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

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 64 (1986)

Heft: 11

Artikel: Messgerät zum Bestimmen der optischen Übertragungseigenschaften von Monomode-Glasfasern = Appareil de mesure pour définir les propriétés de transmission des fibres optiques monomodes

Autor: Pellaux, Jean-Paul / Witschi, Andreas / Bischofberger, Toni

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875054

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: 12.01.2026

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

Messgerät zum Bestimmen der optischen Übertragungseigenschaften von Monomode-Glasfasern

Appareil de mesure pour définir les propriétés de transmission des fibres optiques monomodes

Jean-Paul PELLAUX[1], Genf, Andreas WITSCHI und Toni BISCHOFBERGER, Bern

Zusammenfassung. *Die Einführung von Monomode-Glasfasern im Fernnetz erforderte neue Geräte zum Messen der Übertragungseigenschaften. Deshalb wurde im Auftrag der PTT bei Promogap in Genf ein Messgerät zur Bestimmung von optisch- und übertragungstechnischen Eigenschaften der Monomode-Glasfasern entwickelt. Das Gerät erlaubt die Messung der spektralen Dämpfung, der Grenzwellenlänge und des Modenfelddurchmessers als Funktion der Wellenlänge. Die Messmethoden erfüllen die CCITT-Normen. Die Messabläufe sind weitgehend automatisiert. Das Messgerät eignet sich daher vorzüglich zur Überwachung der Produktionsqualität der Monomode-Glasfaser und des Kabels beim Hersteller. Für den Anwender bietet dies optimale Voraussetzungen zur Qualitätssicherung.*

Résumé. *En raison de l'introduction des fibres optiques monomodes dans le réseau interurbain, les PTT ont confié à la maison Promogap de Genève le soin de développer un appareil de mesure servant à définir les propriétés de transmission optique des fibres monomodes. Cet équipement permet de mesurer l'affaiblissement spectral, la longueur d'onde de coupure et le diamètre du champ modal en fonction de la longueur d'onde. La méthode de mesure répond aux normes du CCITT et les procédures utilisées sont largement automatisées. L'appareil convient fort bien à la surveillance de la qualité de production des fibres monomodes et des câbles chez le fabricant; il est, pour l'utilisateur, un instrument optimal permettant de garantir la constance de la qualité.*

Apparecchio di misura per determinare le caratteristiche ottiche e trasmissive di fibre ottiche monomodali

Riassunto. *L'introduzione delle fibre ottiche monomodali nella rete interurbana richiede nuovi apparecchi per la misura della qualità. Su incarico delle PTT, la ditta Promogap a Ginevra ha pertanto sviluppato un apparecchio per la determinazione delle caratteristiche ottiche e trasmissive delle fibre ottiche monomodali. Con questo apparecchio possono essere misurati l'attenuazione spettrale, la lunghezza d'onda critica e il diametro del campo modale quale funzione della lunghezza d'onda. I metodi di misura rispondono alle norme CCITT. La misurazione è in larga parte automatica. L'apparecchio di misura è particolarmente adatto al controllo, presso il fabbricante, della qualità di produzione delle fibre ottiche monomodali e dei cavi. All'utilizzatore può così essere garantita una qualità ottimale del prodotto.*

1 Einleitung

Für den Hersteller und Anwender von Monomode-Glasfaserkabeln ist die Kenntnis der wichtigsten Parameter von grosser Bedeutung. Für die schweizerischen PTT-Betriebe sind die optischen Übertragungseigenschaften für Planung, Installation und Qualitätssicherung der Fernnetzanlagen unerlässliche Spezifikationen. Zu diesem Zweck wurde in Zusammenarbeit zwischen PTT und *Promogap* in Genf ein Gerät entwickelt, das die wichtigsten optischen Parameter von Monomode-Glasfasern bestimmen kann.

2 Allgemeines zur Monomode-Glasfaser

21 Lichtführung

Man spricht von einer Monomode-Glasfaser, wenn sich im Faserkern nur ein einziger Mode ausbreiten kann.

Die Lichtverteilung im Querschnitt der Glasfaser ist ein kreisrunder, um den Faserkern konzentrischer Lichtfleck *(Fig. 1)*.

Die *Figur 2* zeigt im Falle eines einfachen Brechzahlprofils für den Faserkern die radiale Intensitätsverteilung des geführten Lichtes. In guter Näherung kann die In-

[1] J.-P. Pellaux ist Mitarbeiter bei Promogap und in der Gruppe der angewandten Physik an der Universität Genf

1 Introduction

La connaissance des paramètres les plus importants des câbles à fibres optiques monomodes revêt une importance particulière pour les fabricants et les utilisateurs de ces câbles. Pour l'Entreprise des PTT suisses, les propriétés de transmission optique des fibres constituent des spécifications indispensables, tant pour la planification que l'installation et la garantie de la qualité des réseaux interurbains. C'est pourquoi un appareil de mesure permettant de définir les paramètres optiques les plus importants des fibres de verre monomodes a été développé. Il est le fruit de la collaboration entre les PTT et *Promogap*.

2 Généralités sur les fibres monomodes

21 Guidage de la lumière

On parle de fibre monomode lorsque la propagation de la lumière n'y est possible que par un seul mode confiné dans la région du cœur de la fibre.

La distribution lumineuse dans une section de la fibre est une tache de lumière circulaire dont l'intensité est maximale au centre *(fig. 1)*.

[1] J.-P. Pellaux est collaborateur de Promogap et du groupe de la physique appliquée de l'Université de Genève

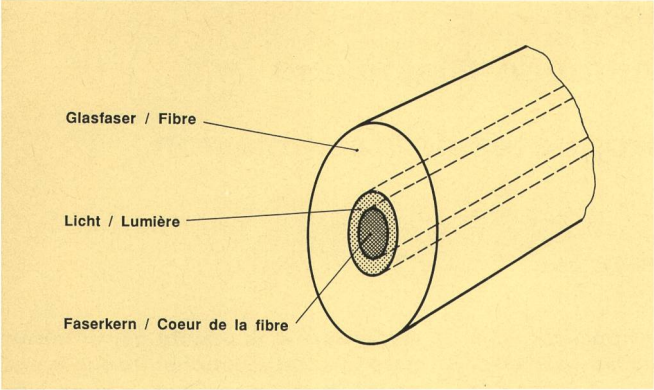

Fig. 1
Ausbreitungseigenschaft in einer Monomode-Glasfaser: Die Lichtverteilung erzeugt einen kreisförmigen, um den Faserkern konzentrischen Lichtfleck – Propagation de la lumière dans une fibre monomode: La distribution de la lumière produit une tache circulaire concentrique au cœur de la fibre

tensitätsverteilung durch eine Gauss-Kurve mathematisch dargestellt werden:

$$I(r) = I_o \exp(-2\, r^2/w^2_o)$$

wobei I(r) die Intensität in Funktion des Radius r, I_o die Zentrumintensität und w_o der Modenfeldradius sind.

Die *Figur 3* zeigt verschiedene Brechzahlprofile. Die Profilform im Mantelbereich kann von einer Faserart zur anderen verschieden sein, z. B. ist die Glasfaser mit einem Stufenindexprofil speziell für das zweite optische Übertragungsfenster (λ um 1,3 μm) und eine Glasfaser mit segmentiertem Profil für das zweite und dritte optische Fenster (λ um 1,3 und 1,55 μm) optimiert.

Am Glasfaserausgang verhält sich die austretende Strahlung wie ein Lichtstrahl, der von einem Laser emittiert wird. Im besonderen ist die numerische Apertur NA durch die natürliche Beugung der Strahlen am Glasfaserausgang gegeben. Sie ist durch die folgende Beziehung mathematisch darstellbar:

$$NA = \sin \Theta = \lambda/\pi\, w_o$$

wobei θ der halbe Öffnungswinkel, λ die Wellenlänge und w_o der Modenfeldradius nach *Figur 4* sind. Typische

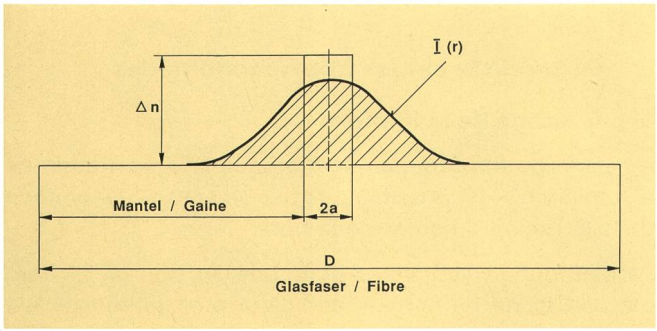

Fig. 2
Die Geometrie einer Monomode-Glasfaser: Die schraffierte Zone entspricht der radialen Lichtverteilung I(r) – Géometrie d'une fibre monomode: La zone hachurée correspondant à la distribution radiale de la lumière I(r)

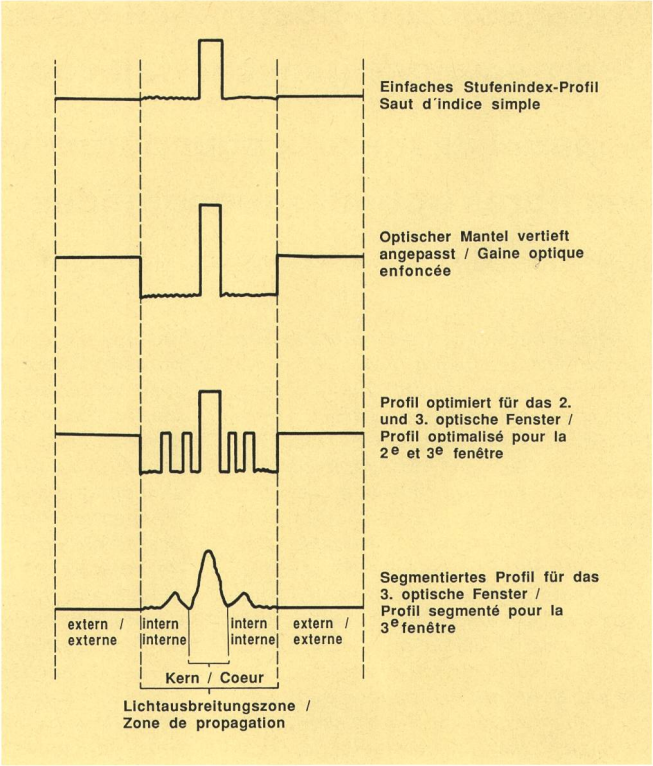

Fig. 3
Beispiele für unterschiedliche Formen des Brechzahlprofils – Exemples de différents profils d'indice de réfraction

La *figure 2* montre la distribution radiale de l'intensité lumineuse conduite dans le cas d'un simple profil d'indice du cœur. On peut obtenir une bonne approximation de la répartition lumineuse avec une courbe de Gauss:

$$I(r) = I_o \exp(-2\, r^2/w^2_o)$$

où I(r) est l'intensité en fonction du rayon r, I_o l'intensité au centre, et w_o le rayon du champ modal.

La *figure 3* montre différents profils d'indice de réfraction. La forme du profil dans la zone de la gaine peut différer d'un type de fibre à l'autre; ainsi une fibre avec un profil à saut d'indice est spécialement utilisée dans la seconde fenêtre de transmission ($\lambda \approx 1{,}3$ μm), alors que la fibre avec un profil segmenté est optimalisée pour la seconde et la troisième fenêtre ($\lambda \approx 1{,}3$ et 1,55 μm).

