

**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

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 57 (1979)

**Heft:** 8

**Artikel:** Dämpfungsmessung von Glasfasern = Mesure de l'atténuation de fibres optiques

**Autor:** Detutsch, Christian / Novak, Rostislav

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-875565>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

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

*Zusammenfassung. Die Anwendung von Glasfasern als Übertragungsmedium für die optische Kommunikation ist heute in greifbare Nähe gerückt. Die genaue Messung der Dämpfung ist sowohl für die Qualitätskontrolle als auch beim Verlegen von Kabeln absolut notwendig. Mehrere gebräuchliche Messmethoden werden kurz beschrieben. Dann wird über die bei den PTT verwendete Referenzmethode im einzelnen berichtet. Mit ihr können Dämpfungen bis 50 dB mit einer Genauigkeit von 0,1 dB gemessen werden. Gegenüber früheren Verfahren hat die Referenzmethode den Vorteil, dass es nicht mehr notwendig ist, eine gewisse Länge der Glasfaser abzuschneiden, um zwei Vergleichsmessungen durchführen zu können.*

*Résumé. On sait aujourd'hui qu'on recourra bientôt aux fibres optiques en tant que support de transmission des systèmes de communication optiques. Aussi bien pour le contrôle de qualité que pour la pose des câbles optiques, il est absolument nécessaire de procéder à une mesure précise de l'atténuation. On décrit ici succinctement plusieurs méthodes de mesure usuelles, avant d'exposer en détail la mesure par la méthode de référence utilisée par les PTT. Cette méthode permet de mesurer des atténuations allant jusqu'à 50 dB avec une précision de 0,1 dB. Par rapport aux anciens procédés, la méthode de référence offre l'avantage qu'il n'est plus nécessaire de couper une certaine longueur de fibre pour effectuer deux mesures comparatives.*

### Misurazioni di attenuazione di fibre ottiche

*Riassunto. L'applicazione di fibre ottiche quale dispositivo di trasmissione per la comunicazione ottica sta ora diventando realtà. La misurazione esatta dell'attenuazione è assolutamente necessaria, sia per il controllo della qualità sia per la posa dei cavi. Sono brevemente descritti diversi metodi di misurazione usati. In seguito viene presentata dettagliatamente la misurazione con il metodo di riferimento utilizzato presso le PTT. Per mezzo di questo metodo si possono misurare le attenuazioni fino a 50 dB con una precisione di 0,1 dB. Nei confronti dei procedimenti utilizzati in precedenza, questo nuovo sistema ha il vantaggio che non è più necessario tagliare un determinato pezzo di fibra ottica per poter effettuare due misurazioni di confronto.*

### 1 Einleitung

Die wichtigste Eigenschaft von Glasfasern für optische Nachrichtenübertragung ist die Grösse der Dämpfung des hindurchgehenden Lichts. Die ersten im Jahre 1970 hergestellten Fasern wiesen noch eine Dämpfung von etwa 1000 dB/km auf. Damals wurde ein Wert von 20 dB/km als wünschenswert und brauchbar erachtet. Unerwartet rasch wurden dann grosse Fortschritte erzielt. Heute sind Fasern mit Dämpfungen von weniger als 4 dB/km käuflich, und in verschiedenen Laboratorien sind Fasern mit weniger als 1 dB/km hergestellt worden. Damit hat sich die Glasfaser endgültig als Medium für die optische Kommunikation durchgesetzt, und deren praktische Anwendung ist in greifbare Nähe gerückt. Bereits laufen in mehreren Ländern umfangreiche Versuchssysteme, und auch bei den Schweizerischen PTT-Betrieben ist ein solches im Aufbau.

