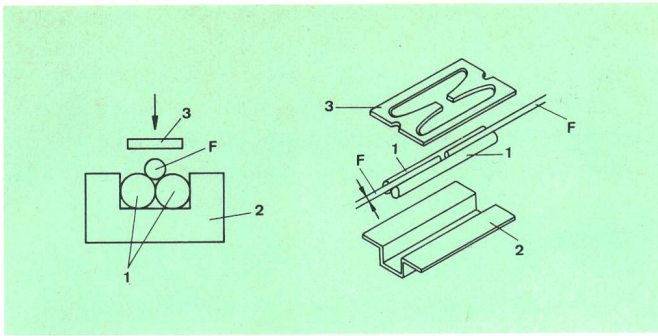


**Fig. 10**  
**Führungsnuten-Positionierungsprinzip — Principe de positionnement par rainure de guidage**  
 F Glasfaser — Fibre de verre  
 1 Stahlstift — Tige d'acier  
 2 Keramikzylinder — Cylindre de céramique



**Fig. 12**  
**Doppelbogen-Vierstift-Röhrchen-Prinzip — Principe du manchon à quatre tiges et deux coudes**  
 D Faserdurchmesser — Diamètre de la fibre  
 F Glasfaser — Fibre de verre  
 1 Vierstift-Röhrchen — Manchon à quatre tiges





**Fig. 13**  
Zwei-Nadel-Positionierungsprinzip — Principe de positionnement par deux aiguilles

- F Glasfaser — Fibre de verre
- 1 Stahlstifte — Tiges d'acier
- 2 Stiftgehäuse — Logement des tiges
- 3 Federsystem — Système de pression à ressort

serenden werden geradlinig ausgerichtet, so dass an der Koppelstelle keine Winkelfehler entstehen.

– *Zweinadelprinzip*

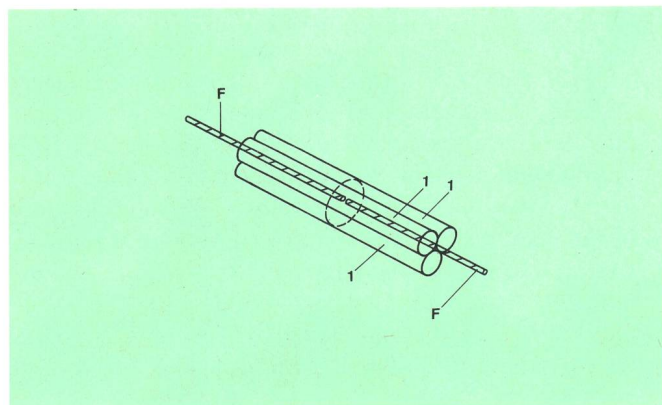
Die V-Rille kann durch zwei präzise Stahlstifte ersetzt werden. Man erreicht dadurch eine grössere Genauigkeit, da die Präzision beim Herstellen der Stifte höher und zudem leichter erreichbar ist. Eine mögliche Variante zeigt *Figur 13*. Beide Glasfasern F liegen zwischen zwei Stiften 1, die sich ihrerseits in einem passenden Gehäuse 2 befinden. Die Glasfasern werden von oben mit einem Federsystem 3 nach unten gedrückt.

– *Dreinadelprinzip*

Eine weitere Entwicklung des Zweinadelprinzips bildet die Anwendung von drei Stahlstiften (*Fig. 14*). Hier werden die Glasfasern F inmitten der drei gleichen Stifte 1 aufeinander ausgerichtet und festgehalten. Die Grösse der Stifte hängt von den benützten Fasern ab. Es ist sehr schwierig, die Stifte den Fasertoleranzen anzupassen.

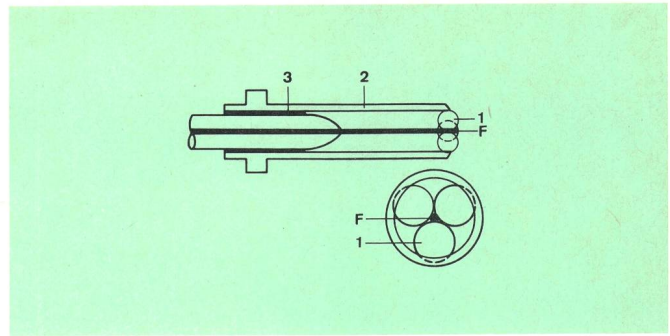
– *Dreikugelprinzip*

Der Grundgedanke dieses Prinzips ist in *Figur 15* dargestellt. Das Faserende F einer Steckerhälfte ist in der Mitte von drei Kugeln 1 zentriert. Die drei sich berührenden Kugeln sind am Ende einer Steckerhülse 2 fest eingepresst. Die Faser selber wird in der Steckerhülse und zwischen den drei Kugeln mit Kleber 3 befestigt.



**Fig. 14**  
Drei-Nadel-Positionierungsprinzip — Principe de positionnement à trois aiguilles

- F Glasfaser — Fibre de verre
- 1 Stahlstifte — Tiges d'acier



**Fig. 15**  
Drei-Kugel-Prinzip — Principe à trois billes

- F Glasfaser — Fibre de verre
- 1 Kugeln — Billes
- 2 Steckerhülse — Douille du connecteur
- 3 Kleber — Colle

Les exemples d'exécution décrits ci-après constituent un choix de solutions types pour ce genre de positionnement:

– *Principe de la rainure en V*

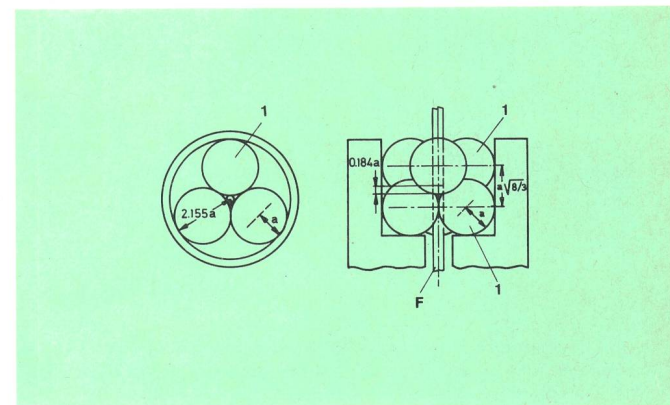
Cette conception, connue aussi sous le nom de principe de la rainure d'alignement, nécessite la fabrication très précise de rainures et de tiges de guidage (*fig. 9 et 10*). Les deux extrémités des fibres F préparées sont placées dans un corps du connecteur taillé en V. Elles sont maintenues par le haut à l'aide d'une plaquette à ressort ou d'une tige 1. Le corps du connecteur peut être en métal ou en céramique, etc. La rainure peut être également obtenue par un procédé photolithographique tel qu'il est bien connu et maîtrisé dans la technologie des semi-conducteurs.

– *Principe des manchons de section carrée*

La *figure 11* montre en principe la même solution; la rainure en V est toutefois formée par un des angles d'un manchon de section carrée 1. Les deux extrémités des fibres F sont positionnées l'une par rapport à l'autre dans un coin du manchon, sous l'effet d'une précontrainte. La courbure des fibres de verre ne doit cependant pas être trop importante, faute de quoi il faudrait s'attendre à un affaiblissement accru.

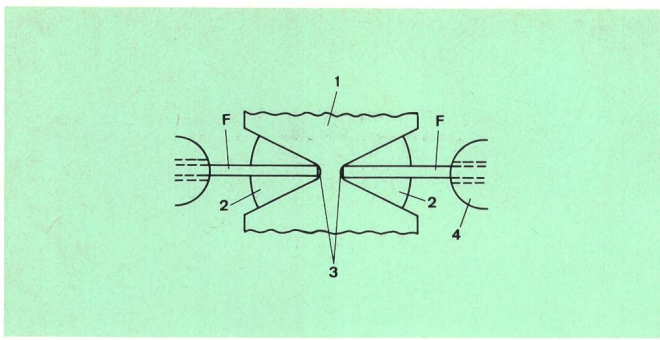
– *Principe du manchon à deux coudes et quatre tiges*

La *figure 12* montre une modification du dispositif décrit ci-dessus. Les deux extrémités des fibres F sont



**Fig. 16**  
Sechs-Kugel-Prinzip — Principe à six billes

- F Glasfaser — Fibre de verre
- 1 Kugeln — Billes
- a Kugelradius — Rayon de la bille



**Fig. 17**  
**Parallel-Strahldurchgangsprinzip mit Gusslinsen — Principe de passage parallèle du rayon lumineux avec lentilles coulées**  
 F Glasfaser — Fibre de verre  
 1 Zentrierstück — Pièce de centrage  
 2 Immersionsflüssigkeit — Liquide adaptateur d'indice  
 3 Linse — Lentille  
 4 Steckerteil — Partie du connecteur

Anschliessend wird das Ende der Glasfaser zusammen mit den Kugeln geschliffen und poliert.

– **Sechskugelprinzip**

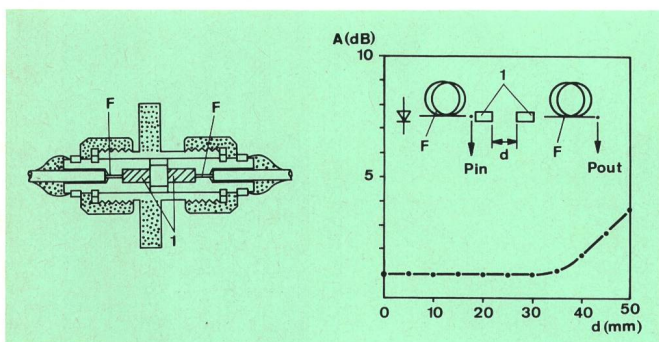
Eine etwas verbesserte Version des letzterwähnten Prinzips wird mit sechs Kugeln verwirklicht. Näheres zeigt *Figur 16*. Zwei Kugeltripel 1 sind am Steckerende so angeordnet, dass sie imstande sind, das Faserende F über eine gewisse Länge der Faser geradlinig zu halten. Dies hat zur Folge, dass auch hier keine Winkelfehler zwischen zwei Faserenden auftreten.