A la sortie de la fibre, la lumière se comporte comme le faisceau lumineux gaussien émis par un laser. En particulier, l'ouverture numérique NA de la fibre est donnée par la diffraction naturelle du faisceau de lumière à la sortie de la fibre, elle peut s'exprimer au moyen de la relation ci-après:

$$NA = \sin \Theta = \lambda/\pi\, w_o$$

où θ est l'angle d'ouverture de la fibre, λ la longueur d'onde de la lumière et w_o le rayon du champ modal défini comme dans la *figure 4*. Les ouvertures numériques typiques de fibres monomodes sont de l'ordre NA = 0,1. Cette valeur dépend de la dimension du mode et de la longueur d'onde.

numerische Aperturen für Monomode-Glasfasern sind NA = 0,1. Dieser Wert hängt von der Wellenlänge und vom Modenfeldradius ab.

Bei der Einkopplung von Strahlung in die Glasfaser gelten die gleichen Eigenschaften. Den besten Wirkungsgrad erreicht man mit Laserquellen, d. h. mit Quellen kleiner Strahlungsdichte (Strahlungsdichte = strahlende Oberfläche der Quelle × Raumwinkel der Abstrahlung).

22 Vergleich der Monomode- mit der Multimode-Glasfaser

Wird der Kerndurchmesser einer Monomode-Glasfaser bei gleichbleibender Wellenlänge der Strahlung vergrössert, so wird sich von einem gewissen Kerndurchmesser an ein zweiter Mode im Faserkern ausbreiten. Die Glasfaser wird zur Multimode-Glasfaser. Als Beispiel für Strahlung der Wellenlänge 1,3 µm und für eine Brechzahldifferenz von 0,01 wird der limitierende Kerndurchmesser 7,5 µm. Für kleinere Kerndurchmesser wird nur der Grundmode, für grössere Kerndurchmesser werden mindestens zwei Moden in der Glasfaser geführt. Die *Figur 5* zeigt die Lichtverteilung der Moden zu diesem Beispiel.

Bei einer typischen Multimode-Glasfaser sind der Kerndurchmesser 50 µm und die Brechzahldifferenz 0,02. Die Anzahl der geführten Moden ist einige Hundert, je nach der Art des Brechzahlprofils.

Werden die geometrischen und optischen Parameter des Kerns vergrössert, so wird die Lichteinkopplung zwischen den Glasfasern vereinfacht, und es können Lichtquellen (LED-Quellen) mit einer grossen Strahlungsdichte verwendet werden.

Die Übertragungsqualität wird aber durch die Vielzahl der Moden herabgesetzt. Im besonderen wird durch die modale Verzerrung die Bandbreite der Glasfaser begrenzt, und die Erhöhung der Dopanden-Konzentration im Faserkern verursacht eine zusätzliche Dämpfung durch Streulicht.

Die *Tabelle I* macht einen Vergleich zwischen Mono- und Multimode-Glasfasern, die in der optischen Übertragung eingesetzt werden.

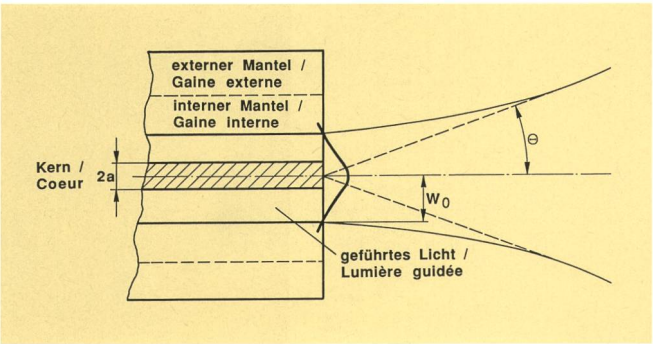

Fig. 4
Die numerische Apertur sinθ hängt vom Modenfeldradius w_0 und der Übertragungswellenlänge λ ab – L'ouverture sinθ dépend du rayon du champ modal w_0 et de la longueur d'onde λ transmise

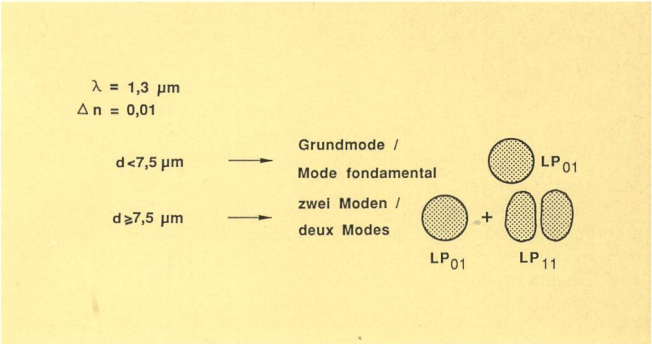

Fig. 5
Intensitätsverteilung der ersten zwei Ausbreitungsmoden LP_{01} und LP_{11}. Für eine Brechzahldifferenz Δ n = 0,01 und die Wellenlänge λ = 1,3 µm mit einem Kerndurchmesser d < 7,5 µm existiert als einziger ausbreitungsfähiger Mode nur der Grundmodus P_{01} – Distribution d'intensité des deux premiers modes de propagation LP_{01} et LP_{11}. Pour une différence d'indice de réfraction de Δ n = 0,01 et de longueur d'onde λ = 1,3 m avec un diamètre de cœur de d < 7,5 µm le seul mode qui se propage est le mode fondamental LP_{01}

Cette propriété est également applicable à l'injection de la lumière dans la fibre: La meilleure efficacité d'injection de lumière est donc obtenue en utilisant des sources laser, c'est-à-dire des sources à faible radiance (radiance = angle solide d'émission × surface de la source).

22 Comparaison des fibres monomodes avec les fibres multimodes

Augmenter les dimensions du cœur engendre, à partir d'un certain diamètre, l'opportunité pour la lumière de se propager par un second mode. La fibre est devenue multimode. Par exemple pour de la lumière de longueur d'onde 1,3 µm et pour une différence d'indice de réfraction de 0,01, le diamètre limite du cœur est de 7,5 µm; la fibre ne conduit que le mode fondamental pour un diamètre inférieur et au moins deux modes pour un diamètre supérieur. La *figure 5* montre un exemple de répartition lumineuse de chaque mode.

Le diamètre du cœur des fibres multimodes typiques est de 50 µm et la valeur de la différence d'indice de 0,02; selon le type de profil d'indice, le nombre des modes conduits est de plusieurs centaines.

Le fait d'augmenter les paramètres géométrique et optique du cœur facilite le couplage de la lumière entre fibres et permet d'utiliser des sources lumineuses à haute radiance (source LED).

La qualité de la propagation s'en trouve largement dégradée. Particulièrement: les effets de distorsion modale limitent la largeur de bande passante et l'augmentation de la concentration de dopant dans le cœur provoque une atténuation supplémentaire par diffusion de la lumière.

Le *tableau I* donne une comparaison entre les fibres monomodes et les fibres multimodes utilisées dans les télécommunications optiques.

Tabelle I

Parameter	Typische Werte	
	Multimode (1,3 µm)	Monomode (1,3 µm)
Manteldurchmesser Kerndurchmesser Lichtfleckdurchmesser	125 µm 50 µm 50 µm	125 µm 7– 8 µm 8–10 µm
mumerische Apertur Brechzahlprofil	0,2 graduell	0,1 stufig
Dämpfung (1,3 µm)	<0,8 dB/km	<0,5 dB/km
Bandbreiten-begrenzung durch Bandbreitenwerte	modale Verzerrung <2 GHz·km	chromatische Dispersion <20 GHz·km

Tableau I

Paramètres	Valeurs typiques	
	Multimodes (1,3 µm)	Monomodes (1,3 µm)
Diamètre de la gaine Diamètre du cœur Diamètre de la zone lumineuse	125 µm 50 µm 50 µm	125 µm 7– 8 µm 8–10 µm
Ouverture numérique Profil d'indice	0,2 gradient d'indice	0,1 saut d'indice
Atténuation (1,3 µm)	<0,8 dB/km	<0,5 dB/km
Limitation de largeur de bande passante Valeur de bande passante	Distorsion modale <2 GHz·km	Dispersion chromatique <20 GHz·km

3 Charakterisierung der Monomode-Glasfaser

31 Die Ausbreitung des geführten Lichtes

311 Die Geometrie des Grundmodes

Die Lichtverteilung im Grundmode hängt von den Werten der Brechzahldifferenz im Glasfaserkern ab. Ein erhöhter Wert entspricht einer besseren Führung des Lichtes im Glasfaserkern, also einer grösseren Eingrenzung des Lichtes in der dotierten Zone *(Fig. 6)*. Unterschiedliche Kerndurchmesser und Brechzahldifferenzen können gleich grosse Modenfelddurchmesser ergeben *(Fig. 7)*.

Die Charakterisierung des Lichtflecks, d. h. die Messung seines Durchmessers, seiner Form und seiner Konzentrizität bezüglich dessen Manteldurchmesser, wird allgemein als Geometriemessung einer Monomode-Glasfaser bezeichnet.

312 Die Abhängigkeit von der Wellenlänge

Bei zunehmender Wellenlänge des geführten Lichtes wird der Modenfeldradius grösser *(Fig. 8)*. Für Brechzahlprofile, die annähernd einem Stufenindex entspre-

3 Caractéristiques des fibres monomodes

31 Répartition de la lumière guidée

311 Géométrie du mode fondamental

La distribution de la lumière dans le mode fondamental dépend des valeurs de la différence d'indice de réfraction dans le cœur. A une valeur élevée d'indice correspond un meilleur guidage donc un plus grand confinement de la lumière dans le cœur *(fig. 6)* et on peut construire différents cœurs pour générer le même mode (dimensions), comme présenté sur la *figure 7*.

La caractérisation de la tache lumineuse, c'est-à-dire la mesure de son diamètre, de sa forme, de sa concentricité par rapport au diamètre de la gaine constitue la véritable mesure de la géométrie de la fibre monomode.