Die PTT-Betriebe müssen als Anwender unbedingt genaue Dämpfungsmessungen an Glasfasern bei der Eingangskontrolle, während der Verlegung und vor der Inbetriebnahme sowie bei Störungen zuverlässig und mit möglichst geringem Aufwand durchführen können. Die Dämpfung der Fasern hängt ab von der Lichtabsorption und der Lichtstreuung und damit von der Reinheit der verwendeten Materialien. Insbesondere verursachen Schwermetall- und OH-Ionen Absorption. Indem man äusserst reine Ausgangsmaterialien verwendet und die Fasern in einer wasserdampffreien Atmosphäre zieht, können diese Einflüsse weitgehend verringert werden. Eine untere Grenze für die Dämpfung ist durch die mit  $(1/\lambda^4)$  abnehmende Rayleigh-Streuung gegeben. Diese beträgt etwa 1 dB/km bei 950 nm und 0,47 dB/km bei 1200 nm. *Figur 1* zeigt die Dämpfung in Abhängigkeit von der Wellenlänge für eine typische Faser. Da wir für die Übertragung ausschliesslich Licht von Laserdioden mit Wellenlängen von 800...850 nm verwenden, beschränken sich die Dämpfungsmessungen auf diese Wellenlänge.

### 1 Introduction

Dans le domaine des télécommunications optiques, la caractéristique essentielle des fibres de verre est l'atténuation qu'elles présentent au passage de la lumière. Les premières fibres fabriquées en 1970 présentaient encore une atténuation d'environ 1000 dB/km. On considérait à l'époque qu'une valeur de 20 dB/km était souhaitable et utilisable. Soudain, des progrès considérables furent réalisés et des fibres possédant des atténuations inférieures à 4 dB/km sont aujourd'hui commercialisées, des valeurs inférieures à 1 dB/km ayant même été réalisées dans divers laboratoires. Ainsi, la fibre optique s'est définitivement imposée en tant que support des communications optiques et il est certain que ses applications pratiques vont devenir imminentes. De nombreux pays utilisent déjà des systèmes d'essai étendus et l'Entreprise des PTT suisses est également en train d'en construire un.

Puisque les PTT utilisent les fibres optiques, il est de la plus haute importance qu'ils puissent en mesurer l'atténuation de manière précise, fiable et simple, lors du contrôle de réception, pendant la pose, avant la mise en service ainsi qu'en cas de dérangements. L'atténuation des fibres dépend de l'absorption et de la diffusion de la lumière et ainsi de la pureté des matières premières utilisées. L'absorption est surtout due aux ions des métaux lourds et aux ions OH. Ces influences peuvent être considérablement diminuées par l'emploi de matières premières extrêmement pures et par des méthodes de tirage des fibres en atmosphère exempte de vapeur d'eau. Une limite inférieure de l'atténuation est donnée par la diffusion de type Rayleigh selon une loi décroissante en  $1/\lambda^4$  en fonction de la longueur d'onde de la lumière. Cette atténuation est d'environ 1 dB/km à 950 nm et de 0,47 dB/km à 1200 nm. La *figure 1* montre l'atténuation d'une fibre typique en fonction de la longueur d'onde. Vu que, pour la transmission, on a utilisé uniquement de la lumière provenant de diodes laser (lon-

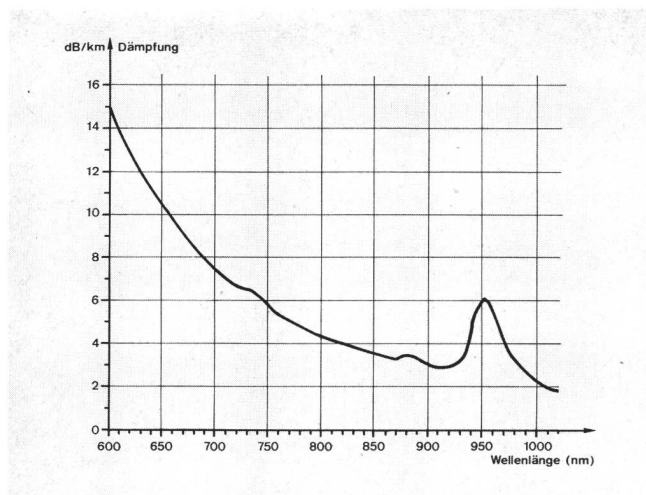


Fig. 1  
Dämpfung als Funktion der Wellenlänge — Variation de l'atténuation en fonction de la longueur d'onde  
Dämpfung dB/km — Atténuation dB/km  
Wellenlänge (nm) — Longueur d'ondes (nm)