– **Parallelstrahl-Durchgangsprinzip mit Gusslinsen**

Bei diesem Prinzip werden zwei Faserenden in einem präzisen, optisch durchsichtigen doppelkegelförmigen Zentriergussstück 1 positioniert (*Fig. 17*). Der Raum zwischen jeder Faser F und dem Zentrierstück 1 ist mit einer optischen Immersionsflüssigkeit 2 ausgefüllt und bildet somit je eine Linse 3. Die optischen Eigenschaften dieser Linse haben einen parallelen Lichtdurchgang zwischen den beiden Fasern zur Folge. Die Fasern sind zwar voneinander etwas entfernt, besitzen jedoch einen minimalen radialen Versatz und infolgedessen kleine Dämpfung. Ausserdem eliminiert die verwendete Immersionsflüssigkeit teilweise die Fresnelschen Verluste, wie in 331 gezeigt wurde.

– **Parallelstrahl-Durchgangsprinzip mit Selfoc-Linsen**

Eine ähnliche Anordnung wird mit zwei Selfoc-Lin-



**Fig. 18**  
**Parallel-Strahldurchgangsprinzip mit Selfoc-Linsen — Principe de passage parallèle du rayon lumineux avec lentilles Selfoc**  
 A (dB) Dämpfung — Affaiblissement  
 Pin Eingangsleistung — Puissance d'entrée  
 Pout Ausgangsleistung — Puissance de sortie  
 F Glasfaser — Fibre de verre  
 d Abstand zwischen den beiden Selfoc-Linsen — Distance entre les deux lentilles Selfoc  
 1 Selfoc-Linsen — Lentilles Selfoc

introduites, précontraintes et alignées l'une par rapport à l'autre dans un manchon 1 constitué de quatre tiges de verre 2. Les deux extrémités des fibres se trouvent alignées sur une portion rectiligne du système, si bien que le point de couplage n'offre pas d'affaiblissement dû à une inclinaison des axes optiques.

– **Principe des deux aiguilles**

La rainure V peut être remplacée par deux tiges d'acier. On obtient ainsi une plus grande précision, vu que la précision d'usinage des tiges est supérieure et plus facile à atteindre. Une variante possible de ce système est illustrée par la *figure 13*. Les deux fibres de verre F sont placées entre deux tiges 1, elles-mêmes logées dans un boîtier 2 approprié. Les fibres de verre sont pressées vers le bas par un système à ressort 3.

– **Principe des trois aiguilles**

Un autre développement du principe à deux aiguilles est constitué par l'utilisation de trois tiges d'acier (*fig. 14*). Les fibres de verre sont alignées et maintenues au centre de l'espace créé par trois tiges identiques 1. La grandeur des tiges dépend des fibres utilisées. Il est très difficile d'adapter les tiges aux tolérances des fibres.

– **Principe des trois billes**

L'idée de base de ce principe est illustrée à la *figure 15*. L'extrémité de la fibre F d'une moitié de connecteur est centrée dans l'espace formé par trois billes 1. Les trois billes qui sont en contact les unes avec les autres sont pressées à l'extrémité d'une douille de connecteur 2. Les fibres sont fixées dans la douille de connecteur et entre les trois billes à l'aide de colle 3. Pour terminer, l'extrémité des fibres de verre et les billes sont meulées et polies.

– **Principe des six billes**

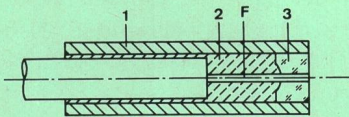
Une version quelque peu améliorée du principe décrit ci-dessus est réalisé à l'aide de six billes (*fig. 16*). Deux jeux de trois billes 1 sont disposés à l'extrémité du connecteur de telle façon qu'elles sont en mesure de maintenir l'extrémité de la fibre F dans une position rectiligne sur une certaine longueur. Ce système permet également d'éviter toute inclinaison axiale entre les deux extrémités des fibres.

– **Principe de l'alignement du rayon lumineux à l'aide de lentilles coulées**

Dans ce principe, les deux extrémités des fibres sont positionnées dans une pièce de centrage conique 1, optiquement transparente, coulée avec précision (*fig. 17*). L'espace entre chaque fibre F et la pièce de centrage 1 est rempli d'un liquide d'immersion optique 2 et constitue ainsi deux lentilles 3. Les propriétés optiques de ces lentilles permettent le passage parallèle du rayon lumineux d'une fibre à l'autre. Les deux fibres sont, il est vrai, légèrement éloignées l'une de l'autre, mais leur décentrement transversal est minime et l'affaiblissement qui en découle faible. De plus, le liquide d'immersion utilisé élimine en partie les réflexions de Fresnel, comme cela a été montré sous 331.

– **Principe d'alignement du rayon lumineux à l'aide de lentilles Selfoc**

Un dispositif semblable est construit à l'aide de deux lentilles Selfoc 1 (*fig. 18*). On désigne par ces lentilles



**Fig. 19**  
**Ferrule-Prinzip — Principe de la ferrule**  
 F Glasfaser — Fibre de verre  
 1 Röhrchen (ferrule) — Manchon (ferrule)  
 2 Leim — Colle  
 3 Zentrierstein — Rubis de centrage

sen 1 gebaut (Fig. 18). Als solche werden die 1...2 mm dicken Glasfaserstücke mit Gradientenindexprofil bezeichnet. Sie werden in der Länge (etwa 10...15 mm) genau zugeschnitten und weisen infolgedessen linsenähnliche Fokussiereigenschaften auf (Selfoc = Self focusing). Auch in diesem Fall gestatten die Selfoc-Linsen den parallelen Lichtdurchgang zwischen den beiden Fasern. Figur 18 vermittelt zudem die entsprechende Dämpfung in Funktion des Abstandes  $d$  zwischen den beiden Linsen.

– **Ferruleprinzip**

Die Glasfaser F wird bei diesem Prinzip in einem Röhrchen 1 (ferrule) mit Leim 2 eingeklebt, wobei das Faserende in einem Zentrierstein 3 positioniert wird (Fig. 19). Dieser Zentrierstein hat ein für die verwendete Faser genau passendes Loch, dessen Mitte mit jenem des Röhrchens möglichst genau übereinstimmt. Das Faserende wird zum Schluss poliert. Die Röhrchen werden normalerweise mit abgestuften Lochdurchmessern, zum Beispiel je  $1 \mu\text{m}$ , angeboten. Auch ihre Aussendurchmesser müssen sehr genau sein, da sie die Referenz beim Ausrichten zweier Steckerhälften zueinander bilden.

Mit dieser Übersicht über die Mantel-Mantel-Positionierungssysteme zweier Glasfaserenden ist das Problem sicher nicht abgeschlossen. Es werden laufend neue Informationen zu diesem Thema publiziert. Freilich kommen auch immer mehr die Kern-Kern-Positionierungsprinzipien zum Vorschein.

**42 Kern-Kern-Positionierung**

Stecker, die auf dieser Philosophie beruhen, weisen die kleinsten Dämpfungen auf. Man unterscheidet dabei zwischen den *justierbaren* und den *vormontierten* Steckern. Letztere sind jeweils mit einem Stück Glasfaser (pigtail) zum Ansplicen oder Anschweissen an die Glasfaser des Benützers versehen. Zurzeit sind folgende Bauarten der Kern-Kern-Positionierung bekannt:

– **Justierbare Stecker mit Kugeln**

Die Montage des Steckers geschieht direkt an die Glasfaser des Benützers. Näheres zeigt Figur 20. Die Faser F wird in eine Faserendhülse 1 eingeklebt. Rund um diese Hülse herum sind an zwei Stellen je drei Kugeln 2 mit verschiedenen Durchmessern in einem Kugelkäfig 3 untergebracht. Das Ganze befindet sich in der eigentlichen Steckerhülse 4 mit exzentrischer Bohrung. Durch Drehen des Kugelkäfigs kann man

les extrémités des fibres de verre de 1...2 mm d'épaisseur avec gradients de profil d'indice. Ces extrémités sont coupées exactement dans leur longueur (environ 10...15 mm) et présentent, de ce fait, des propriétés de focalisation semblables à celles des lentilles (Selfoc = self focusing = autofocalisation). Dans ce cas également, les lentilles Selfoc permettent le passage parallèle de la lumière entre les deux fibres. La figure 18 indique, en outre, l'affaiblissement correspondant en fonction de la distance  $d$  entre les deux lentilles.

– **Principe de la ferrule**

Dans ce principe, la fibre de verre F est collée dans un manchon 1 (ferrule) avec la colle 2, l'extrémité de la fibre étant positionnée dans un rubis de centrage (fig. 19). Ce dernier est percé d'un trou correspondant exactement au diamètre de la fibre utilisée, et son centre doit être placé aussi exactement que possible dans l'axe du manchon. Pour terminer le montage, on polit l'extrémité de la fibre. Les manchons sont livrés normalement avec des trous dont le diamètre s'échelonne, par exemple, par sauts de  $1 \mu\text{m}$ . Le diamètre extérieur des manchons doit également être très précis, étant donné qu'ils sont utilisés comme référence pour l'alignement de deux moitiés de connecteur.

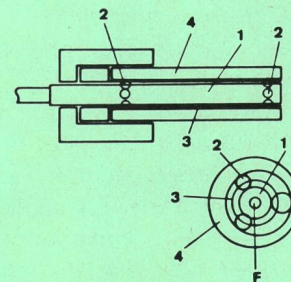
Cet aperçu des différents systèmes de positionnement de l'extrémité de deux fibres de verre reposant sur l'alignement de leur manteau ne signifie pas que le problème est résolu. De nouvelles informations sur ce thème sont continuellement publiées. Il faut cependant remarquer que le principe d'alignement cœur-cœur des fibres prend de plus en plus d'importance.