312 Dépendance en longueur d'onde

Lorsque la longueur d'onde de la lumière guidée est plus élevée, le rayon du champ modal augmente *(fig. 8)*. Pour des profils d'indice de réfraction proches du saut d'indice, il existe un domaine de longueur d'onde où la ré-

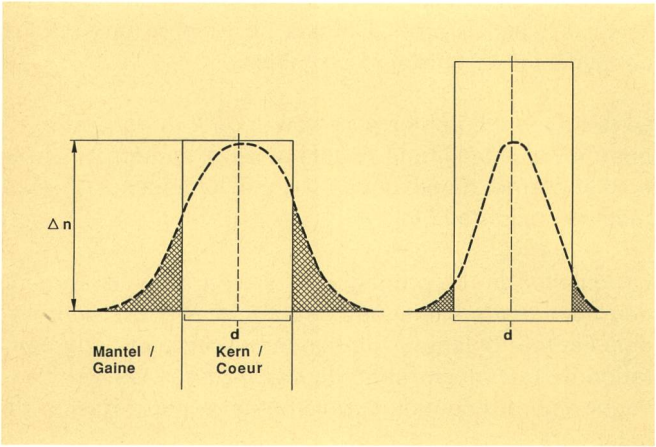

Fig. 6
Wenn die Brechzahldifferenz Δ n erhöht wird, vermindert sich der Anteil des Lichtes, das sich im Fasermantel ausbreitet – Lorsque la différence d'indice de réfraction Δ n augmente, la partie de lumière se propageant dans la gaine diminue

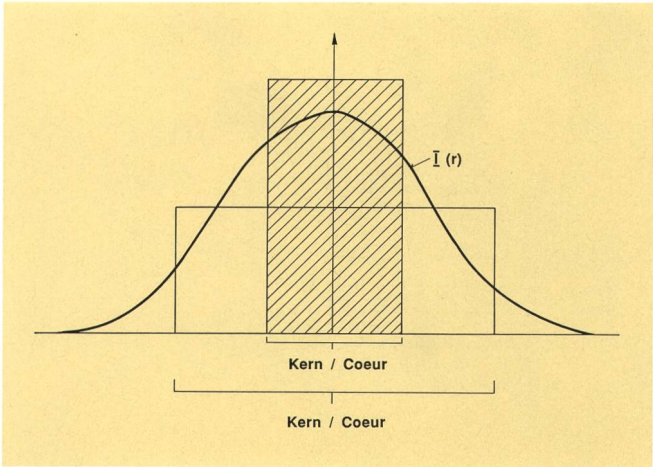

Fig. 7
Verschiedene Formen von Brechzahlprofilen können die gleiche radiale Lichtausbreitung erzeugen – Différents profils d'indice de réfraction peuvent donner la même distribution radiale de la lumière

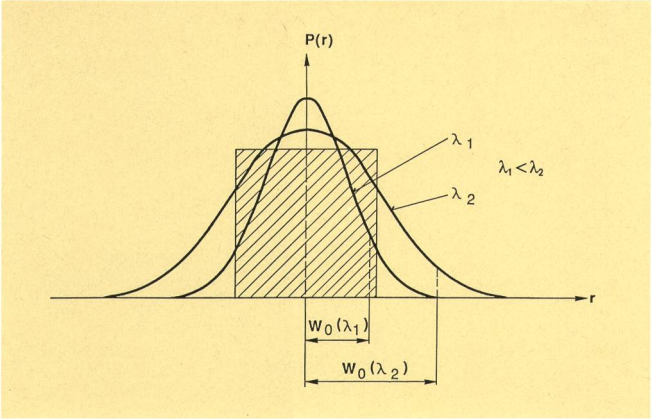

Fig. 8
Bei zunehmender Wellenlänge λ wird der Modenfeldradius w_0 grösser – Lorsque la longueur d'onde λ augmente le rayon du champ modal w_0 augmente

chen, existiert ein Wellenlängenbereich, wo die Lichtverteilung durch eine Gauss-Kurve mathematisch beschrieben werden kann (siehe 21). Die Gausssche Näherung ist nicht gültig, wenn die Wellenlänge des geführten Lichtes sich der Wellenlänge nähert, bei der die Glasfaser zwei Moden führt.

313 Die Grenzwellenlänge

Die Grenzwellenlänge λ_c entspricht jener Wellenlänge, von der an der LP_{11}-Mode nicht mehr geführt wird. *Figur 9* zeigt den Modenfeldradius als Funktion der Wellenlänge. Für $\lambda < \lambda_c$ werden die zwei Moden LP_{01} und LP_{11} geführt, für $\lambda > \lambda_c$ wird nur der Grundmode LP_{01} geführt.

Die Kenntnis des Wertes der Grenzwellenlänge ist wichtig, weil sie die Ausbreitungsgrenzen im Monomode-Bereich festlegt. Für Glasfasern, deren Kern ein einfaches Stufenindexprofil ist, kann die Grenzwellenlänge mit folgender Beziehung berechnet werden:

$$\lambda_c = \pi\, d\, (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}/2{,}405$$

wobei die Parameter in *Figur 10* dargestellt sind. Beispiel: Wenn der Kerndurchmesser d = 8 µm und die Brechzahldifferenz $n_1 - n_2 = 0{,}005$ sind, so wird die Grenzwellenlänge $\lambda_c = 1{,}26$ µm.

32 Dämpfung

Die Gründe der Dämpfung des Lichtes in der monomodalen Fortpflanzung sind hauptsächlich durch die Glasqualität (Streuung und Absorption des Lichtes in der Materie) und durch den Wellenleitereffekt (Mikrokrümmungen) gegeben.

321 Auswirkung der Materialqualität auf die Dämpfung

Die Gründe der Dämpfungsverluste sind praktisch die gleichen, wie sie bei den Multimodefasern beobachtbar

partition lumineuse peut être décrite par une courbe de Gauss (voir 21). L'approximation gaussienne n'est valable que lorsque la longueur d'onde de la lumière guidée est proche de la longueur d'onde à partir de laquelle la fibre ne conduit qu'un seul mode.

313 Longueur d'onde de coupure

La longueur d'onde de coupure λ_c correspond à la longueur d'onde à partir de laquelle le mode LP_{11} n'est plus conduit. La *figure 9* montre le rayon du champ modal en fonction de la longueur d'onde. Pour $\lambda < \lambda_c$ les deux modes LP_{01} et LP_{11} sont conduits, pour $\lambda > \lambda_c$ seul le mode fondamental LP_{01} est conduit.

La connaissance de la valeur de la longueur d'onde de coupure est importante puisqu'elle fixe la limite du guidage en régime monomode. Pour des fibres dont le cœur est un simple profil à saut d'indice, la longueur d'onde de coupure peut être calculée par la relation.

$$\lambda_c = \pi\, d\, (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}/2{,}405$$

où les paramètres sont présentés sur la *figure 10*. Par exemple si d = 8 µm et $n_1 - n_2 = 0{,}005$, la longueur d'onde de coupure est $\lambda_c = 1{,}26$ µm.

32 Affaiblissement

Les causes de l'affaiblissement de la lumière dans la propagation monomode sont principalement données par des effets liés aux qualités du verre (diffusion et absorption dans les matériaux) et par des effets liés au guidage de la lumière (effets des microcourbures).

321 Effet de la qualité du matériel sur l'affaiblissement

Les causes de pertes sont pratiquement les mêmes que celles observées dans les fibres multimodes. On retrouve sur la *figure 11* les pics d'absorption liés à la présence des liaisons moléculaires Si-OH ainsi que le comportement des effets de la diffusion de la lumière. No-

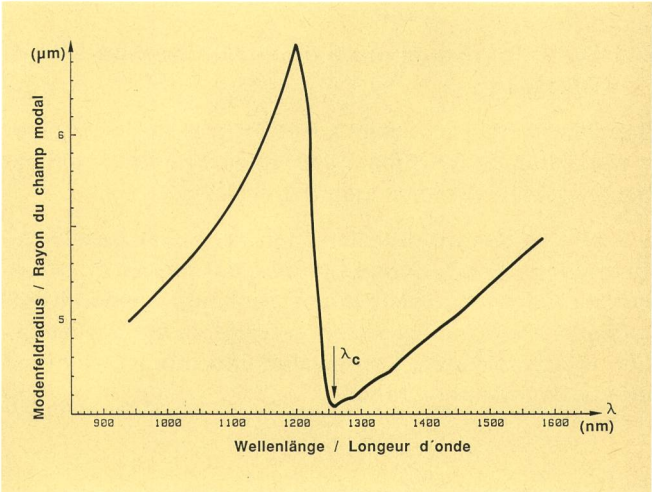

Fig. 9
Modenfeldradius als Funktion der Wellenlänge w_0 (λ) – Rayon du champ modal reporté en fonction de la longueur d'onde w_0 (λ)

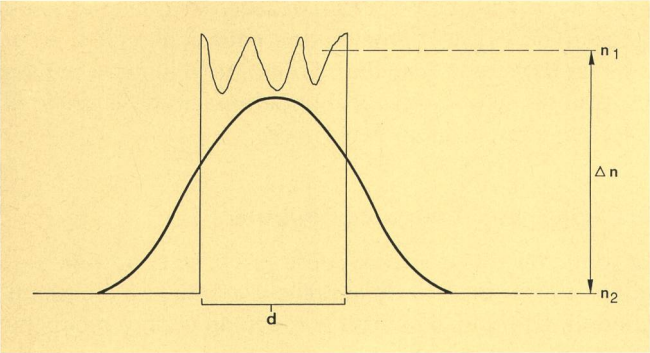

Fig. 10
Die Parameter zur Berechnung der Grenzwellenlänge λ_o – Paramètres pour le calcul de la longueur d'onde de coupure λ_o

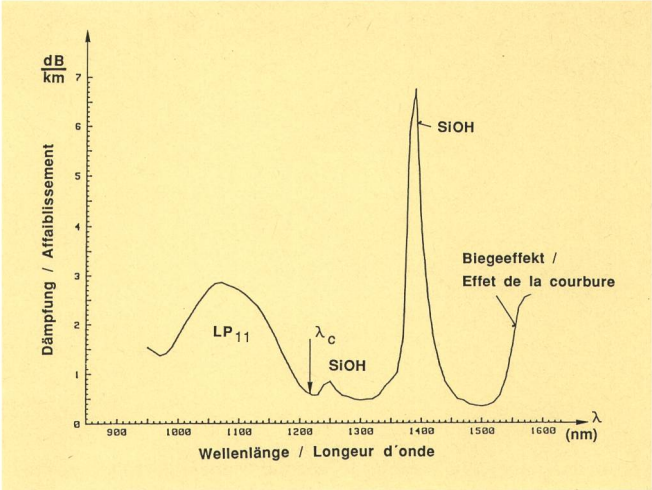

Fig. 11
Erläuterung zur spektralen Dämpfungskurve – Interprétation de la courbe d'affaiblissement spectral

sind. Man findet in *Figur 11* wiederum die Absorptionslinien, hervorgerufen durch die molekularen Si-OH-Bindungen sowie den Beitrag der Lichtstreuung. Dadurch, dass sich das Licht sowohl im Faserkern wie im Mantelbereich ausbreitet, ergeben sich eine Vielfalt von Gründen der Materialdämpfung.

322 Auswirkung des Wellenleiters auf die Dämpfung

Es handelt sich hier um einen Verlustmechanismus, welcher durch das Krümmen der Glasfaser und das Auftreten von Mikrokrümmungen in Erscheinung tritt. Diese Verluste hängen stark vom Modenfelddurchmesser ab, da eine Ausweitung des Modenfeldes eine weniger starke Modenführung zur Folge hat.

Man beobachtet jedoch diese Art der Verluste vor allem bei grösseren Wellenlängen (1,5...1,7 µm), wo sie stark vom Zustand der Glasfaserkrümmung abhängen. Die gleiche Art Verluste, in diesem Fall aber unabhängig von der Glasfaserkrümmung, tritt bei Glasfasern mit nicht angepassten Brechzahlprofilen auf. Diese Verluste beweisen die Tatsache, dass das Modenfeld des Grundmodes in Funktion der Wellenlänge grösser und grösser wird und sich mit den Leckmoden mehr und mehr koppelt. Im Mantel wird dann der geführte Mode – einfach gesagt – zum Verlustmode *(Fig. 12)*.

323 Die Dämpfungskurve einer Monomode-Glasfaser

Die Dämpfungskurve zeigt zusätzlich zur Absorption der molekularen Si-OH-Bindungen einen Krümmungseffekt bei grösseren Wellenlängen (Fig. 11).

Im Bereich der Grenzwellenlänge wird eine zusätzliche Dämpfung des LP_{11}-Mode sichtbar, der dessen Empfindlichkeit auf mechanische Beanspruchung, wie durch einfaches Aufwickeln der Faser, aufzeigt. In der Tat ist das LP_{11}-Modenfeld stark ausgeweitet und koppelt leicht mit den Leckmoden im Mantel.