## 2 Messmethode

Unter der optischen Dämpfung  $\alpha$  versteht man die Verluste des Lichtes, ausgedrückt als zehnfacher Logarithmus des Verhältnisses der optischen Leistungen  $P_{\text{AUS}}$  am Ausgang und  $P_{\text{EIN}}$  am Eingang der gemessenen Komponente

$$\alpha = 10 \log \frac{P_{\text{AUS}}}{P_{\text{EIN}}} \quad (1)$$

Die spezifische Dämpfung  $\alpha_{\text{sp}}$  von Glasfasern entspricht der Dämpfung, bezogen auf 1 km Faserlänge:

$$\alpha_{\text{sp}} = 10 \left( \log \frac{P_{\text{AUS}}}{P_{\text{EIN}}} \right) \frac{1}{l} \quad (2)$$

Hierbei sind  $P_{\text{AUS}}$ ,  $P_{\text{EIN}}$  in W,  $l$  in km,  $\alpha$  in dB,  $\alpha_{\text{sp}}$  in dB/km auszudrücken.

Aus der Literatur sind fünf verschiedene Messmethoden bekannt, nämlich:

1. Die *Abschneidemethode* [1]. Dabei wird von der zu messenden Faserlänge nach einer ersten Messung ein Stück abgeschnitten und erneut gemessen, ohne die schwer reproduzierbaren Einkopplungsbedingungen zu verändern. Diese Methode hat den Nachteil, nicht zerstörungsfrei zu sein. Sie liefert nur dann gute Ergebnisse, wenn auch im kürzeren Stück Modengleichgewicht herrscht.
2. Die *Integration der Streuverluste* entlang der Faser mit einem Detektor [2]. Mit dieser Methode werden nur Streuverluste, jedoch keine Absorption gemessen. Bei kleiner Dämpfung ist sie verhältnismässig ungenau.
3. Die *kalorimetrische Messung* der Verluste [2]. Dieses Verfahren gestattet die Erwärmung der Faser, also nur deren Absorption, aber keine Streuverluste zu bestimmen. Sie wird mehr für Messungen am Ausgangsmaterial zum Ziehen der Faser (Preforms) als an Fasern selber verwendet.
4. Die *Messung der Rückstreuverluste* [3]. Diese elegante Methode findet mehr und mehr Verwendung. Dabei wird ein kurzer Lichtpuls in die Faser eingekoppelt und das entlang der Faser zurückgestreute Licht

geueurs d'onde de 800...850 nm), on s'est limité à mesurer l'atténuation dans cette gamme.

## 2 Méthode de mesure

Par atténuation optique  $\alpha$ , on entend les pertes de lumière dans le système mesuré, exprimées par dix fois le logarithme du rapport de la puissance optique à la sortie  $P_{\text{AUS}}$  sur la puissance optique à l'entrée  $P_{\text{EIN}}$

$$\alpha = 10 \log \frac{P_{\text{AUS}}}{P_{\text{EIN}}} \quad (1)$$

L'atténuation spécifique  $\alpha_{\text{sp}}$  d'une fibre optique correspond à l'atténuation rapportée à 1 km de fibre:

$$\alpha_{\text{sp}} = 10 \left( \log \frac{P_{\text{AUS}}}{P_{\text{EIN}}} \right) \frac{1}{l} \quad (2)$$

$P_{\text{AUS}}$ ,  $P_{\text{EIN}}$  s'expriment ici en W,  $l$  en km,  $\alpha$  en dB,  $\alpha_{\text{sp}}$  en dB/km.