**42 Positionnement cœur-cœur**

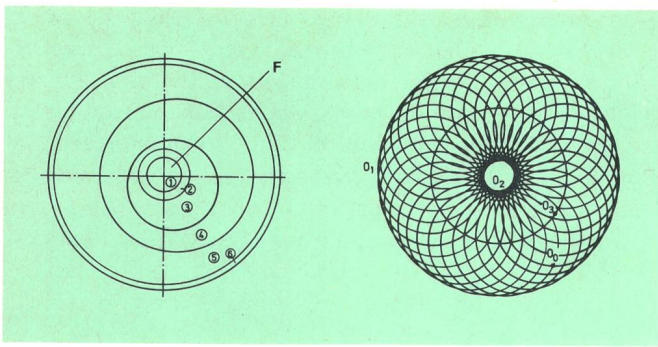
Les connecteurs qui sont fondés sur ce principe offrent les affaiblissements les plus faibles. Dans cette catégorie, il y a lieu de faire la différence entre les connecteurs *ajustables* et ceux qui sont *prémontés*. Ces derniers sont munis d'une fibre amorce (pigtail) destinée à être épissée ou soudée à la fibre de verre de l'utilisateur. Actuellement, les types de construction suivants utilisant le positionnement cœur-cœur des fibres sont connus:

– **Connecteurs ajustables avec billes**

Le montage du connecteur se fait directement sur la fibre de l'utilisateur (fig. 20). La fibre F est collée dans



**Fig. 20**  
**Justierbarer Stecker mit Kugeln — Connecteur ajustable avec billes**  
 F Glasfaser — Fibre de verre  
 1 Faserendhülse — Manchon terminal de la fibre  
 2 Kugeln — Billes  
 3 Kugelkäfig — Cage à billes  
 4 Steckerhülse — Douille du connecteur



**Fig. 21**  
**Justierbarer Stecker mit exzentrischen Hülsen — Connecteur ajustable avec douilles excentriques**

O<sub>0</sub>...O<sub>3</sub> Möglichkeiten der planetoiden Bewegung — Possibilités de déplacement planétoïde

- F Glasfaser — Fibre de verre
- 1 Faserkern — Cœur de la fibre
- 2 Fasermantel — Gaine de la fibre
- 3 Faserendhülse — Manchon de terminaison de la fibre
- 4, 5 Hülse mit exzentrischer Bohrung — Douille avec perçage excentré
- 6 Steckerhülse — Douille du connecteur

den Faserkern in gewissen Grenzen innerhalb der Mittelzone der Steckerhülse optimal nachjustieren.

– **Justierbare Stecker mit exzentrischen Hülsen**

Figur 21 verdeutlicht dieses Prinzip. Die Faser F wird ebenfalls in eine Endhülse 3 montiert. Diese ist in zwei anderen konzentrischen Hülsen 4 und 5 mit exzentrischen Bohrungen plaziert. Durch gegenseitiges Drehen dieser Hülsen entsteht eine planetoidale Bewegung des Faserkerns 1 (um die Kreise O<sub>1</sub> bis O<sub>3</sub>), die eine optimale Positionierung der letzteren in der Mitte der Steckerhülse 6 ermöglicht.

Die beiden letztgenannten Prinzipien weisen einen gemeinsamen Nachteil auf. Die präzise Justierung selber ist *nur* mit Hilfe einer Messapparatur in einem Durchlichtmessverfahren möglich (Fig. 22). Die Lichtquelle 1 (zum Beispiel LED oder Laserdiode) wird mit einer Linse 2 und einem Mikromanipulator 3 auf eine zur Messapparatur gehörende Faser FM gerichtet. Der Stecker 4 zusammen mit dem Steckerkoppler 5 bilden die präzise Referenz (master connector). Der an der Faser F montierte Stecker 6 wird im Koppler 5 durch Drehen der Teile 9 und 10 so justiert, dass auf dem Detektor 7 und dem Anzeigeinstrument 8 ein maximales Signal gemessen wird.

Diese Stecker fanden bis jetzt keine grosse Verbreitung, weil es nötig ist, den Lichtdurchgang beim Justieren des Steckers zu messen.

– **Vormontierte Stecker mit Pigtail**

Eine ganz andere Philosophie liegt diesem Kern-Kern-Positionierungsprinzip zugrunde [11]. Der Stecker wird im Herstellerwerk sehr genau vormontiert und mit einem Stück Faser (pigtail) in der Länge von etwa 2 m versehen. Der Anwender hat nun dieses Faserstück an seine Faser anzuschweißen oder anzusplicsen. Man verwendet bei vormontierten Steckern vorteilhaft die gleiche Faser wie die der Übertragungsstrecke. Die Vorteile dieser Technik liegen darin, dass man sich um die sehr anspruchsvolle Montage des Steckers (vor allem im Feld) nicht kümmern muss, sondern nur eine wesentlich einfachere Schweiß- oder Spleissoperation zu verrichten hat. Die präzisen Teile des Steckers werden oft aus einem verschleißlosen Hartmetall mit einer Genauigkeit von 0,5 µm

ein manchon terminal 1. Deux jeux de trois billes 2, de diamètre différent, sont disposés en deux endroits sur le pourtour du manchon terminal et maintenus dans une cage 3. Le tout se trouve dans la douille proprement dite 4 du connecteur, qui est percée d'un trou excentré. En tournant la cage à billes, on peut, dans certaines limites, ajuster de façon optimale la position du cœur de la fibre dans la zone centrale de la douille du connecteur.

– **Connecteurs ajustables avec douilles excentriques**

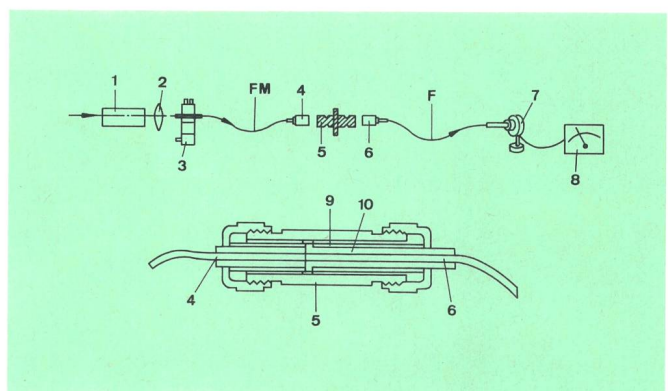
La figure 21 illustre ce principe. La fibre F est également montée dans un manchon terminal 3. Celui-ci est placé dans deux autres douilles concentriques 4 et 5, avec percements excentriques. En tournant ces deux douilles dans le sens inverse, on provoque un mouvement planétoïde du cœur de la fibre 1 (autour des cercles O<sub>1</sub> jusqu'à O<sub>3</sub>), qui permet un positionnement optimal du cœur au centre de la douille 6 du connecteur.

Ces deux derniers principes présentent un inconvénient commun. L'ajustage précis ne peut être fait *qu'avec* l'aide d'un équipement de mesure permettant de mesurer la lumière traversant le système (fig. 22). La source de lumière 1 (par exemple LED ou diode Laser) est dirigée sur une fibre FM faisant partie du dispositif de mesure, à l'aide d'une lentille 2 et d'un micromanipulateur 3. Le connecteur 4 et le coupleur de connecteur 5 constituent la référence précise (connecteur-maître). Le connecteur 6 monté sur la fibre F est ajusté par rotation des pièces 9 et 10 de telle façon que l'on mesure un signal maximum au détecteur 7 et sur l'instrument de mesure 8.

Jusqu'ici, ces connecteurs n'ont pas trouvé une application très étendue, étant donné qu'il est nécessaire de faire une mesure de lumière lors de leur ajustage.

– **Connecteurs prémontés avec fibre amorcée**

C'est une toute autre philosophie qui est à la base de ce principe de positionnement cœur-cœur [11]. Le connecteur est monté avec une grande précision en usine puis muni d'une fibre amorcée de deux mètres de



**Fig. 22**  
**Durchlicht-Messverfahren — Procédé de mesure par passage du rayon lumineux**

- FM Faser der Messapparatur — Fibre de l'appareillage de mesure
- F Faser des Benützers — Fibre de l'utilisateur
- 1 Lichtquelle — Source lumineuse
- 2 Linse — Lentille
- 3 Mikromanipulator — Micromanipulateur
- 4 Referenz-Stecker — Connecteur de référence
- 5 Stecker-Koppler — Coupleur de connecteur
- 6 Montierter Stecker — Connecteur monté
- 7 Detektor — Détecteur
- 8 Anzeigeinstrument — Instrument indicateur
- 9, 10 Exzentrische Hülse — Douille excentrique

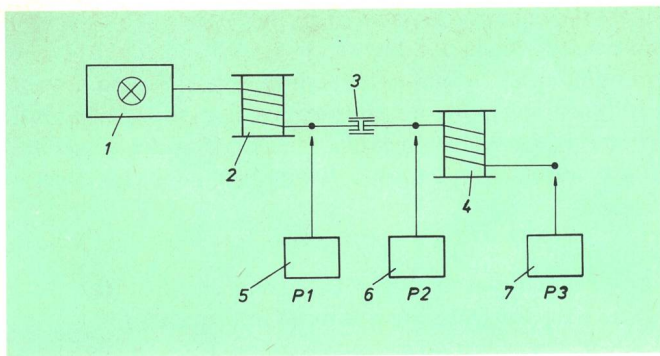


Fig. 23  
Dämpfungsmessung an optischen Steckern — Mesure de l'affaiblissement de connecteurs optiques

P1...P3 Leistungen — Puissances

- 1 Lichtquelle mit Einkopplungsoptik — Source lumineuse avec optique d'injection
- 2 Vorspann — Amorce d'entrée
- 3 Stecker — Connecteur
- 4 Nachspann — Amorce de sortie
- 5, 6, 7 Detektoren — Détecteurs

hergestellt. Die Dämpfung des Steckers selber liegt unter 0,5 dB mit einer Wiederholbarkeit von  $\pm 0,1$  dB. Man muss freilich die Dämpfung zweier Schweiß- oder Spleisspunkte dazu addieren (etwa 0,1 dB je Punkt).

## 5 Messung der Dämpfung an Glasfasersteckern

Die Qualität eines optischen Steckers kann nach verschiedensten Kriterien je nach Bedarf und Anwendungszweck beurteilt werden. Die Stecker können mechanischen, optischen, chemischen und thermischen Tests unterworfen werden. Bei der Festlegung der Messbedingungen treten zwei Aspekte in den Vordergrund. In erster Linie wird auf die hohe Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der gemessenen Werte bei verschiedenen Anwenden geachtet. Andererseits müssen diese Messbedingungen dem in den wirklichen Systemen herrschenden Zustand entsprechen. Aus dieser Sicht wird hier nur die wichtigste Kontrolle — die Dämpfungsmessung an optischen Steckern — erwähnt.