33 Chromatische Dispersion

Die Dispersion des Lichtes begrenzt die Bandbreite der Übertragung durch Verbreiten der Lichtimpulse. Die

tons toutefois que la lumière se propage à la fois dans la gaine optique et dans le cœur, impliquant une diversité des causes de l'affaiblissement des matériaux.

322 Effet du guidage sur l'affaiblissement

Il s'agit de mécanismes de pertes qui apparaissent lorsque la fibre est soumise à des courbures et à des microcourbures. Ces pertes dépendent fortement du diamètre du champ modal car son étalement est une conséquence d'un guidage plus ou moins prononcé.

Ce type de pertes est donc observé pour des longueurs d'ondes plus élevées (1,5 µm...1,7 µm) et il dépend largement de l'état de courbure de la fibre. Le même type de pertes, indépendant des courbures de la fibre pour ce cas, apparaît dans des fibres avec un profil à gaine optique enfoncée. Ces pertes proviennent du fait que le mode fondamental de plus en plus grand en fonction de la longueur d'onde se couple peu à peu aux modes de fuite. Le mode guidé proprement dit devient alors un mode à pertes *(fig. 12)*.

323 Courbe d'affaiblissement d'une fibre monomode

La courbe d'affaiblissement présente, en plus de l'absorption des liaisons moléculaires Si-OH, un effet de la courbure à plus haute longueur d'onde (fig. 11).

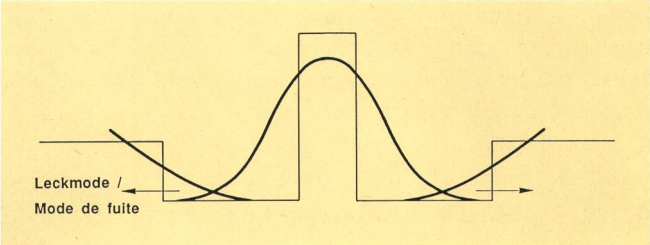

Fig. 12
Glasfaser mit nichtangepasstem Brechzahlprofil – Fibre avec un profil à gaine enfoncée

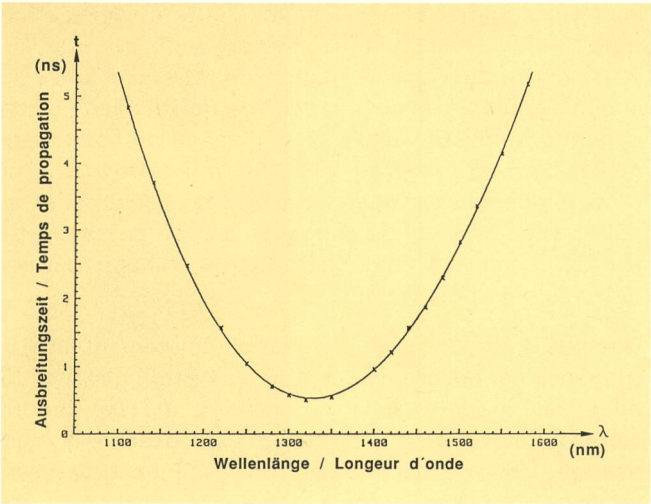

Fig. 13
Ausbreitungszeit des Grundmodus als Funktion der Wellenlänge – Temps de propagation du mode fondamental en fonction de la longueur d'onde

Lichtquellen sind nicht vollkommen monochromatisch, und die unterschiedlichen Wellenlängen, die den Lichtimpuls zusammensetzen, werden mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten übertragen und verursachen auch einen Dispersionseffekt: Die sogenannte chromatische Dispersion. Wie in *Figur 13* gezeigt, ist für jede Wellenlänge die Ausbreitungszeit des Lichtes in der Glasfaser verschieden. Die Gründe dafür sind einerseits die Abhängigkeit der Brechzahl von der Wellenlänge (Materialdispersion) und anderseits, dass die Ausbreitungskonstante des Lichtes ebenfalls von der Wellenlänge abhängt (Wellenleiterdispersion). Es ist noch zu bemerken, dass die Ausbreitungskonstante auch mit der Lichtverteilung zwischen Faserkern und Mantel im Zusammenhang steht. *Figur 14* zeigt die Kurve der chromatischen Dispersion als Funktion der Wellenlänge, wie sie aus der Kurve in Figur 13 hergeleitet wurde.

Durch Ändern des Brechzahlprofils kann man die Wellenleiter- und die Materialdispersion korrigieren. Es ist daher möglich, den Bereich, in dem die Dispersion Null ist, vom 1,3-µm-Fenster gegen das 1,55-µm-Fenster zu verschieben. Es handelt sich dabei um ein Profil, wie es in Figur 3 gezeigt wird.

34 Polarisation

Der Grundmode LP_{01} besteht in Wirklichkeit aus zwei Moden, deren Modenfelder zueinander senkrecht stehen. Unter der Annahme, dass Kern und Mantel der Glasfaser vollkommen rund sind und die Kreissymmetrie der Brechzahlverteilung ebenfalls gewährleistet ist, breiten sich die beiden Moden mit gleicher Geschwindigkeit aus. Aufgrund äusserer mechanischer Einflüsse oder infolge einer Asymmetrie im Brechzahlprofil (Kern und Mantel oval) breiten sich die Moden mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aus. Die Glasfaser wird dadurch doppelbrechend, und es entsteht eine Polarisationsdispersion.

Eine Methode, die Doppelbrechung vollständig aufzuheben, ist, ein Brechzahlprofil so zu konstruieren, dass nur

Dans la zone de la longueur d'onde de coupure λ_c apparaît une atténuation supplémentaire due à la sensibilité du mode LP_{11} aux contraintes mécaniques, telles que le simple bobinage de la fibre, par exemple. En effet le champ modal LP_{11} très étalé se couple facilement aux modes de fuite dans la gaine.

33 Dispersion chromatique

La dispersion de la lumière limite la largeur de la bande passante de transmission en élargissant les impulsions lumineuses.

Les sources lumineuses ne sont pas parfaitement monochromatiques et les différentes longueurs d'onde qui composent l'impulsion de lumière se déplacent à des vitesses différentes, provoquant une dispersion, appelée dispersion chromatique. Comme le montre la *figure 13*, pour chaque longueur d'onde le temps de propagation dans la fibre est différent. La cause de ce phénomène est due au fait que l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde (dispersion du matériel), et que la constante de propagation de la lumière dépend également de la longueur d'onde (dispersion de guidage). Notons que la constante de propagation est liée à la proportion de lumière qui se propage dans le cœur et la gaine optique. La *figure 14* donne la courbe de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde, c'est une courbe réduite de celle présentée à la figure 13.

Il est possible, en modifiant le profil d'indice du cœur, de modifier la dispersion de guidage et de corriger ainsi la dispersion du matériel. On peut alors déplacer la zone à dispersion nulle de la fenêtre à 1,3 µm vers la fenêtre à 1,55 µm. On a alors affaire à un profil, tel qu'il est représenté à la figure 3.

34 Polarisation

En réalité, le mode fondamental LP_{01} est une somme de deux modes polarisés perpendiculairement l'un à

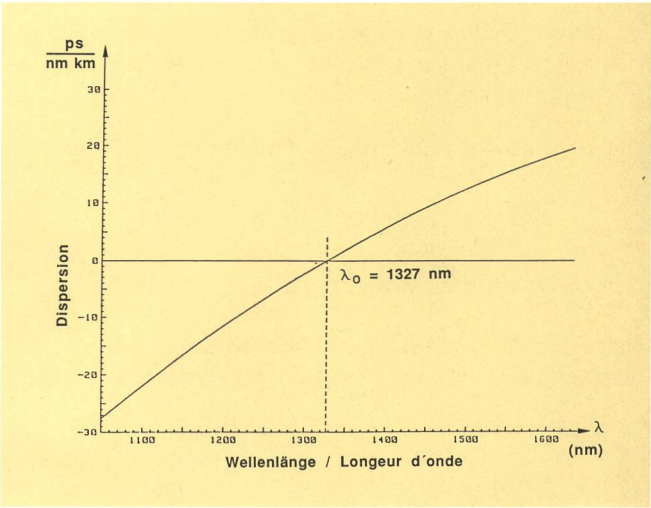

Fig. 14
Chromatische Dispersion berechnet aus den Ausbreitungszeiten nach Figur 13 – Dispersion chromatique calculée à partir des temps de propagation présentés à la figure 13

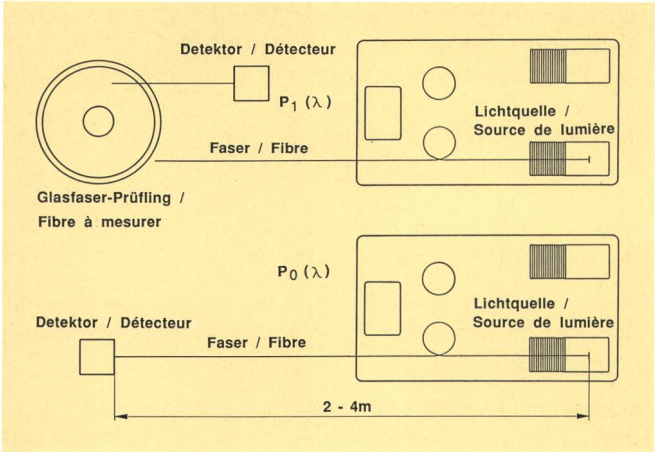

Fig. 15
Messplatzanordnung zum Bestimmen der spektralen Dämpfungskurve mit der Rückschneidemethode – Dispositif de mesure pour déterminer la courbe d'affaiblissement spectral par la méthode de la fibre coupée

noch ein Mode geführt wird. Die Glasfaser ist nun echt monomodal und polarisationserhaltend. Dieser Glasfasertyp ist für Systeme mit kohärenter optischer Detektion vorgesehen, das für sehr lange Glasfaserkabel (Unterseesysteme) Verwendung findet.

4 Messmethoden und Resultate

41 Bestimmen der Dämpfung

Die Dämpfung wird an einer Glasfaser von ein bis mehreren Kilometern gemessen. Dabei wird die Rückschneidemethode angewandt. *Figur 15* zeigt die Anordnung während der Messung. In einem ersten Schritt wird die optische Leistung P_1 in Funktion der Wellenlänge λ am Glasfaserprüfling gemessen. Anschliessend wird eine Referenzmessung vorgenommen. Bei dieser wird die optische Leistung P_o in Funktion der Wellenlänge λ der Weisslichtquelle mit einem kurzen Glasfaserstück von 2 m...4 m gemessen und so das spektrale Verhalten der Lichtquelle definiert. Das Glasfaserstück wird auf der Lichtquellenseite von der Fabrikationslänge zurückgeschnitten. Dabei ist es wichtig, die Lichteinkopplung in das kurze Glasfaserstück bei der Lichtquelle unverändert zu belassen.

Die kilometrische Dämpfung α kann mit der Formel

$$\alpha(\lambda) = -10 \log [P_1(\lambda)/P_o(\lambda)]/L \quad [\text{dB/km}]$$

berechnet werden, wobei L die Messfaserlänge ist.

Die *Figur 16* zeigt ein typisches Messresultat der kilometrischen Dämpfung in Abhängigkeit der Wellenlänge.