Dans la littérature spécialisée, on relève cinq méthodes de mesure différentes, à savoir:

1. La *méthode par coupure* [1]. Elle consiste à faire une première mesure de la longueur totale de fibre à mesurer, puis à en couper une section et à faire une deuxième mesure, sans modifier les conditions de couplage difficilement reproductibles. Cette méthode a l'inconvénient d'exiger la destruction d'une partie de la fibre. Elle ne livre, en outre, de bons résultats que s'il y a stabilisation des modes dans la section la plus courte également.
2. L'*intégration des pertes par diffusion* le long de la fibre à l'aide d'un détecteur [2]. Cette méthode ne permet de mesurer que les pertes par diffusion et non l'absorption. Elle est relativement peu précise lorsque l'atténuation est faible.
3. La *mesure calorimétrique* des pertes [2]. Ce procédé permet de déterminer l'échauffement de la fibre, c'est-à-dire seulement son absorption, mais aucune perte par diffusion. On l'utilise plutôt pour réaliser des mesures sur les verres au stade du tirage de la fibre (méthode de la préforme) que sur les fibres elles-mêmes.
4. La *mesure des pertes par réflectométrie* [3]. Cette méthode élégante est de plus en plus répandue. Elle consiste à injecter dans la fibre une brève impulsion lumineuse et à mesurer la lumière rétrodiffusée le long du guide optique. Ce procédé fournit en même temps les pertes dans la fibre, les pertes dans les épissures et l'emplacement des défauts. Des instruments de mesure de ce type sont commercialisés. L'atténuation totale pouvant être mesurée est toutefois limitée à 40...50 dB et la définition à 0,3 dB. Il est, de plus, impossible de mesurer de courtes sections de fibres ou des connecteurs, vu le temps de propagation trop bref des impulsions lumineuses.
5. La *mesure des pertes d'énergie* par comparaison des intégrales de la puissance lumineuse des impulsions au début et à la fin de la fibre, par exemple lors de la mesure de la dispersion (communication de *Tektronix*).

Les méthodes 2, 3, 4 et 5 ne conviennent en principe que pour les mesures portant sur des fibres de verre,

gemessen. Die Methode liefert gleichzeitig Faserverluste, Spleissverluste und Störstellenortung. Entsprechende Geräte sind käuflich. Die messbare totale Dämpfung ist jedoch auf 40...50 dB begrenzt und die Auflösung auf etwa 0,3 dB. Ferner ist die Messung von kurzen Faserstücken oder Faserverbindungen infolge der zu kurzen Laufzeit der Lichtpulse allein nicht möglich.

5. Die *Messung der Energieverluste* durch Bildung des Integrals der Lichtleistung über die Pulsdauer am Anfang und am Ende der Faser, zum Beispiel bei der Dispersionsmessung (Mitteilung von *Tektronix*).

Die Methoden 2, 3, 4, 5 sind grundsätzlich nur für Messungen an Glasfasern geeignet, während nach der ersten Methode auch Spleiss- und Steckerdämpfungen messbar sind. Der grösste Nachteil der ersten Methode liegt darin, dass wegen der wenig genau definierten Verluste bei der Einkopplung in die Messfaser jedesmal ein Stück Faser (etwa 1 m) abgeschnitten werden muss, um das Referenzsignal zu gewinnen. Ein weiterer Nachteil liegt in zusätzlichen, von der Stabilität der Lichtquelle (zum Beispiel Laserdiode oder LED) abhängigen Fehlern, da Aus- und Eingangsleistung nicht zum gleichen Zeitpunkt gemessen werden.

Im folgenden ist eine zum Teil aus eigener Entwicklung entstandene Brücken-Referenz-Methode beschrieben, die die obenerwähnten Nachteile weitgehend ausschliesst. Die Einkopplungsverluste werden durch eine besondere optomechanische Vorrichtung auf einen minimalen und reproduzierbar konstanten Wert festgesetzt, so dass das Faserende nicht abgeschnitten werden muss. Das Prinzip dieser Messmethode ist aus *Figur 2* ersichtlich.

Diese hybride Anordnung weist in den Zweigen AB und AC je einen Lichtleiter mit einem optoelektrischen Wandler auf. Falls die Umwandlungskonstante Lichtleistung/Strom in beiden Zweigen gleich ist, ist die Lichtabschwächung (optische Dämpfung) der elektrischen Abschwächung in den Zweigen BD und CD analog.

Die allgemeinen Brückengleichungen im Gleichgewicht lauten

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}; i_1 = i_2; i_3 = i_4 \quad (3)$$

wo Z Impedanzen in den entsprechenden Zweigen und i die Ströme der optoelektrischen Wandler sind.