Die Angaben über die Dämpfung eines Glasfasersteckers sind sehr eng mit der angewendeten Messmethode oder, besser gesagt, mit den Eigenschaften des durch den Stecker durchgehenden Lichtes verbunden. Die sich daraus ergebende Steckerdämpfung kann durch die Lichtquelleneigenschaften, den Abstand von der Lichtquelle und die Eigenschaften der Faser vor und nach dem Stecker beeinflusst werden. *Figur 23* zeigt die prinzipielle Messanordnung. Der nach der Lichtquelle 1 angeschlossene Vorspann 2 gestattet, die Modenstruktur des Lichtes zu stabilisieren. Ohne diesen Vorspann kann die gemessene Dämpfung bis zu einem Faktor 3 variieren [2], verursacht durch die Fleckgröße und die numerische Apertur der Lichtquelle. Der Vorspann muss also in jedem Fall vorhanden sein. Seine Länge muss genügen, um das Modengleichgewicht, das nach gewisser Länge an der Glasfaserstrecke herrscht, zu simulieren. Man muss ebenfalls die Mantelmoden durch Anwendung eines Strippers beseitigen. Durch diese Massnahmen erreicht man, dass das Licht nur im Kern verläuft und eine definierte Modenstruktur aufweist. Mit der Anwendung des Nachspanns 4 können folgende zwei Fälle unterschieden werden [2, 6].

longueur environ. L'utilisateur doit ensuite souder ou épisser cette fibre à la sienne. On utilisera de préférence le même type de fibre pour montage en usine que celui auquel a recours l'utilisateur pour la transmission. Les avantages de cette technique résident dans le fait que l'on n'a pas à se soucier du montage du connecteur dans des conditions sévères (en particulier dans le terrain), mais qu'il s'agit uniquement de réaliser une soudure ou une épissure notablement plus simple. Les pièces de haute précision du connecteur sont souvent usinées en métal dur, pratiquement inusable, avec une précision de  $0,5 \mu\text{m}$ . L'affaiblissement du connecteur est inférieur à 0,5 dB avec une reproductivité de  $\pm 0,1$  dB. Il faut bien sûr y ajouter l'affaiblissement des deux points de soudure ou d'épissure (environ 0,1 dB par point).

## 5 Mesure de l'affaiblissement aux connecteurs de fibres optiques

La qualité d'un connecteur optique peut être appréciée sur la base des critères les plus divers, selon le domaine d'utilisation. Les connecteurs peuvent être soumis à des tests mécaniques, optiques, chimiques et thermiques. Lors de la détermination des conditions de mesure, deux aspects ont de l'importance. En premier lieu, il faut prendre garde à la haute reproductibilité et à la précision élevée des valeurs mesurées pour les différents usagers. D'autre part, les conditions de mesure doivent correspondre à l'état régnant dans les systèmes réels. C'est pourquoi, de ce point de vue, seul le contrôle le plus important — la mesure de l'affaiblissement des connecteurs optiques — est cité ici.

Les indications concernant l'affaiblissement d'un connecteur de fibre optique sont étroitement liées à la méthode de mesure utilisée, ou, mieux encore, aux propriétés de la lumière traversant le connecteur. La valeur d'affaiblissement qui en résulte peut être influencée par les propriétés de la source lumineuse, la distance de la source lumineuse et les propriétés de la fibre avant et après le connecteur. La *figure 23* montre le principe du dispositif de mesure. L'amorce 2, connectée après la source lumineuse 1 permet de stabiliser la structure des modes. Sans cette amorce, l'affaiblissement mesuré pourrait varier jusqu'à un facteur 3 [2], cette variation étant provoquée par la grandeur de la tache lumineuse et l'ouverture numérique de la source. Il y a donc lieu d'utiliser une amorce dans chaque cas. Sa longueur doit suffire pour simuler l'équilibre des modes qui règne après une certaine longueur de transmission. On doit également éliminer les modes de gaine en enrobant la fibre d'un milieu absorbant approprié. Grâce à ces mesures, la lumière ne se propage que dans le cœur et présente une structure de mode définie. En utilisant l'amorce 4, on peut faire la différence entre les deux cas suivants [2, 6].

### 51 Affaiblissement mesuré avec une amorce de sortie courte (short length attenuation)

L'affaiblissement du connecteur 3 est dans ce cas donné par la formule

$$\alpha_K = -10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (13)$$

## 51 Dämpfung gemessen mit einem kurzen Nachspann (short length attenuation)

Die Dämpfung des Steckers 3 ist in diesem Falle als

$$\alpha_K = -10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (13)$$

gegeben, wobei  $\alpha_K$  die Dämpfung in (dB) ist;  $P_1$ ,  $P_2$  in (W) sind die entsprechenden Leistungen, gemessen nach und vor dem Stecker. Der Nachspann sollte nur einige Meter lang sein, seine Dämpfung muss vernachlässigbar sein, und an seinem Ende muss auch ein Mantelmodenstripper angebracht sein.

## 52 Dämpfung gemessen mit einem langen Nachspann (long length attenuation)

Die Dämpfung des Steckers wird als

$$\alpha_L = -10 \log \frac{P_3}{P_1} - \alpha_F \quad (14)$$

definiert.  $\alpha_L$  ist dabei die Dämpfung in (dB),  $P_3$  und  $P_1$  sind die entsprechenden Leistungen in (W), gemessen nach dem Nachspann und vor dem Stecker;  $\alpha_F$  ist die zu subtrahierende Dämpfung des Nachspanns in (dB). Dieser muss unter den Modengleichgewichtsbedingungen vorher ausgemessen werden.

Die Dämpfung  $\alpha_K$  gemäss (13) gibt eine Aussage über die *mechanische Qualität* des Steckers, das heisst, sie besagt, wie gut der Kern-Kern-Lichtübergang ist. Jeder Fehler dieses Übergangs hat zur Folge, dass ein Teil des Lichtes nach dem Stecker im Mantel und anschliessend im Stripper verschwindet. Man wird dabei eine erhöhte Dämpfung des Kern-Kern-Überganges messen.

Die Dämpfung  $\alpha_L$  gemäss (14) gibt demgegenüber Auskunft über den *Einfluss des Steckers auf die Modenstrukturveränderungen* und demnach auf die Dämpfung der nachfolgenden Strecke. Bei guten Steckern ist  $\alpha_K = \alpha_L$ . Normalerweise wird in Prospekten nur die Steckerdämpfung  $\alpha_K$  angegeben.

## 6 Beispiele von Ausführungen

Eine kleine Auswahl von verschiedenen typischen Steckern ist in *Figur 24* gezeigt. Sie soll einen allgemeinen Eindruck über Grösse, Form und Ausführung der optischen Stecker vermitteln. In *Tabelle I* sind zudem die technischen Daten einiger vor allem in Europa erhältlicher Stecker zusammengefasst. Neben der Steckerbezeichnung kann man einiges über das Steckerprinzip, die Positionierungsart und die Dämpfung in Erfahrung bringen. Man kann dabei eine klare Abstufung feststellen. Während die mit M bezeichneten Stecker (Mantel-Mantel-Positionierung) eine durchschnittliche Dämpfung um 1...2 dB aufweisen, liegt die Dämpfung der mit K bezeichneten Stecker (Kern-Kern-Positionierung) wesentlich tiefer, und zwar um den Wert 0,5...0,7 dB. Bei den letzteren ist dies vor allem dem Umstand zu verdanken, dass die Positionierung im Herstellerwerk mit Hilfe von sehr präzisen Messinstrumenten und -verfahren ausgeführt wird. Die mit einem Stern (\*) bezeichneten Stecker wurden bei den Schweizerischen PTT-Betrieben bereits getestet. Die gemessenen Dämpfungswerte

$\alpha_K$  est l'affaiblissement en (dB),  $P_1$ ,  $P_2$ , en (W), étant les puissances correspondantes, mesurées avant et après le connecteur. La longueur de l'amorce de sortie ne devrait pas dépasser quelques mètres, vu que son affaiblissement doit rester négligeable. On doit prendre à son extrémité également les mesures pour éliminer les modes de gaine.

## 52 Affaiblissement mesuré avec une amorce de sortie longue (long length attenuation)

L'affaiblissement du connecteur est donné par

$$\alpha_L = -10 \log \frac{P_3}{P_1} - \alpha_F \quad (14)$$

avec  $\alpha_L$  = Affaiblissement en (dB),  $P_3$ ,  $P_1$  puissances correspondantes en (W) mesurées après l'amorce de sortie et avant le connecteur,  $\alpha_F$  étant l'affaiblissement de l'amorce de sortie à soustraire. Il y a lieu toutefois de mesurer l'affaiblissement de cette dernière dans les conditions d'équilibre des modes.

L'affaiblissement  $\alpha_K$  selon (13) renseigne quant à la *qualité mécanique* du connecteur, c'est-à-dire sur la qualité du passage de la lumière d'un cœur à l'autre. Chaque défaut de ce passage a pour conséquence qu'après le connecteur une partie de la lumière s'échappe dans la gaine et ensuite dans l'enrobage destiné à supprimer les modes de gaine. On mesurera alors, dans ce cas, un affaiblissement accru du passage cœur-cœur.

L'affaiblissement  $\alpha_L$  selon (14) renseigne quant à l'*influence du connecteur sur les modifications de la structure des modes* et, par voie de conséquence, quant à l'affaiblissement du tronçon de transmission suivant. Pour les bons connecteurs,  $\alpha_K = \alpha_L$ . Normalement, seul l'affaiblissement  $\alpha_K$  du connecteur est indiqué dans les catalogues.