42 Bestimmen des Modenfelddurchmessers

Der Modenfelddurchmesser wird an einer etwa 2 m langen Faser gemessen. Es wird die transversale Verschiebemethode angewandt. *Figur 17* zeigt die Messplatzan-

l'autre. En admettant que le cœur et le cladding de la fibre soient parfaitement circulaires, que la symétrie circulaire de la distribution d'indice de réfraction soit également assurée, ces deux modes de polarisation se propagent à la même vitesse. Sous l'action de contraintes mécaniques externes ou à la suite d'une asymétrie du profil d'indice (cœur ou gaine ovale) les deux modes de polarisation peuvent se progager à des vitesses différentes. La fibre est alors biréfringente et il apparaît une dispersion de polarisation.

Une des méthodes pour éliminer complètement la biréfringence est encore de construire un profil d'indice, tel qu'un seul mode de polarisation soit guidé. La fibre est alors véritablement monomode et elle conserve la polarisation. Ce type de fibre est envisagé dans des systèmes à détection optique cohérente applicables sur des liaisons à très grande distance (système sous-marin).

4 Méthodes de mesure et résultats

41 Détermination de l'affaiblissement

L'affaiblissement est mesuré sur une longueur de fabrication de plusieurs kilomètres. La méthode de «la coupure à quatre mètres» est alors appliquée. La *figure 15* représente la disposition de la place de mesure. Dans un premier temps la puissance optique P_1 est mesurée en fonction de la longueur d'onde λ sur la longueur de fabrication. Une mesure de référence P_o est ensuite effectuée sur une longueur de deux à quatre mètres. Ce tronçon de fibre est coupé sur l'extrémité du côté de la source lumineuse. Il est important que le couplage de la lumière avec la source lumineuse reste inchangé.

L'affaiblissement kilométrique α peut être calculé au moyen de la formule suivante:

$$\alpha(\lambda) = -10 \log [P_1(\lambda)/P_o(\lambda)]/L \quad [\text{dB/km}]$$

où L donne la longueur mesurée en kilomètres.

La *figure 16* montre un résultat typique de mesure de l'affaiblissement en fonction de la longueur d'onde.

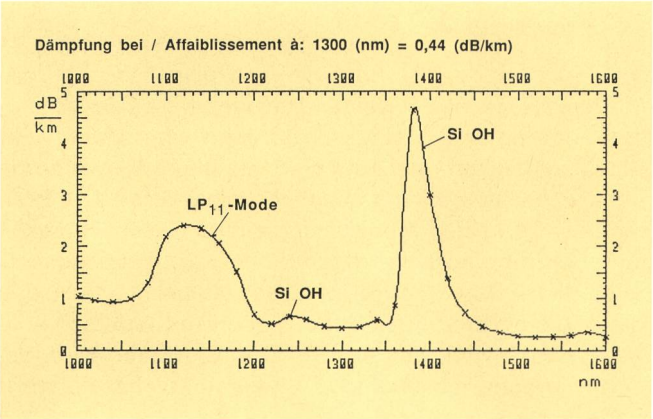

Fig. 16
Messresultat der spektralen Dämpfung – Résultat d'une mesure de l'affaiblissement spectral

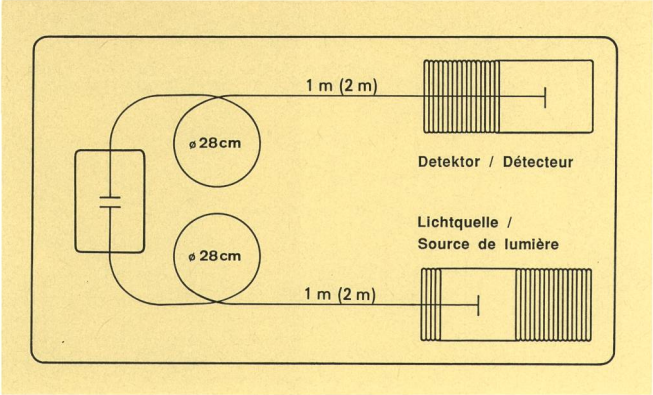

Fig. 17
Messplatzanordnung zum Bestimmen des Modenfelddurchmessers mit der transversalen Verschiebemethode – Dispositif de mesure pour déterminer le diamètre du champ modal par la méthode du déplacement transversal

ordnung. Zuerst wird das Glasfaserstück zwischen Lichtquelle und Detektor gebracht, dann in zwei gleiche Längen geschnitten. Als erstes wird die Lichteinkopplung zwischen den Faserenden optimiert. Danach wird eine der Fasern transversal gegenüber der anderen verschoben. Während dieser Verschiebung wird die Intensität in Abhängigkeit des Ortes gemessen.

Figur 18 zeigt ein typisches Messresultat der transmittierten Lichtleistung in Abhängigkeit der transversalen Verschiebung. Bei der Verschiebemethode entspricht die transmittierte Lichtleistungsverteilung als Funktion der Verschiebung X:

$$P(X) = P_o \exp\left[-X^2/w^2_o\right]$$

Der Modenfelddurchmesser ist dann die Distanz zwischen den Punkten AB (Fig. 18), bei der die transmittierte Leistung P zu der maximalen Leistung P_o um 1/e abgesunken ist.

43 Bestimmen der Grenzwellenlänge

Mit dem vorliegenden Messgerät kann die Grenzwellenlänge nach den folgenden Methoden bestimmt werden:

- Transmissionsmethode
- Transversale Verschiebemethode.

431 Transmissionsmethode

Bei dieser Methode werden an einem etwa 2 m langen Glasfaserstück Transmissionsmessungen durchgeführt, einmal mit und einmal ohne Biegezusatzdämpfung. *Figur 19* zeigt die Messplatzanordnung. Da die Grenzwellenlänge für Monomode-Glasfasern, die im zweiten optischen Fenster optimiert sind, im Wellenlängenbereich 1,1 µm...1,3 µm auftritt, werden die Messungen auf diesen Wellenlängenbereich beschränkt. Für die Bestimmung der Grenzwellenlänge wird die relative Dämpfung aus den gemessenen Leistungen $P_1(\lambda)$ und $P_2(\lambda)$ mit der Formel

$$R(\lambda) = -10 \log\left[P_1(\lambda)/P_2(\lambda)\right]$$

42 Détermination du diamètre du champ modal

Le diamètre du champ modal est mesuré sur une fibre d'une longueur d'environ 2 m. La méthode de «déplacement transversal» est appliquée. La *figure 17* représente la disposition de la place de mesure. L'échantillon de fibre d'une longueur de 2 m est introduit entre la source lumineuse et le détecteur. Ce tronçon de fibre est ensuite coupé en deux longueurs égales. Dans un premier temps le couplage de la lumière est optimisé entre les deux extrémités des fibres. Une des fibres est alors déplacée transversalement par rapport à l'autre. L'intensité est mesurée en fonction du déplacement.

La *figure 18* montre un résultat typique de mesure de la puissance lumineuse transmise en fonction du déplacement latéral. Dans la méthode de déplacement, la répartition de la puissance lumineuse transmise en fonction du déplacement X correspond à:

$$P(X) = P_o \exp\left[-X^2/w^2_o\right]$$

Le diamètre du champ modal est défini comme étant la distance entre les points AB (fig. 18), pour laquelle la puissance transmise P est réduite d'un facteur 1/e par rapport à la puissance maximale P_o.

43 Détermination de la longueur d'onde de coupure

Avec les appareils de mesure disponibles, la longueur d'onde de coupure peut être déterminée selon les méthodes suivantes:

- Méthode de transmission
- Méthode de déplacement transversal.

431 Méthode de transmission

Cette méthode est caractérisée par des mesures de transmission effectuées sur un échantillon de fibre d'une longueur d'environ 2 m, avec et sans affaiblissement supplémentaire de courbure. La *figure 19* représente la disposition de la place de mesure. Comme la longueur d'onde de coupure des fibres unimodales optimisées pour la transmission dans la deuxième fenêtre

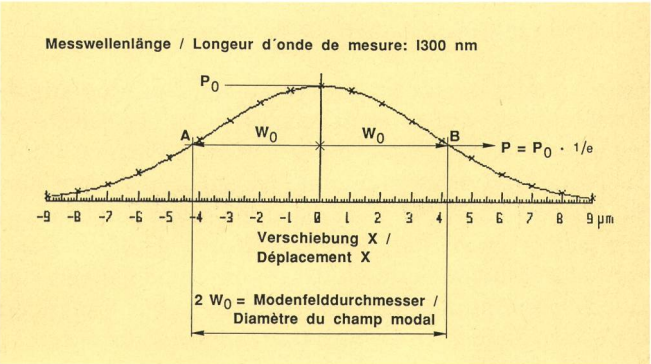

Fig. 18
Messresultat der Modenfeldverteilung bei der Wellenlänge 1300 nm – Résultat d'une mesure de la distribution du champ modal à la longueur d'onde de 1300 nm

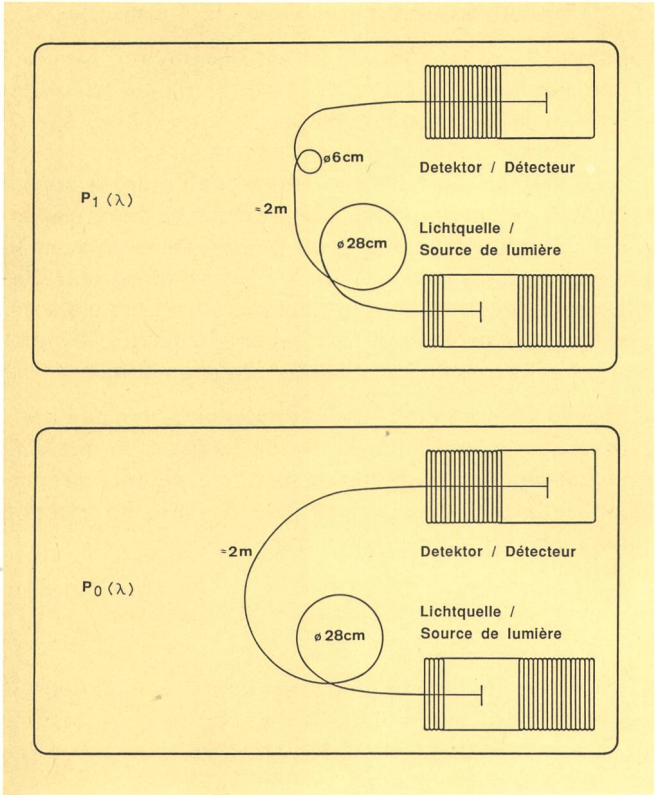

Fig. 19
Messplatzanordnung zum Bestimmen der Grenzwellenlänge mit der Transmissionsmethode – Dispositif de mesure pour déterminer la longueur d'onde de coupure par la méthode de la puissance transmise

berechnet. Die Grenzwellenlänge ist definiert als jene Wellenlänge, bei der die relative Dämpfung 0,1 dB ist. *Figur 20* zeigt einen typischen Verlauf der relativen Dämpfung R(λ).

432 Transversale Verschiebemethode

Durch Bestimmung des Modenfelddurchmessers als Funktion der Wellenlänge lässt sich ebenfalls die Grenzwellenlänge berechnen. Diese Methode zeigt sehr schön den Übergang von der Zweimoden- (w_o gross) auf die Einmoden-Lichtführung (w_o klein). Da die Grenzwellenlänge von der Länge und der äusseren mechanischen Beanspruchung der Glasfaser abhängt, müssen im Unterschied zur Bestimmung des Modenfeldurchmessers bei einer diskreten Wellenlänge auch der Krümmungsradius und die Glasfaserlänge speziell definiert werden.