Die lineare Licht-Strom Beziehung des Wandler

$$i = k \cdot P \quad (4)$$

wo k in A/W die Umwandlungskonstante ist, erlaubt die Brückenbeziehung im Gleichgewicht (das heisst bei einem Strom durch den Null-Indikator  $i_0 = 0$ ) folgendermassen darzustellen:

$$i_4 \cdot Z_4 = i_2 \cdot Z_2 \quad (5)$$

Da für die optischen Leistungen

$$P_{IN} = P_1 + P_3$$

gilt, folgt:

$$k \cdot P_3 \cdot \alpha_3 \cdot Z_4 = k \cdot P_1 \cdot \alpha_1 \cdot Z_2 \quad (6)$$

tandis que la première méthode permet aussi de mesurer l'atténuation propre aux épissures ou aux connecteurs. L'inconvénient majeur de la première méthode réside dans le fait qu'il est chaque fois nécessaire de sectionner une portion de fibre (environ 1 m) pour obtenir le signal de référence, étant donné que les pertes d'injection dans la fibre de mesure sont définies de manière trop peu précise. Un autre désavantage sont les erreurs additionnelles dépendant de la stabilité de la source lumineuse (par exemple une diode laser ou une LED), attendu que la puissance de sortie et la puissance d'entrée ne peuvent être mesurées au même instant.

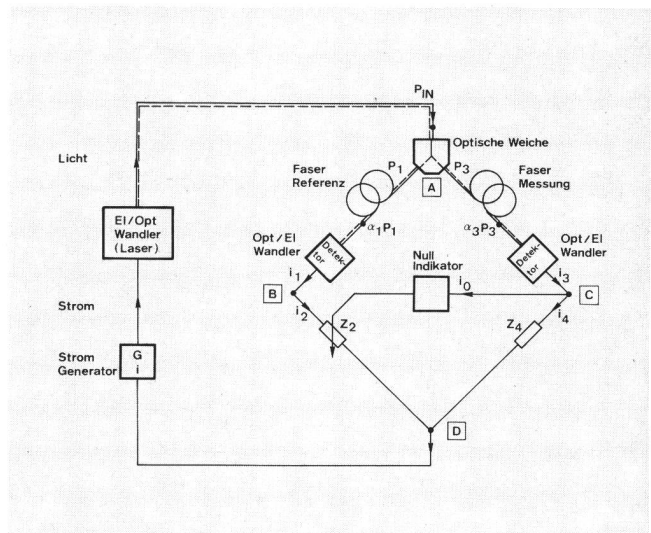
La mesure par la méthode du pont de mesure, développée en partie à la Division des recherches et du développement, est décrite ci-après. Elle exclut en majeure partie les inconvénients évoqués plus haut. Grâce à un dispositif opto-mécanique particulier, les pertes à l'injection sont réduites à un minimum et maintenues à une valeur constante et reproductible, si bien qu'il n'est plus nécessaire de couper l'extrémité de la fibre. Le principe de cette méthode de mesure ressort de la *figure 2*.

Cette configuration hybride comprend une fibre optique et un convertisseur opto-électrique dans chacune des branches AB et AC. Si la constante de conversion puissance lumineuse/courant est la même dans les deux branches, l'atténuation de la lumière (atténuation optique) est analogue à l'affaiblissement électrique dans les deux branches BD et CD.

Les équations générales du pont à l'état d'équilibre sont

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}; i_1 = i_2; i_3 = i_4 \quad (3)$$

où Z représente les impédances dans les branches correspondantes et i les courants des convertisseurs opto-électriques.