## 6 Exemples d'exécutions

Un choix réduit des différents connecteurs typiques est reproduit à la *figure 24*. Il doit donner une impression générale quant à la grandeur, la forme et l'exécution des connecteurs optiques. Le *tableau I* indique les caractéristiques techniques de quelques connecteurs livrables en Europe. En plus de la désignation du connecteur, on

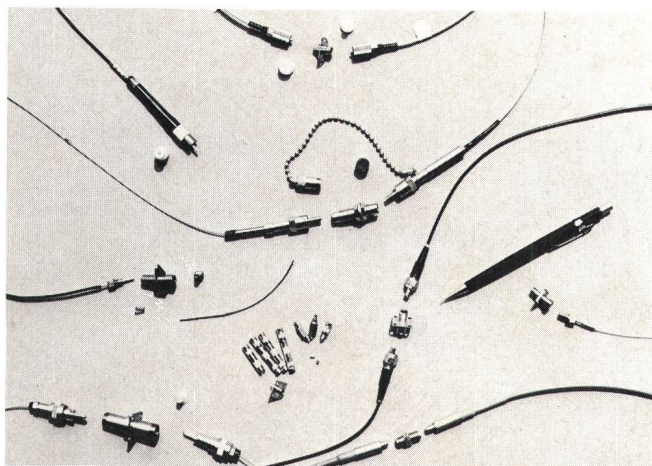


Fig. 24  
Beispiele verschiedener Stecker — Exemples de divers connecteurs

Tabelle I. Optische Stecker

Nr.	Typ	Hersteller, Staat	Prinzip	Positionierung M = auf Mantel K = auf Kern M            K	Angegebene Dämpfung (Katalogwert)	Bemerkungen
01*)	CDFO-2	Cabloptic SA Cortaillod Schweiz	V-Rille	M	0,5 dB	Mit Immersionsöl (paarweise)
02*)	CDFO-8	Cabloptic SA Cortaillod Schweiz	V-Rille	M	0,5 dB	Mit Immersionsöl (paarweise)
03*)	—	F & G Bundesrepublik Deutschland	3-Nadel	M	1,0 dB	
04*)	FOS-T	ITT-Standard Grossbritannien	Ferrule	M	2,0 dB	
05*)	9400	NEC Japan	Ferrule	M	0,5 ± 0,2 dB	Präzise Bohrung in Röhrchen
06*)	4032	CLTO-LYON Frankreich	3-Nadel	M	1,0 dB	
07*)	FX-55	OMI-Ltd Japan	2 exzentrische Hülsen		K 0,5 dB	Durchlicht notwendig
08*)	GFS-1	Diamond SA Schweiz	Vormontiert 0,5 µm Präzision Hartmetall		K 0,5 dB	Mit Pigtail
09	FC-701	Plessey Grossbritannien	Ferrule	M	1,0...1,5 dB	Männlich-weiblich
10	HFBR	Hewlett Packard Grossbritannien	Ferrule	M	1,5 dB	Aus Stahl
11	CSI	Unaworld Bundesrepublik Deutschland	Ferrule	M	1,6 dB	Aus Polypropylen + Erhitzung
12	TFC-7000	TWC USA	Männlich-weiblich individuell	M	1,0 dB	Männlich-weiblich
13	EP	Polytec Bundesrepublik Deutschland	Ferrule	M	1,0...2,0 dB	
14	BERG	Du Pont Kanada	V-Rille	M	1,0...2,0 dB	Lose Fasern
15*)	S 724	Socapex Frankreich	V-Rille	M	≤ 1,0 dB ≤ 0,5 dB	Luft Öl
16	430	Stratos Schweden	3 Kugeln	M	1,0 dB	
17*)	LWK-K	Siemens Bundesrepublik Deutschland	Ferrule-Hülse	M	1,0...2,2 dB	Glaskapillare abgestuft
18*)	FV	Siecor Bundesrepublik Deutschland	Ferrule	M	≤ 1,0 dB ~ 1,0...2,0 dB	Mit Pigtail. Montage durch den Anwender
19	2000	F & G Bundesrepublik Deutschland	Ferrule (Steck-Klemm- Prinzip)	M	K 0,6 ± 0,2 dB ~ 1,0 dB	Aus Cu, mit Pigtail
20	OFP-N	ITT Grossbritannien	Ferrule	M	1,5...3,5 dB	
21*)	GFS-2	Diamond SA Schweiz	Vormontiert 2...3 µm Präzision Hartmetall		K 0,6 ± 0,2 dB	Mit Pigtail
22*)	ESS 1	Diamond SA Schweiz	Vormontiert 0,5 µm Präzision Hartmetall		K 0,5 dB	Einschubstecker
23	ESS 2	Diamond SA Schweiz	Vormontiert 2...3 µm Präzision Hartmetall		K 0,6 ± 0,2 dB	Einschubstecker
24	MMS-1	Diamond SA Schweiz	Vormontiert 0,5 µm Präzision Hartmetall		K < 1 dB	Monomode-Stecker Mit Pigtail
25*)	1016	Souriau Frankreich	V-Rille	M	K 0,7 dB 0,45 ± 0,1 dB	Öl Mit Pigtail
26*)	GFO-EG	Seitz Schweiz	Ferrule	M	0,7...1,0 dB	Saphir abgestuft
27	SPOC	Seiko Japan	Ferrule	M	1,0 dB 0,45 dB	Ohne } «Plastik- Mit } film»
28	—	Deutsch FOD USA	Gusslinsen	M	1,0 dB	Mit Immersionsöl

Tableau I. Connecteurs optiques

N°	Type	Fabricant, pays	Principe	Positionnement		Affaiblissement (valeur de catalogue)	Remarques
				G = Gaine-Gaine C = Cœur-cœur	G C		
01*)	CDFO-2	Cabloptic SA Cortailod Suisse	Rainure en V	G		0,5 dB	Avec liquide adaptateur d'indice (apparié)
02*)	CDFO-8	Cabloptic SA Cortailod Suisse	Rainure en V	G		0,5 dB	Avec liquide adaptateur d'indice (apparié)
03*)	-	F & G République fédérale d'Allemagne	3 aiguilles	G		1,0 dB	
04*)	FOS-T	ITT-Standard Grande-Bretagne	Ferrule	G		2,0 dB	
05*)	9400	NEC Japon	Ferrule	G		0,5 ± 0,2 dB	Percement précis dans le manchon
06*)	4032	CLTO-LYON France	3 aiguilles	G		1,0 dB	
07*)	FX-55	OMI-Ltd Japon	2 douilles excentriques		C	0,5 dB	Mesure par passage de lumière nécessaire
08*)	GFS-1	Diamond SA Suisse	Prémonté, précision 0,5 µm métal dur		C	0,5 dB	Avec amorce
09	FC-701	Plessey Grande-Bretagne	Ferrule	G		1,0...1,5 dB	Mâle et femelle
10	HFBR	Hewlett Packard Grande-Bretagne	Ferrule	G		1,5 dB	En acier
11	CSI	Unaworld République fédérale d'Allemagne	Ferrule	G		1,6 dB	En polypropylène + échauffement
12	TFC-7000	TWC USA	Mâle et femelle individuel	G		1,0 dB	Mâle et femelle
13	EP	Polytec République fédérale d'Allemagne	Ferrule	G		1,0...2,0 dB	
14	BERG	Du Pont Canada	Rainure en V	G		1,0...2,0 dB	Fibres libres
15*)	S 724	Socapex France	Rainure en V	G		≤ 1,0 dB ≤ 0,5 dB	Air Liquide adaptateur d'indice
16	430	Stratos Suède	3 billes	G		1,0 dB	
17*)	LWK-K	Siemens République fédérale d'Allemagne	Ferrule-manchon	G		1,0...2,2 dB	Capillaires de verre, échelonné
18*)	FV	Siecor République fédérale d'Allemagne	Ferrule	G		≤ 1,0 dB ~ 1,0...2,0 dB	Avec amorce, montage par l'utilisateur
19	2000	F & G République fédérale d'Allemagne	Ferrule (principe de l'introduction-blocage)	G	C	0,6 ± 0,2 dB ~ 1,0 dB	En cuivre, avec amorce
20	OFP-N	ITT Grande-Bretagne	Ferrule	G		1,5...3,5 dB	
21*)	GFS-2	Diamond SA Suisse	Prémonté précision 2...3 µm métal dur		C	0,6 ± 0,2 dB	Avec amorce
22*)	ESS 1	Diamond SA Suisse	Prémonté précision 0,5 µm métal dur		C	0,5 dB	Connecteur pour unités enfichables
23	ESS 2	Diamond SA Suisse	Prémonté précision 2...3 µm métal dur		C	0,6 ± 0,2 dB	Connecteur pour unités enfichables
24	MMS-1	Diamond SA Suisse	Prémonté précision 0,5 µm métal dur		C	< 1 dB	Connecteur monomode, avec amorce
25*)	1016	Souriau France	Rainure en V	G		0,7 dB	Liquide adaptateur d'indice
26*)	GFO-EG	Seitz Suisse	Ferrule	G	C	0,45 ± 0,1 dB	Avec amorce
27	SPOC	Seiko Japon	Ferrule	G		0,7...1,0 dB 1,0 dB	Saphir, échelonné Sans } film
28	-	Deutsch FOD USA	Lentilles coulées	G		0,45 dB 1,0 dB	Avec } plastique Avec liquide adaptateur d'indice



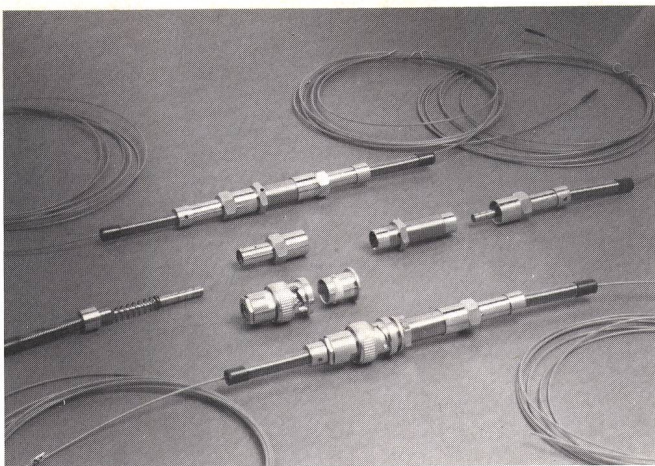


Fig. 25  
Optischer Stecker GFS-1 — Connecteur optique GFS-1

stimmen leider nicht immer mit den Katalogwerten überein.

## 7 Betriebserfahrungen bei den PTT

Wie bereits in Tabelle I gezeigt wurde, weisen zurzeit die Stecker GFS-1 der *Diamond SA* die kleinsten Dämpfungen auf. Gleichzeitig erfüllen sie die im Kapitel 2 gestellten Forderungen an einen optischen Stecker am besten. Auch ihre «Pigtail-Philosophie» hat sich mit der Zeit gut bewährt. *Figur 25* zeigt diesen Stecker. Er ist in verschiedenen Ausführungen erhältlich, so gibt es zum Beispiel neben dem Frontpanelstecker auch eine Einschubvariante und neuerdings auch eine Schnellverschlussausführung in Form des gut bekannten BNC-Steckers. Die Schweizerischen PTT-Betriebe haben dazu einen Kabelendverschluss KEV-1 entwickelt, der am Ende jedes optischen Kabels in den Telefonzentralen montiert wird (*Fig. 26*). Man sieht die unten angeordneten GFS-1-Stecker mit entsprechenden Staubkappen und in der Mitte die Verspleissungen und die Kunststoffkapsel, in welchen je etwa 2 m Reservefaser aufbewahrt werden. Das Kabel selber kommt von oben. Die Stecker sind zudem in einem Dauertest an verschiedenen Messgeräten (feldtauglicher Dämpfungsmessplatz, Dispersionsmessplatz, Übertragungsausrüstung, optisches Telefon usw.) mit Erfolg erprobt worden. Somit besitzen die PTT-Betriebe ein ziemlich ausgereiftes und bewährtes System von Verbindungskomponenten.