Figur 17 zeigt die Messplatzanordnung. Der Modenfelddurchmesser wird an einer etwa 4 m langen Glasfaser gemessen. Zuerst wird diese Länge zwischen Lichtquelle und Detektor gebracht. Anschliessend wird dieses Glasfaserstück in zwei gleiche Längen zerschnitten und um je zwei Kreislängen (Ø 28 cm) geführt. Dann wird der Modenfelddurchmesser in Abhängigkeit der Wellenlänge bestimmt. Dabei wird zu seiner Ermittlung die Methode, wie unter 42 erklärt, angewendet. *Figur 21* zeigt ein typisches Beispiel der Änderung des Modenfelddurchmessers mit der Wellenlänge. Die Grenzwellenlänge wird bei diesem Messverfahren durch den Schnittpunkt zweier Geraden berechnet.

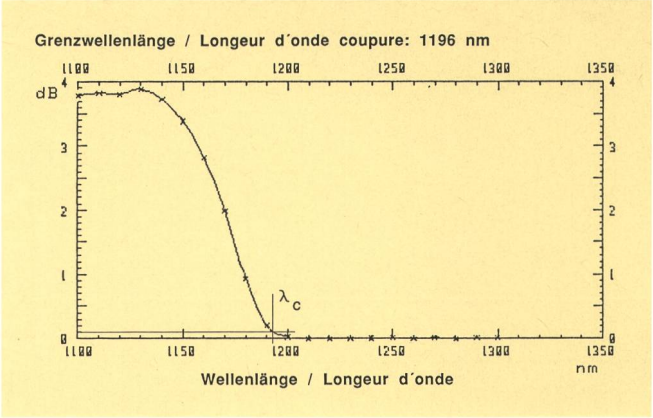

Fig. 20
Messresultat der Transmissionsmethode zur Bestimmung der Grenzwellenlänge – Résultat d'une mesure par la méthode de la puissance transmise pour déterminer la longueur d'onde de coupure

(1,3 μm) est située entre 1,1 μm et 1,3 μm, les mesures sont restreintes à ce domaine de longueur d'onde. La longueur d'onde de coupure est déterminée par l'affaiblissement relatif calculé selon la formule suivante à partir des puissances mesurées $P_1(\lambda)$ et $P_2(\lambda)$:

$$R(\lambda) = -10 \log [P_1(\lambda)/P_2(\lambda)]$$

La longueur d'onde de coupure est définie comme étant la longueur d'onde pour laquelle l'affaiblissement relatif s'élève à 0,1 dB. Une courbe typique de l'affaiblissement relatif R(λ) est représentée dans la *figure 20*.

432 Méthode de déplacement transversal

La longueur d'onde de coupure peut également être calculée par le biais de la détermination du diamètre du champ modal en fonction de la longueur d'onde. Cette méthode marque bien le passage du régime à deux modes (w_o grand) au régime à un mode (w_o petit). Notons que la longueur d'onde de coupure dépend de la longueur et de la contrainte extérieure que subit la fibre.

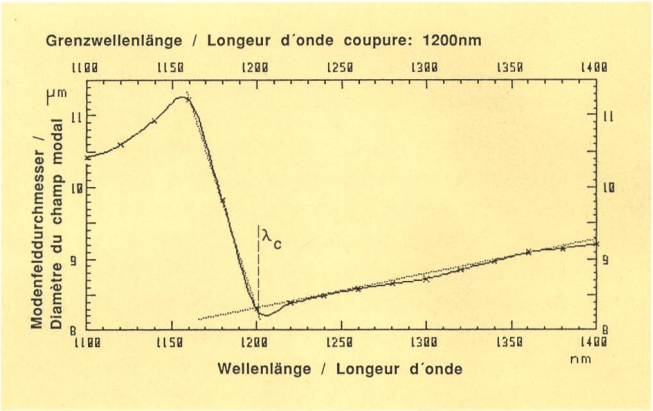

Fig. 21
Messresultat der transversalen Verschiebemethode zur Bestimmung der Grenzwellenlänge – Résultat d'une mesure par la méthode du déplacement transversal pour déterminer la longueur d'onde de coupure

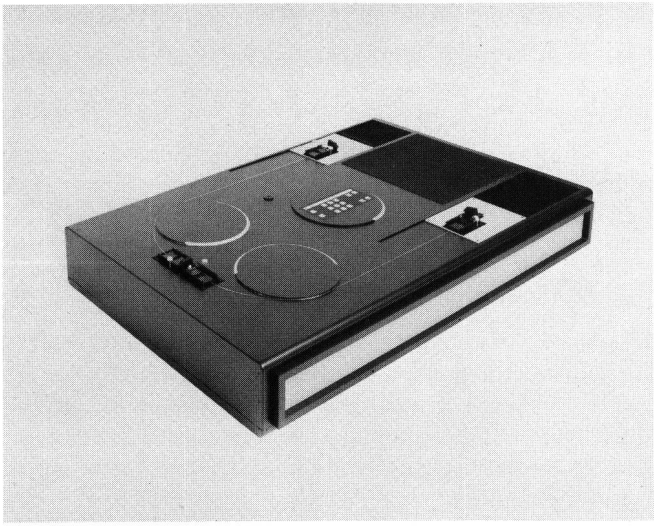

Fig. 22
Monomodefaser-Messplatz MS 84500 – Place de mesure MS 84500 pour les fibres monomodes

5 Konzeption des Messplatzes (MS-System)

51 Die leitenden Überlegungen

Präzision und Reproduzierbarkeit der Messung sind zweifellos Merkmale, die in der ganzen Messtechnik für Monomodefasern gelten. Ein solcher Messplatz sollte den Anforderungen einer Qualitätskontrolle im grossen Umfang genügen. Die grundlegenden Anforderungen für ein solches Gerät sind zusammengefasst:

- Erfüllen der CCITT-Normen
- leichtes Positionieren der Glasfaser auf dem Messplatz
- Automatisieren der Schlussbedienung beim Positionieren der zu messenden Glasfaser
- Flexibler Aufbau der Apparatur, der die Positionierung von Sender und Empfänger auf die Glasfaserabschnitte erlaubt
- Wirtschaftlicher Verbrauch von Kabeln bei der Messausführung durch Entscheidungsablauf des Bedieners
- Messetappen durch das Rechnerprogramm gesteuert, das den Bediener informiert, die Qualität der Messresultate kontrolliert und ein Messprotokoll liefert.

511 CCITT-Norm

Die CCITT-Normen wurden im vorhergehenden Abschnitt beschrieben. Man erkennt in *Figur 22* die unterschiedlichen Schablonen, die es erlauben, die Schleifen für Monomode-Glasfasern zu realisieren (Ø 28 cm und Ø 6 cm). Die Schablonen sind direkt in die Verschalung des Arbeitsplatzes integriert.

512 Positionieren der Glasfaser auf dem Messgerät

Der Bediener legt als erstes die zu positionierende Glasfaser in eine metallische Halterung, die die Form eines Schiffchens hat *(Fig. 23)*. In dieser wird die Glasfaser in einer V-Nut befestigt. Die Glasfaser und der Plastikmantel der Glasfaser (oder das Röhrchen) werden einzeln

Ainsi le rayon de courbure et la longueur de la fibre doivent être spécialement définis, contrairement à ce qui se passe lors de la détermination du diamètre du champ modal.

La figure 17 représente la disposition de cette place de mesure. Le diamètre du champ modal est mesuré sur une fibre d'une longueur d'environ 4 m. Cette longueur est placée entre la source et le détecteur. Ensuite ce tronçon de fibre est coupé en deux longueurs égales enroulées chacune sur des cercles (Ø 28 cm). Le diamètre du champ modal est alors déterminé en fonction de la longueur d'onde; la recherche du diamètre du champ modal est effectuée selon la méthode expliquée dans le chapitre 42. La *figure 21* montre un exemple typique de la variation du champ avec la longueur d'onde. Dans ce procédé de mesure, la longueur d'onde de coupure est calculée par l'intersection de deux droites.

5 Conception d'une place de mesure (système MS)

51 Les idées directrices

Précision et reproductibilité de la mesure sont évidemment de rigueur comme dans toute la métrologie des fibres monomodes. Cependant, cette place de mesure doit répondre à des exigences permettant de réaliser le contrôle à grande échelle de la qualité des lignes optiques. Les exigences de bases posées pour l'appareillage ont donc été les suivantes:

- Respect des normes imposées par le CCITT
- Facilité de positionnement de la fibre optique sur la place de mesure
- Automatisation des opérations finales de positionnement de la fibre à mesurer
- Flexibilité de l'appareillage permettant d'adapter la position des fonctions (émetteur-récepteur) à la longueur des échantillons de fibre
- Economie de longueur de câble consommée pour la réalisation des mesures par une succession judicieuse des opérations
- Etapes de mesure gérées par un programme d'ordinateur qui informe l'opérateur, contrôle la qualité du résultat et délivre un protocole.

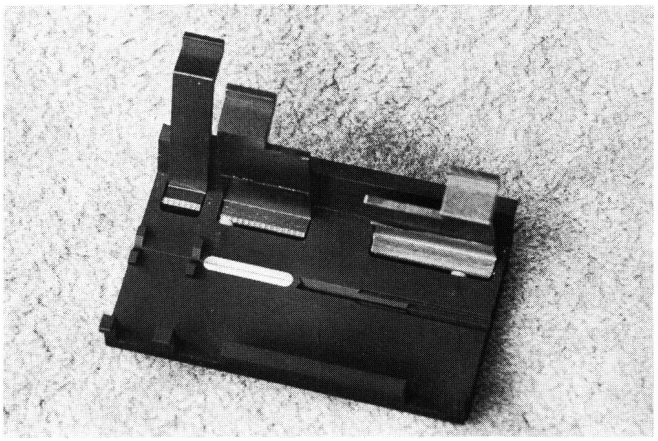

Fig. 23
Halterung für die Faserpositionierung beim Sender, Empfänger und Faserverschiebeplatz – Support d'extrémité de fibre optique

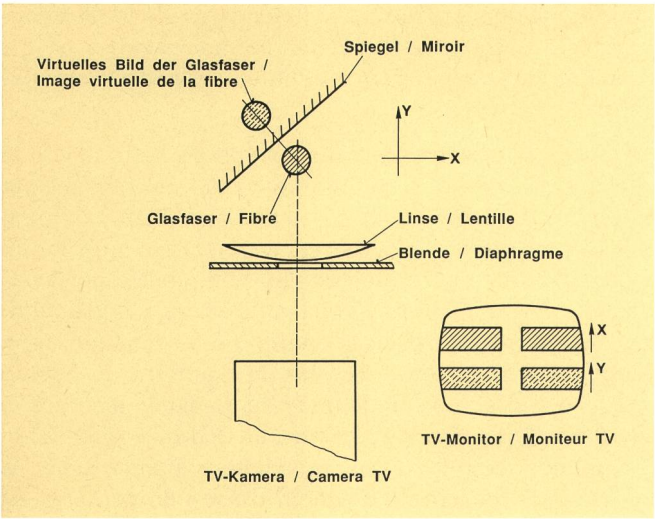

Fig. 24
Betrachtungssystem für die Faserpositionierung – Système de visualisation pour positionner la fibre

fixiert. Der Bediener legt anschliessend die Halterung auf eine motorisierte Positioniereinrichtung (Sender, Empfänger, Verschiebeplatz). Ein optisches Visualisationssystem mit TV-Monitor erlaubt ihm die Glasfaserenden manuell so zu positionieren, dass eine genügende optische Kopplung erreicht wird, um die automatische Positioniereinrichtung zu starten. Das Prinzip der manuellen optischen Visualisation ist in *Figur 24* gezeigt.