**Fig. 2**  
**Brücken-Referenz-Methode — Mesure par la méthode du pont avec référence**

- Licht — Lumière
- EL/Opt Wandler — Convertisseur signal électrique/signal optique
- Strom — Courant
- Stromgenerator — Générateur de courant
- Detektor — Détecteur
- Faserreferenz — Fibre de référence
- Optische Weiche — Séparateur optique
- Fasermessung — Fibre à mesurer
- Nullindikator — Indicateur de zéro

$\alpha_1$  und  $\alpha_3$  sind die Dämpfungen im Referenzweig AB beziehungsweise im Messweig AC. Für  $\alpha_3$  erhält man

$$\alpha_3 = \frac{P_1 \cdot Z_2}{P_3 \cdot Z_4} \cdot \alpha_1 \quad (7)$$

Falls das Verhältnis  $P_1/P_3$  (optische Weiche) und  $\alpha_1$  und  $Z_4$  konstant sind, kann man die Beziehung (7) in

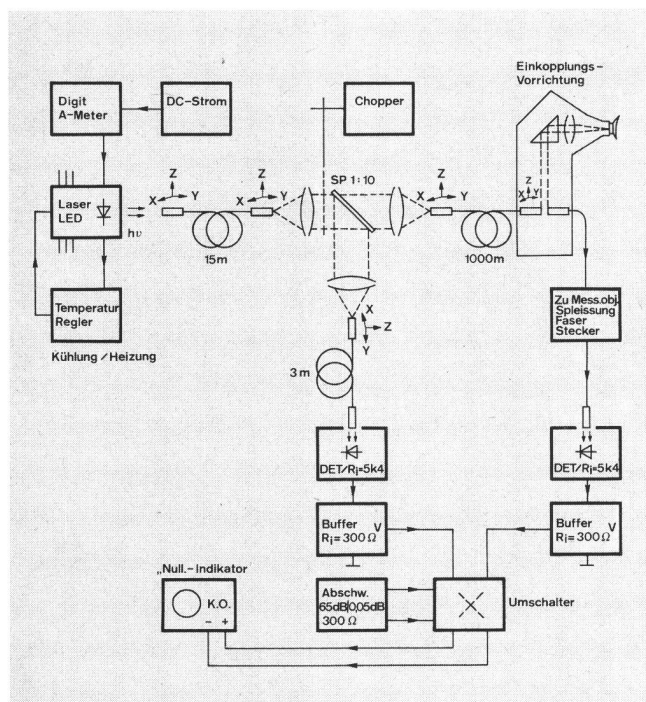
$$\alpha_3 = A \cdot Z_2 \text{ wo } A = \frac{P_1}{P_3} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{1}{Z_4} \quad (8)$$

umwandeln, das heisst, die gemessene Dämpfung  $\alpha_3$  ist direkt proportional der Impedanz  $Z_2$  beziehungsweise der eingestellten Abschwächung (vorteilhaft in dB ge-eicht).

Die Beziehung (8) zeigt, dass die gemessene Dämpfung von der Eingangsleistung  $P_{IN}$  unabhängig ist. Die Konstante A wird durch Überbrückung der unbekanntenen Dämpfung der Faser X ermittelt und die Abschwächung an  $Z_2$  mit Hilfe eines Null-Indikators auf den Kurzschlusswert (0 dB) eingestellt. Die praktisch verwirklichte Anordnung zeigt *Figur 3*, wobei nachstehend einige Erläuterungen über die einzelnen Blöcke und Komponenten gegeben werden.

## 21 Lichtquelle/Sender

Als Lichtquelle wird eine 5-mW-CW-Laser-Diode verwendet, die auf einem Kühlblock montiert ist. Die Tem-



**Fig. 3**  
**Dämpfungsmessplatz — Place de mesure de l'atténuation**  
 DET Detektor — Détecteur  
 Digit A-Meter — Ampèremètre numérique  
 DC-Strom — Source de courant continu  
 Chopper — Hacheur  
 Einkopplungsvorrichtung — Dispositif de couplage  
 Zu messende Objekt-Spleissung, Faser, Stecker — Objet à mesurer, épissure, fibre, connecteur  
 Buffer — Etage tampon  
 Umschalter — Commutateur  
 Abschwächer — Atténuateur  
 Null-Indikator — Indicateur de zéro  
 Kühlung/Heizung — Refroidissement/chauffage  
 Temperaturregler — Régulateur de température