## 8 Schlusswort

Der gesamte Überblick über die optischen Stecker, deren Eigenschaften und Messmethoden stellt den heutigen Stand der Technik dar. Die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen, und man kann mit Sicherheit noch mit einigen Überraschungen auf diesem Gebiet rechnen.

### Bibliographie

- [1] *Epworth R. E.* The Phenomenon of Modal Noise in Analogue and Digital Optical Fiber Systems. Genova, Proceedings of the 4th European Conference on Optical Communication, September 1978.
- [2] *Kummer R. B.* Characterisation of Long Non-Identical-Fiber Splice Loss Effects. York, United Kingdom, 6th European Conference on Optical Communication, September 1980, p. 302.

peut en retirer quelques renseignements sur le principe de connexion, le genre de positionnement et l'affaiblissement. On y découvre de façon claire des différences de qualité. Alors que les connecteurs désignés par G (positionnement gaine-gaine) ont un affaiblissement moyen d'environ 1...2 dB, celui des connecteurs désignés par C (positionnement cœur-cœur) est notablement inférieur, puisque sa valeur est de 0,5...0,7 dB environ. Cette amélioration est à mettre au compte du fait que le positionnement des fibres dans ces connecteurs est réalisé en usine, à l'aide de procédés et d'instruments de mesure très précis. Les connecteurs désignés par une étoile (\*) sont actuellement testés par l'Entreprise des PTT suisses. Les valeurs d'affaiblissement mesurées ne correspondent malheureusement pas toujours à celles indiquées dans les catalogues.

## 7 Expériences d'exploitation des PTT

Comme indiqué dans le tableau I, actuellement ce sont les connecteurs GFS-1 de la maison *Diamond SA* qui présentent les affaiblissements les plus faibles. De plus, ils satisfont également le mieux aux exigences posées à un connecteur optique, telles qu'elles ont été indiquées au chapitre 2. Le système de raccordement à la fibre de l'utilisateur, faisant appel à une fibre amorce, a également fait ses preuves. La *figure 25* donne une image de ce connecteur. Il peut être obtenu en plusieurs exécutions. En plus du type à monter sur châssis, on peut recevoir également une variante pour les unités enfichables et, depuis un certain temps, un modèle pour fermeture à baïonnette, sous forme du connecteur BNC bien connu. L'Entreprise des PTT suisses a développé, en utilisant ces connecteurs, une terminaison de câble KEV-1, qui est montée à l'extrémité de chaque câble optique dans les stations d'amplificateurs (*fig. 26*). Dans le bas de la figure, on voit les connecteurs GFS-1 avec les cache-poussière correspondants et au milieu les épissures avec leur couvercle de protection en plastique dans lequel sont logés environ deux mètres de fibres de réserve. Le câble proprement dit pénètre dans l'installation depuis le haut. De plus, ces connecteurs sont soumis avec succès à un test de durée dans différents appareils de mesure (place de mesure de l'affaiblissement utilisable dans le terrain, place de mesure de la dispersion, équipement de transmission, téléphone optique,

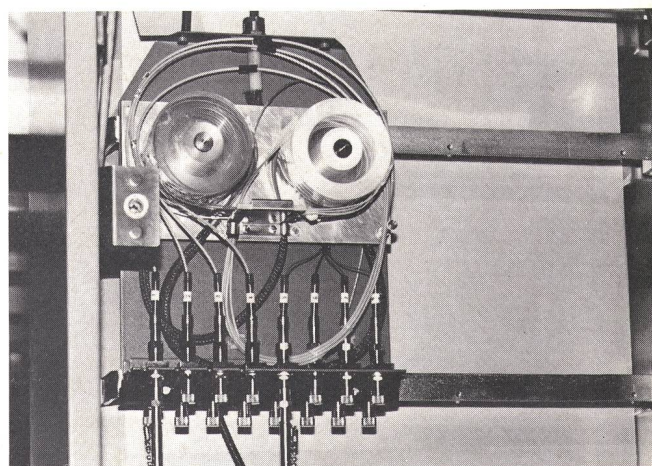


Fig. 26  
Kabelendverschluss KEV-1 — Terminaison de câble KEV-1

- [3] *Gloge D. and Marcatili E. A. J.* Multimode-Theory of Graded-Core Fibers. Murray Hill, Bell System Technical Journal 52 (1973) 9.
- [4] *Gloge D.* Offset and Tilt Loss in Optical Fiber Splices. Murray Hill, Bell System Technical Journal 55 (1976) 7.
- [5] *Kaiser M.* Optische Stecker. München, Elektronik 28 (1979) 8, S. 90.
- [6] *Novák R.* Präzise feldtaugliche Methode und Apparatur für die Dämpfungsmessungen an PTT-Glasfaser-Anlagen. Berlin, NTG-Fachberichte, Band 75 (1980), S. 108.
- [7] *Guttman J., Krumpholz O. und Pfeiffer E.* A Simple Connector for Glass Fiber Optical Waveguides. London, Electronics Letters 11 (1978) 24.
- [8] *Thiel F. L. und Hawk R. M.* Optical Waveguide Cable Connection. Easton, Applied Optics 15 (1976) 2.
- [9] *Hensel P.* Triple Ball Connector for Optical Fibers. London, Electronics Letters 13 (1977) 24.
- [10] *Kunze D.* Jointing Techniques for Optical Cables. Paris, Proceedings of the 2nd European Conference on Optical Communication, September 1967, p. 257.

etc.). Ainsi, l'Entreprise des PTT possède un système de composants de liaison bien au point et qui a fait ses preuves.

## 8 Conclusion

Cette vue d'ensemble des connecteurs optiques, de leurs propriétés et des méthodes de mesure correspond à l'état actuel de la technique. Le développement est loin d'être terminé et l'on peut encore s'attendre avec certitude à quelques surprises dans ce domaine.

- [11] Glasfaser-Stecker GFS 1. Prospekte der Diamond SA, 6616 Losone (CH).
- [12] *Chipman J. D.* Fiber Optic Connectors. Brookline, MA., USA. International Fiber Optics and Communications, March 1981, p. 45.

## Anhang – Annexe

Die nachfolgenden Figuren 1...7 dienen als Arbeitsunterlagen zur Ermittlung von Dämpfungswerten.

Les figures suivantes 1...7 servent de documents de travail et permettent de déterminer certaines valeurs d'affaiblissement.

Fig. 1

Dämpfung infolge unterschiedlicher Kerndurchmesser – Affaiblissement par suite de diamètres de cœur différents

Dämpfung in dB – Affaiblissement en dB

D Durchmesser nominal – Diamètre nominal  
 NA Numerische Apertur nominal – Ouverture numérique nominale  
 FT Faser sendeseitig – Fibre côté émission

FR Faser empfangsseitig – Fibre côté réception  
 DT Durchmesser des sendeseitigen Faserkerns – Durchmesser des empfangsseitigen Faserkerns – Durchmesser des empfangsseitigen Faserkerns – Durchmesser du cœur de fibre côté émission  
 DR Durchmesser des empfangsseitigen Faserkerns – Durchmesser du cœur de fibre côté réception

Fig. 2

Dämpfung infolge unterschiedlicher numerischer Aperturen – Affaiblissement par suite d'ouvertures numériques différentes

Dämpfung in dB – Affaiblissement en dB

D Durchmesser nominal – Diamètre nominal  
 NA Numerische Apertur nominal – Ouverture numérique nominale  
 FT Faser sendeseitig – Fibre côté émission

FR Faser empfangsseitig – Fibre côté réception  
 NAT Numerische Apertur sendeseitig – Ouverture numérique côté émission  
 NAR Numerische Apertur empfangsseitig – Ouverture numérique côté réception