513 Automatische Positionierung

Nachdem die Glasfaser mit dem TV-Visualisationsgerät grob justiert ist, empfängt der Detektor ein Lichtsignal. Mit diesem optimiert das Rechnersystem automatisch die Position der Schrittmotoren. Das gleiche Prinzip kann auch beim Verschiebeplatz angewandt werden. Der Bediener hat die Möglichkeit, die Signalveränderung auf dem Bildschirm in Form eines Markers zu verfolgen.

514 Flexibilität bei der Messfaserlänge

Die Positioniereinheiten des Senders und des Empfängers sind auf einer Gleitstange montiert. Diese Vorrichtung erlaubt die Lichteinkopplungs- und Detektionseinheiten so zu positionieren, dass die Messfaser wohldefiniert ausgelegt werden kann. *Figur 25* zeigt schematisch den Aufbau.

515 Ablauf des Messvorgangs

Figur 26 zeigt die Schritte der drei Messungen.

Die Messoperationen werden durch die *Tabelle II* gegeben, indem die benötigte Faserlänge und die notwendige Manipulation betrachtet werden. Es sind die folgenden Punkte zu erwähnen: Die Referenzlänge der Dämpfungsmessung wird verwendet, um den Modenfelddurchmesser und die Grenzwellenlänge zu bestim-

511 Normes CCITT

Les normes CCITT ont été décrites dans le paragraphe précédant. On reconnaît sur la *figure 22* les différents gabarits permettant de réaliser les boucles de fibres monomodes (Ø 28 cm et Ø 6 cm). Les gabarits ont été directement intégrés à la carrosserie de la place de travail.

512 Positionnement de la fibre sur l'appareillage

L'opérateur dispose préalablement l'extrémité de la fibre à positionner dans une support d'extrémité métallique en forme de barquette *(fig. 23)*. Dans cette pièce, la fibre est maintenue dans une rainure en V. Fibre et gaine plastique (ou tube) sont immobilisés séparément. L'opérateur place par la suite le support sur le dispositif d'alignement motorisé (émetteur, détecteur, place d'offset). Un système optique de visualisation TV permet de positionner manuellement l'extrémité de la fibre de façon à garantir un couplage lumineux suffisant au démarrage de l'alignement automatique.

Le principe optique de la visualisation est présenté à la *figure 24*.

513 Automatisation des positionnements

Lorsque les fibres ont été alignées à l'aide des moniteurs TV, le détecteur reçoit un signal lumineux à partir

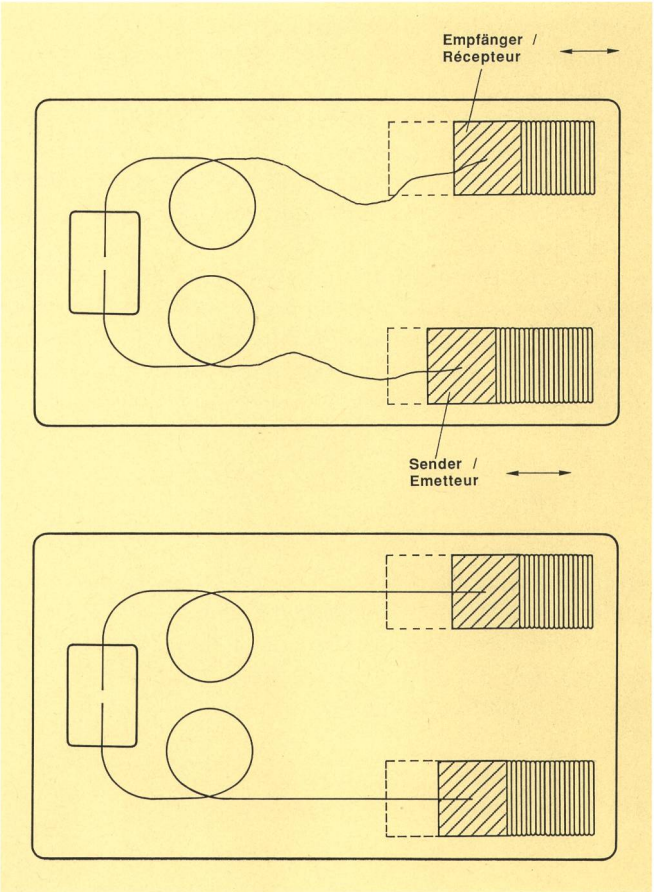

Fig. 25
Sender- und Empfängereinheit sind verschiebbar montiert, so dass die Glasfaser wohldefiniert ausgelegt werden kann – Déplacement des unités émetteur et détecteur permettent de placer la fibre dans une configuration bien définie

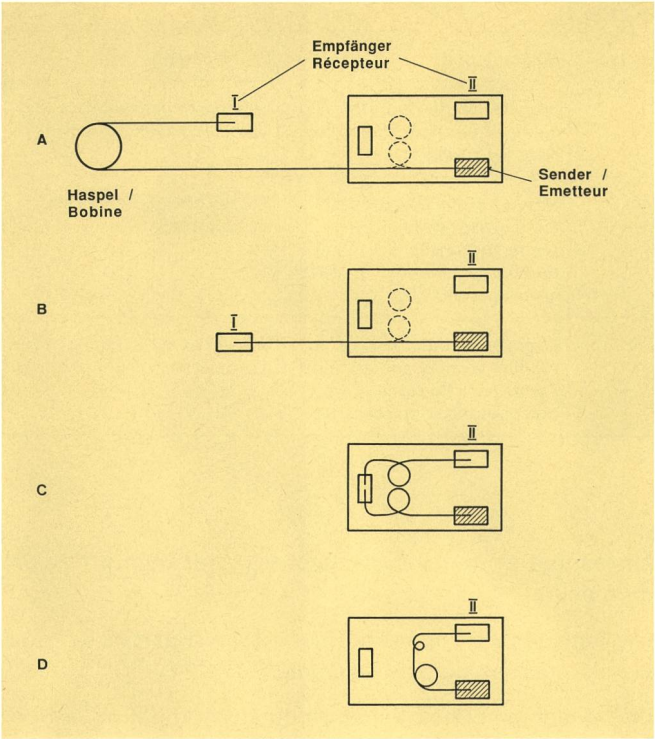

Fig. 26
Ablauf des Messvorganges zum Bestimmen der spektralen Dämpfungskurve (A + B), von Modenfelddurchmesser (C) und Grenzwellenlänge (D) – Séquence des opérations de mesure pour déterminer la courbe d'affaiblissement spectral (A + B), le diamètre du champ modal (C) et la longueur d'onde de coupure (D)

men. Im Minimum sind 2 m Glasfaser notwendig. Für alle Messungen muss die Glasfaser nur einmal beim Sender optimal eingekoppelt werden.

516 Messablauf mit Rechnerprogramm

Der Bediener kann die Maschine mit dem Rechner kontrollieren, indem er mit Programmenüs die Messschritte wählt. Jede Messphase wird auf dem Rechnerbildschirm, wie in Figur 16 gezeigt, erklärt. Die Messresul-

Tabelle II

Messung	Faserlänge	Manipulation	Figur 26
Dämpfung Phase I	Messfaser-länge	Einkoppeln der Faserenden beim Sender und Detektor I	A
Dämpfung Phase II	Referenzlänge von 2 bis 4 Metern	Abschneiden der Referenzlänge und Einkoppeln des Faserendes beim Detektor I. Faser gerade ausgestreckt	B
Modenfeld-Durch-messer	Referenzlänge halbiert	Wechseln auf den Detektor II. Entzweischneiden und plazieren auf dem Verschiebemessplatz	C
Grenzwellen-länge	Halbe Länge der Referenz	Wechseln der halben Referenzlänge auf den Detektor II	D

Tableau II

Mesures	Tronçon de fibre	Manipulation	Figure 26
Atténuation phase I	Fibre à mesurer	Montage extrémités sur le détecteur I et sur l'émetteur	A
Atténuation phase II	Tronçon de référence de 2 à 4 mètres	Coupure de la référence et montage de l'extrémité sur le détecteur I (tronçon rectiligne)	B
Diamètre du champ modal	Tronçon de référence coupé en deux	Changement de détecteur II Coupure de la référence montage sur la place d'offset	C
Longueur d'onde de coupure	Demi-tronçon de référence	Déplacement du demi-tronçon de référence sur le détecteur II	D

duquel le système d'ordinateur peut optimaliser l'alignement grâce à des microdéplacements motorisés. La même procédure est appliquée sur la place d'offset. L'opérateur peut suivre l'évolution de l'intensité transmise en observant le déplacement d'un marker sur l'écran de l'ordinateur.

514 Flexibilité selon la longueur de l'échantillon

L'unité d'alignement de l'émetteur et du récepteur sont montées chacune sur une glissière. Ce système permet de mettre en place l'injection et la détection de lumière en gardant une définition parfaite de la configuration de la fibre à mesurer. La *figure 25* montre un schéma d'utilisation de ce dispositif.

515 Séquence des opérations de mesures

La *figure 26* schématise les différentes phases des opérations de mesure.

La séquence des opérations de mesure est donnée dans le *tableau II* en regard du tronçon de fibre utilisé et de la manipulation nécessaire. On remarquera les points suivants: Le tronçon de référence utilisé dans la mesure de l'atténuation permet de déterminer le champ modal et la longueur d'onde de coupure. La longueur minimale de fibre nécessaire est de deux mètres.

Pour l'ensemble des mesures un seul alignement de l'émetteur est requis.

516 Phases des opérations de mesure par le programme d'ordinateur

L'opérateur accède au contrôle de la machine par l'intermédiaire de choix effectués dans des menus et sous-menus. Chaque phase de mesure est précédée d'un croquis explicatif, tel que ceux illustrés à la figure 26. Les résultats sont présentés à l'opérateur puis archivés. L'opérateur peut, à l'aide de son clavier, commander les fonctions d'alignement d'extrémités de fibre, lire les valeurs du signal lumineux transmis, accepter ou refuser

Tabelle III

Schritt	Manipulation	Ort
I	Vorbereiten der Kabelenden und die Fasern in die Halterung einlegen	Oberfläche der Verschalung des MS-Systemes
II	Plazieren der Halterung auf den motorisierten Positioniereinheiten, manuelles Vorpositionieren mit TV-Bildschirm	Positioniereinheit des MS-Systems
III	Automatische oder manuelle Positionierung, indem das Signal beobachtet wird. Wahl der Messoperationen	Bedienungstasten und Bildschirm des Rechners

Tableau III

Etape	Manipulation	Emplacement
I	Préparation de l'extrémité du câble, et montage des fibres dans les supports	Utilisation da la surface carrossée du système MS
II	Mise en place des supports sur les dispositifs d'alignements motorisés. Préalignement manuel du moyen de la visualisation TV	Places d'alignements du système MS
III	Alignement automatique ou manuel, avec observation de l'amplitude du signal. Choix des opérations de mesures	Clavier et écran de l'ordinateur

tate werden dem Bediener auf dem Rechnerbildschirm angezeigt, bevor sie abgespeichert werden. Der Bediener kann mit den Befehlstasten auf dem Rechner die Faserenden positionieren, den Lichtsignalwert ablesen, das Resultat annehmen oder ablehnen und ein Messprotokoll ausdrucken.