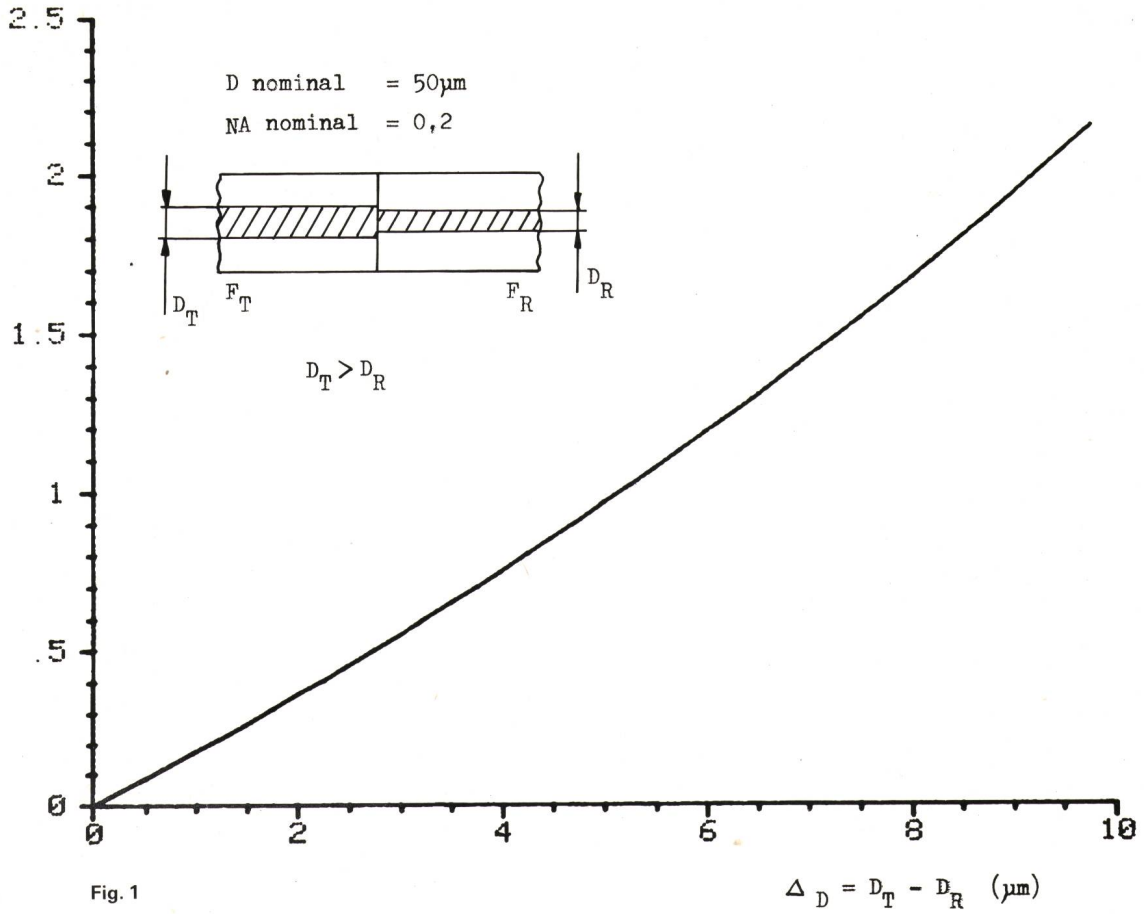
Die nächste Nummer bringt unter anderem

Vous pourrez lire dans le prochain numéro

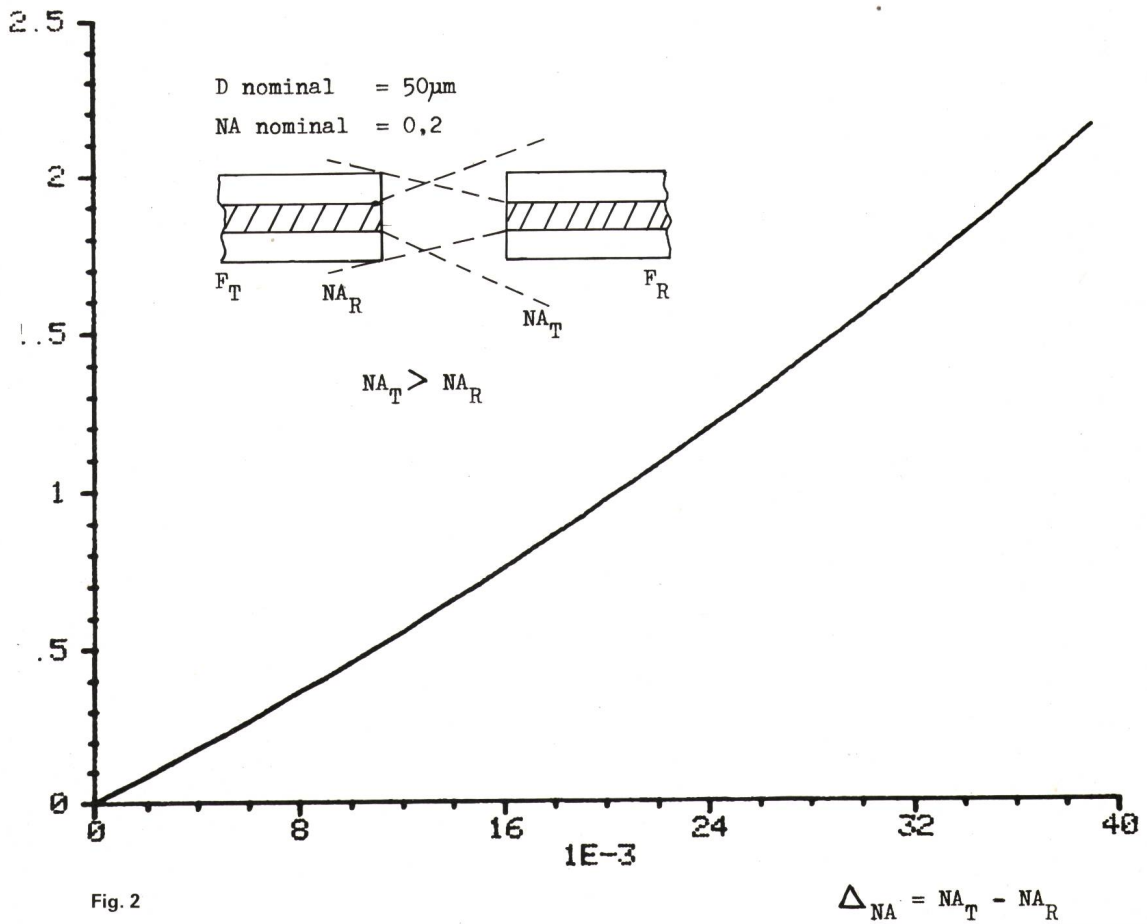
# 5/83

- Nadler C.-J. Caractéristiques électriques imposées aux sols antistatiques – Elektrische Anforderungen an antistatische Böden
- Grundbacher W. Prüfverbindungsautomat – Hilfsmittel zur Prototypprüfung von Telefonzentralen
- Remund R. Betriebstechnische Einrichtungen im Lager für Fernmeldematerial von Chur-Grossbruggen

DAEMPfung IN DB



DAEMPfung IN DB



DAEMPfung IN DB

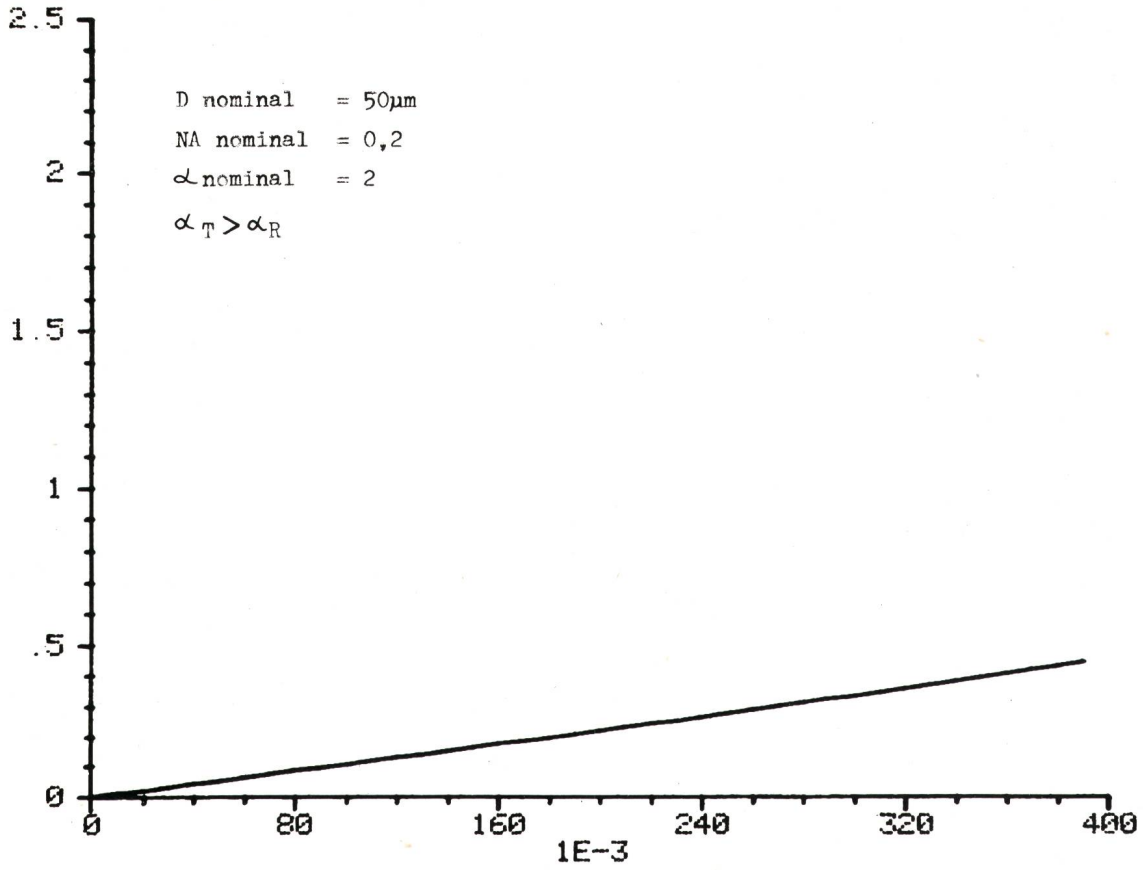


Fig. 3

Parabelprofil-Differenzen  $\Delta\alpha = \alpha_T - \alpha_R$

DAEMPfung IN DB

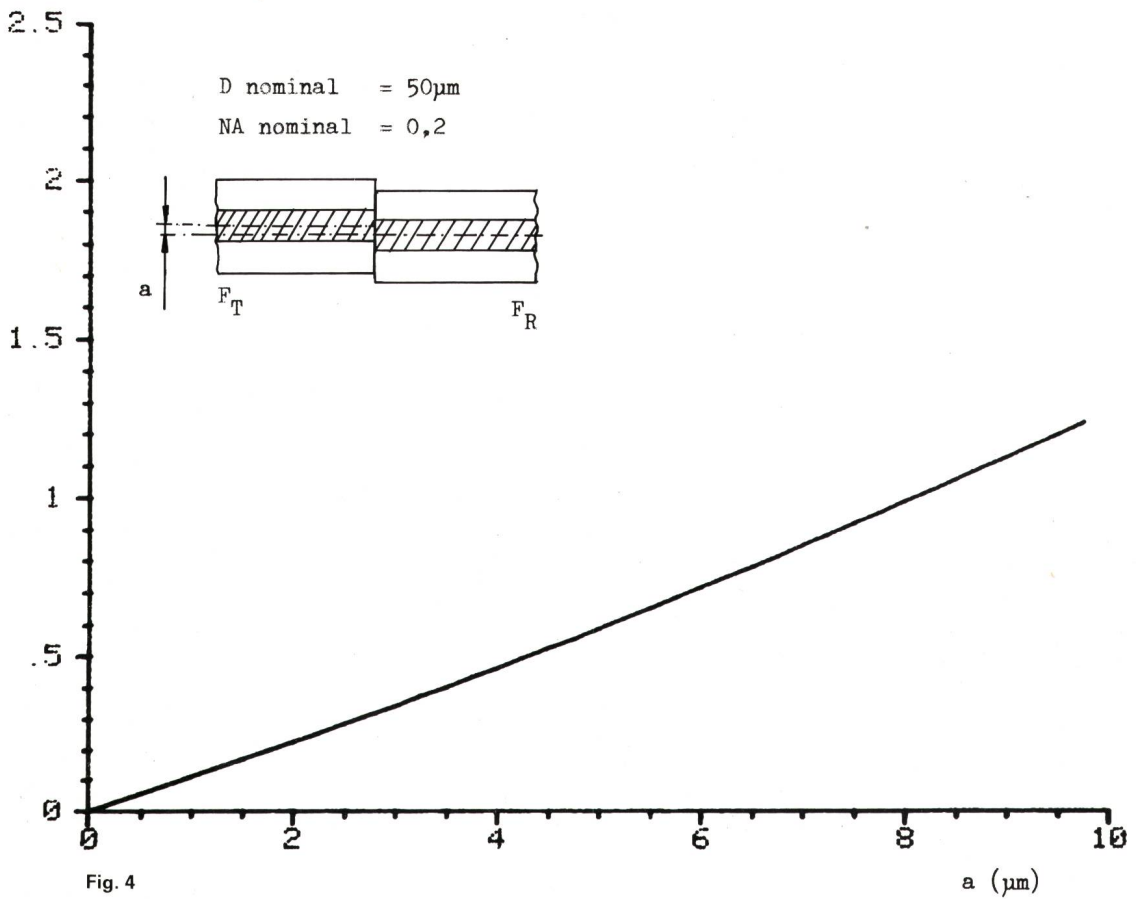


Fig. 4

$a$  (µm)