Die Aktivität des Bedieners wird also in drei Schritte eingeteilt. Sie sind in der *Tabelle III* dargestellt.

Die Software wird dann aktiv, wenn die Glasfaser positioniert ist. Die Aktivitäten des Bedieners sind nun auf die Bedienung des Rechners begrenzt.

52 Technische Beschreibung des MS-Systems

521 Allgemeines

Das MS-System kann in drei Einheiten aufgeteilt und in eine Verschalung integriert werden, die die CCITT-Norm-Anordnung aufnimmt. Das Ganze lässt sich durch einen Rechner steuern. Die Einheiten sind:

a) Lichtemissionseinheit
b) Lichtdetektionseinheit
c) Verschiebeplatzeinheit

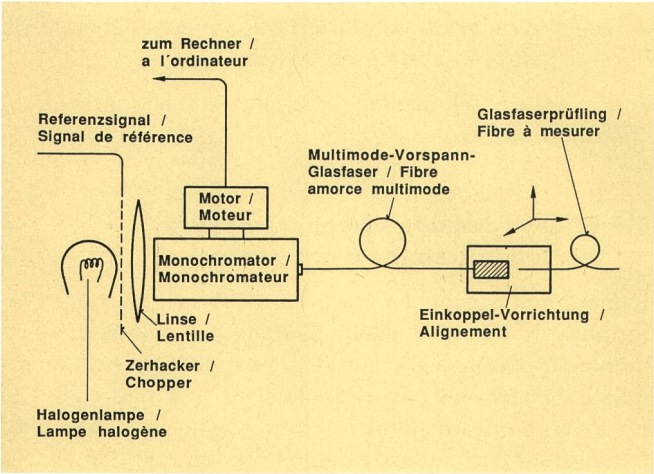

Fig. 27
Blockschema Sendeeinheit – Schéma de l'émetteur

un résultat et demander l'établissement d'un protocole de mesure.

Les activités de l'opérateur sont donc réparties en trois places décrites dans le *tableau III*.

Le logiciel est conçu de façon qu'au moment où la fibre optique est positionnée l'activité de l'opérateur est limitée au clavier d'ordinateur.

52 Description technique du système

521 Généralités

L'ensemble du système peut être divisé en trois unités assemblées et intégrées dans une carrosserie donnant la configuration CCITT, le tout piloté par un ordinateur. L'installation se compose des modules suivants:

a) Unité d'émission lumineuse
b) Unité de détection lumineuse
c) Unité de place d'offset.

522 Unité d'émission lumineuse

Cet unité est présentée dans la *figure 27*. La lentille est utilisée pour réaliser une image du filament de la lampe sur la fente d'entrée du monochromateur. A la sortie du monochromateur l'extrémité d'un pigtail de fibre multimode (diamètre du cœur = 50 μm) est placée dans le plan de la fente. Ce pigtail assure le rôle de liaison optique avec l'unité d'alignement mobile, il remplace également la fente de sortie du monochromateur. La résolution spectrale du système est de l'ordre de $\Delta\lambda = 2$ nm. Le scanning motorisé peut se réaliser par pas de 1 nm entre 900 nm et 1600 nm.

523 Unité de détection lumineuse

Un photo-détecteur InGaAs-PIN-FET est directement intégré à l'unité d'alignement. Le détecteur est équipé d'un pigtail multimode (diamètre de cœur de 50 μm), ce qui permet d'utiliser des détecteurs de très petites surfaces et de limiter les effets parasites du bruit de fond. Le signal électrique de détection est amplifié au moyen d'un amplificateur à détection synchrone qui délivre un

522 Lichtemissionseinheit

Diese ist in *Figur 27* gezeigt. Die Linse wird zur Abbildung des Filaments der Lampe auf den Eingangsschlitz des Monochromators verwendet. An diesen Ausgang ist das Ende einer Multimode-Glasfaser (Kerndurchmesser 50 μm) angekoppelt. Diese wird für die optische Verbindung mit der beweglichen Positioniereinheit verwendet. Sie ist gleichbedeutend mit dem Ausgangsschlitz des Monochromators. Die spektrale Auflösung des Systems ist von der Grössenordnung von $\Delta\lambda = 2$ nm. Der kleinste Abtastschritt des Monochromators beträgt 1 nm im Wellenlängenbereich zwischen 900 nm und 1600 nm.

523 Lichtdetektionseinheit

Ein InGaAs-PIN-FET-Fotodetektor ist direkt in die Positioniereinheit integriert. Dieser ist mit einer Multimode-Glasfaser (Kerndurchmesser 50 μm) ausgerüstet. Dies erlaubt, einen kleinflächigen Detektor zu verwenden. Damit kann das Grundrauschen begrenzt werden. Das elektrische Signal des Detektors wird in einem Verstärker für synchrone Detektion verstärkt, der ein digitalisiertes Signal an den Rechner weitergibt. Wenn die Messungen (Dämpfung — Modenfelddurchmesser — Grenzwellenlänge) fortlaufend durchgeführt werden, kann ein zweiter Fotodetektor, wie in *Figur 28* gezeigt, verwendet werden.

Die Dynamik des Systems ist von der Wellenlänge abhängig. Wenn eine Monomodefaser Sender und Empfänger verbindet, ist die Dynamik im zweiten optischen Fenster im Bereich von 35 dB, im dritten optischen Fenster im Bereich von 25 dB.

524 Verschiebeplatz

Die Verschiebeeinheit verfügt über drei Schrittmotoren, die Schritte von 0,1 μm machen können. Diese Motoren werden mit dem Rechner gesteuert, der die mechanische Bewegung mit den Daten des transmittierten Lichtes synchronisiert und erfasst. Die Einheit ist mit einem TV-Visualisationssystem ausgerüstet, das die Bruchflächen zu kontrollieren und die Enden der Glasfasern zu positionieren erlaubt.

525 Das Informatiksystem

Für eine spätere Auswertung (Statistik, Vergleich usw.) können die Messdaten auf Diskette/Magnetscheibe gespeichert werden. Der Zeitaufwand für die Datenerfassung und die Berechnungen der Qualifikationsparameter der Glasfaser ist vernachlässigbar klein im Vergleich zum Zeitaufwand für die Glasfaservorbereitung. Wenn zwei Bediener mit dem Messplatz arbeiten, einer zur Vorbereitung der Glasfaser, der andere zur Bedienung des Gerätes, rechnet man im Mittel mit einem Rhythmus von vier Glasfasern in der Stunde.

6 Schlussbemerkung

Die Messung und Bestimmung der optischen Übertragungsparameter von Monomodefasern war bis vor kurzem nur unter labormässigen Voraussetzungen durchführbar. Das vorgestellte, industriell gefertigte Messge-

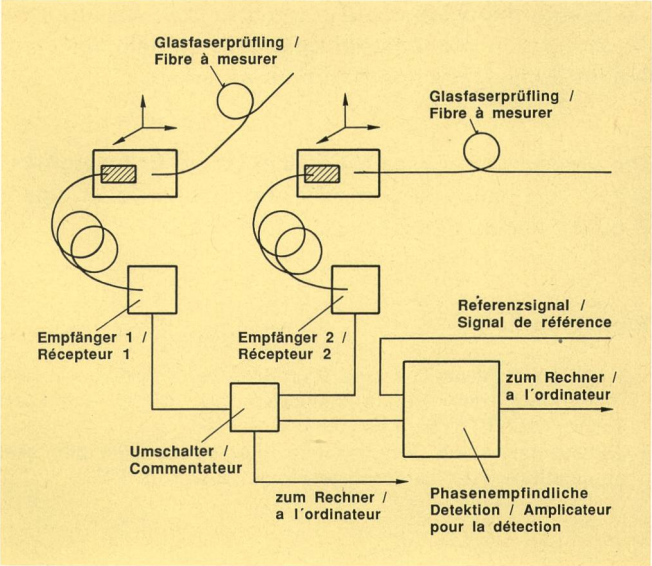

Fig. 28
Funktionsschema – Schéma des fonctions

signal numérisé accessible à l'ordinateur. Comme le montre la *figure 28* un second photo-détecteur peut être utilisé simultanément.

La dynamique du système dépend de la longueur d'onde. Lorsqu'un pigtail monomode relie l'émetteur au détecteur, la dynamique est de l'ordre de 35 dB dans la seconde fenêtre et de 25 dB dans la troisième fenêtre.

524 Place d'offset

Elle est simplement réalisée par un ensemble de trois moteurs pas à pas, dont le pas est de 0,1 μm. Les moteurs sont pilotés par l'ordinateur qui synchronise l'avance mécanique et l'acquisition du signal lumineux transmis. L'ensemble est équipé d'un système de visualisation TV permettant de contrôler la qualité des cassures et le positionnement des extrémités des fibres optiques.

525 Fonctions du système informatique

L'ensemble du programme est écrit en langage Pascal. Les valeurs sont archivées sur des disquettes magnétiques pour des traitements ultérieurs (statistiques comparaisons, etc.). La durée des prises de données et du calcul des paramètres de qualification de la fibre est négligeable en regard du temps d'installation de la fibre. On compte en moyenne un rythme de quatre fibres à l'heure, pour autant que deux opérateurs travaillent sur la place de mesure, à savoir un pour la préparation et l'autre pour les opérations sur la machine.

6 Conclusions

La mesure et la définition des paramètres de transmission optiques des fibres de verre monomodes n'étaient, il y a peu de temps encore, possibles qu'en laboratoire. L'appareil présenté, fabriqué industriellement, permet à

rät erlaubt mit weitgehend automatisierten Abläufen die Messung von Monomodefasereigenschaften mit einer hohen Genauigkeit und Reproduzierbarkeit.

Die Entwicklung dieses Gerätes entstand in Zusammenarbeit von Industrie und PTT und resultierte in einem Produkt, das auch exportiert werden kann.

l'aide de procédés largement automatisés de mesurer les propriétés de transmission de fibres optiques monomodes avec une précision élevée et une grande reproductibilité.

Le développement de cet appareil est le fruit d'une collaboration entre l'industrie et les PTT. Il en est résulté un produit qui peut également être exporté.

Bibliographie

- *Pellaux J. P., Witschi A.* und *Bischofberger T.* Messgerät zum Bestimmen des Brechungsindexprofils einer Glasfaser. Techn. Mitt. PTT, Bern 63 (1985) 4, S. 138.
- Jeunhomme Luc B. Single-mode fiber optics principles and applications. (Optical Engineering 4). New York 1983.
- CCITT Red Book III.2. International analogue carrier systems – Transmission media – characteristics. Recommendation G.652 characteristics of a single-mode optical fibre cable. Geneva 1985.

Die nächste Nummer bringt unter anderem
Vous pourrez lire dans le prochain numéro

12/86

Jaquier J.-J., Zürcher B.	Accès aux services des renseignements téléphoniques pour les usagers du vidéotex
Diriwächter R.	Komfortfernschreiber PACT 250 Téléimprimeur confort PACT 250
Blum A., Ruf A.	Einführung von Universalkonzentratoren zur Optimierung der Zugangstechnik für Teleinformatikdienste
English Part:	
Debrunner E.	Multipath propagation in hilly regions