## ABSTAND DER FASERN

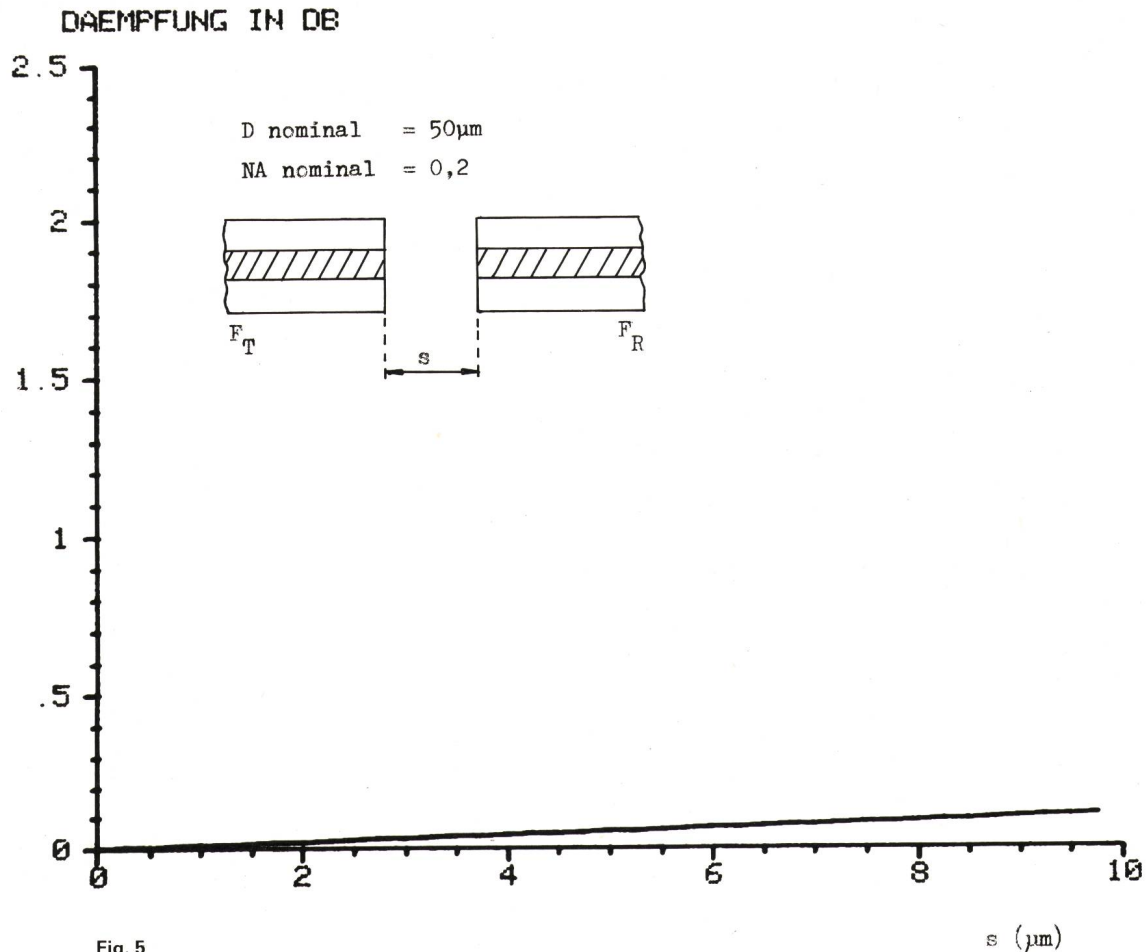


Fig. 5

Fig. 3  
Dämpfung infolge unterschiedlicher Indexprofile — Affaiblissement par suite de profils d'indices différents

Dämpfung in dB — Affaiblissement en dB  
 D Durchmesser nominal — Diamètre nominal  
 NA Numerische Apertur nominal — Ouverture numérique nominale  
 Parabelprofil-Differenzen — Différences de profil parabolique

Fig. 4  
Dämpfung infolge des radialen Versatzes der optischen Axen — Affaiblissement par suite de décentrement radial des axes optiques

Dämpfung in dB — Affaiblissement en dB  
 D Durchmesser nominal — Diamètre nominal  
 NA Numerische Apertur nominal — Ouverture numérique nominale  
 $F_T$  Faser sendeseitig — Fibre côté émission  
 $F_R$  Faser empfangsseitig — Fibre côté réception  
 a Radialer Versatz — Décentrement radial

Fig. 5  
Dämpfung infolge des axialen Versatzes der Faserendflächen — Affaiblissement par suite de séparation terminale

Abstand der Fasern — Distance entre les fibres  
 Dämpfung in dB — Affaiblissement en dB  
 D Durchmesser nominal — Diamètre nominal  
 NA Numerische Apertur nominal — Ouverture numérique nominale  
 $s$  Abstand zwischen den Fasern — Distance entre les fibres  
 $F_T$  Faser sendeseitig — Fibre côté émission  
 $F_R$  Faser empfangsseitig — Fibre côté réception

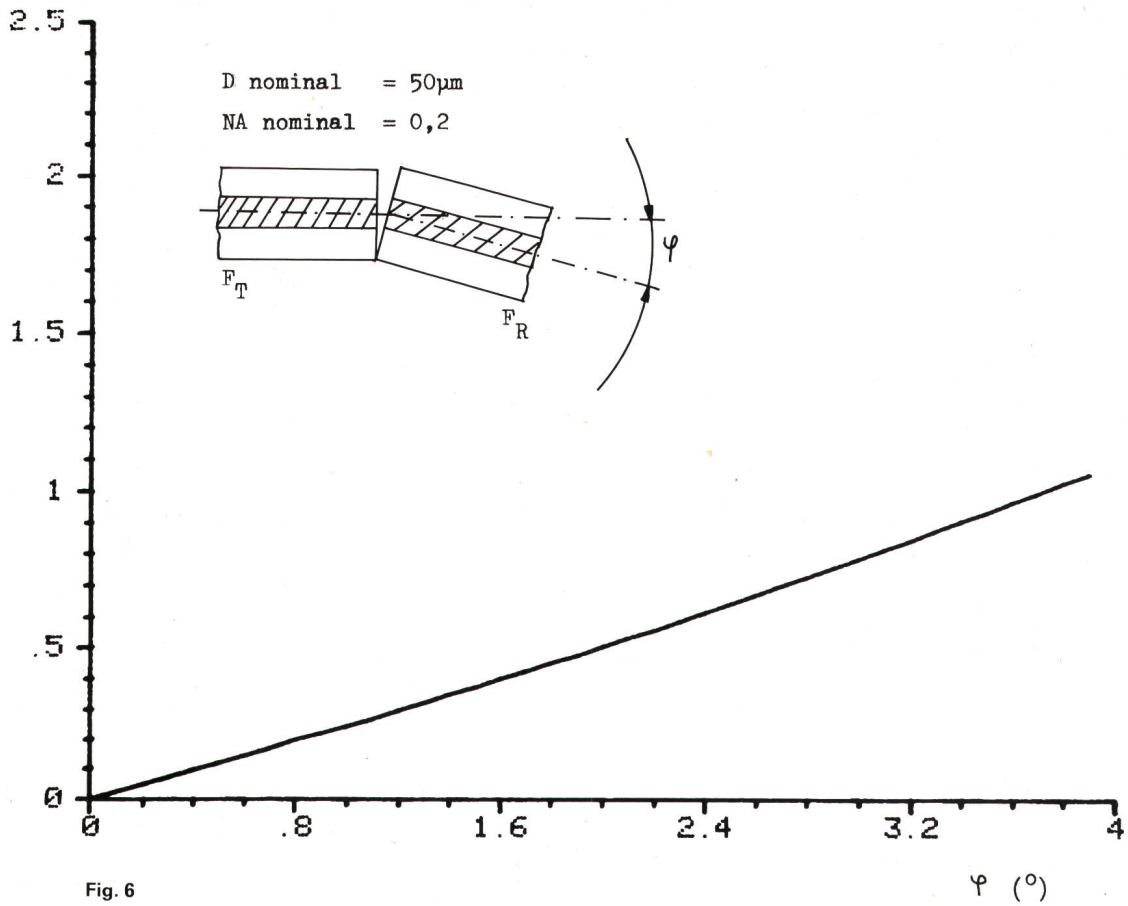
Fig. 6  
Dämpfung infolge des Winkels zwischen den optischen Axen — Affaiblissement par suite d'inclinaison axiale

Dämpfung in dB — Affaiblissement en dB  
 D Durchmesser nominal — Diamètre nominal  
 NA Numerische Apertur nominal — Ouverture numérique nominale  
 $F_T$  Faser sendeseitig — Fibre côté émission  
 $F_R$  Faser empfangsseitig — Fibre côté réception  
 $\varphi$  Axialer Versatz — Inclinaison axiale

Fig. 7  
Dämpfung infolge des Winkels zwischen den Stirnflächen — Affaiblissement par suite d'angle entre les faces terminales

Dämpfung in dB — Affaiblissement en dB  
 D Durchmesser nominal — Diamètre nominal  
 NA Numerische Apertur nominal — Ouverture numérique nominale  
 $F_T$  Faser sendeseitig — Fibre côté émission  
 $F_R$  Faser empfangsseitig — Fibre côté réception  
 $\gamma$  Winkel zwischen den Faserendflächen — Angle entre les faces terminales de fibres  
 Übergang: Glas-Luft-Glas — Passage: Verre-air-verre

DAEMPfung IN DB



DAEMPfung IN DB