La relation linéaire lumière-courant dans le convertisseur

$$i = k \cdot P \quad (4)$$

où k exprimé en A/W est la constante de conversion, permet de représenter ainsi qu'il suit la relation du pont à l'état d'équilibre (c'est-à-dire lorsque aucun courant ne circule dans l'indicateur de zéro, soit  $i_0 = 0$ )

$$i_4 \cdot Z_4 = i_2 \cdot Z_2 \quad (5)$$

Etant donné qu'on peut écrire pour les puissances optiques

$$P_{IN} = P_1 + P_3$$

on a

$$k \cdot P_3 \cdot \alpha_3 \cdot Z_4 = k \cdot P_1 \cdot \alpha_1 \cdot Z_2 \quad (6)$$

$\alpha_1$  et  $\alpha_3$  sont les atténuations dans la branche de référence AB, respectivement dans la branche de mesure AC. Pour  $\alpha_3$ , on peut écrire

$$\alpha_3 = \frac{P_1 \cdot Z_2}{P_3 \cdot Z_4} \cdot \alpha_1 \quad (7)$$

Si le rapport  $P_1/P_3$  (séparateur de rayons),  $\alpha_1$  et  $Z_4$  sont constants, on peut transformer la relation (7) en

$$\alpha_3 = A \cdot Z_2 \text{ où } A = \frac{P_1}{P_3} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{1}{Z_4} \quad (8)$$

Cela signifie que l'atténuation  $\alpha_3$  mesurée est directement proportionnelle à l'impédance  $Z_2$ , c'est-à-dire à l'atténuation réglée (l'atténuateur sera de préférence étalonné en dB).

La relation (8) montre que l'atténuation mesurée est indépendante de la puissance d'entrée  $P_{IN}$ . La constante A est déterminée par pontage de l'atténuation inconnue de la fibre X. L'atténuateur  $Z_2$  doit alors être ajusté sur la valeur de court-circuit (0 dB) à l'aide de l'indicateur de zéro. La *figure 3* indique comment le dispositif de mesure a été réalisé en pratique, certains blocs et composants étant expliqués ci-après.

## 21 Source lumineuse/émetteur

En tant que source lumineuse, on a utilisé une diode laser fonctionnant à 5 mW en régime continu, montée sur un bloc de refroidissement. Un élément de Peltier a permis de régler la température à + 15° C. Grâce à la bonne isolation thermique du bloc de refroidissement par rapport à l'environnement, les fluctuations de température n'ont pas dépassé 0,5° C. La diode laser est alimentée en courant continu et un ampèremètre numérique sert à mesurer le courant. Il est ainsi possible de régler la puissance optique à la valeur précise désirée.

## 22 Séparateur de rayons (fig. 3)

Il a pour mission de subdiviser le faisceau émis par la diode laser en un rayon de mesure et en un rayon de référence. Le rapport de subdivision choisi est d'environ 9:1, cette valeur étant peu critique; il importe toutefois

peratur wird mit einem Peltierelement auf  $+15^{\circ}\text{C}$  geregelt. Der ganze Kühlblock ist thermisch gut von der Umgebung isoliert, so dass die Temperaturschwankungen auf weniger als  $0,5^{\circ}\text{C}$  begrenzt sind. Die Diode wird mit Gleichstrom gespiesen, und ein digitales Ampèremeter zeigt den Laserdiodenstrom an. Es besteht somit die Möglichkeit, die optische Leistung genau auf einen bestimmten (gewünschten) Wert einzustellen.

## 22 Optische Weiche (Fig. 3)

Sie muss die von der Laserdiode abgegebene Leistung in den Mess- und Referenzstrahl teilen. Das Teilverhältnis wurde ungefähr 9:1 gewählt, da dieser Wert unkritisch ist; jedoch muss das Verhältnis kurz- und langfristig mit grosser Genauigkeit konstant bleiben.

Im Laufe der Arbeiten wurden einige Weichentypen ausprobiert. Eine einfache Lichtaufteilung von einer Faser in zwei andere bewährte sich wegen den ungleichen Modenstrukturen und verhältnismässig grossen internen Verlusten nicht. Eine Lichtaufteilung an einem dünnen Glasplättchen ergibt hingegen ein sehr konstantes Verhältnis mit etwa 90 % Transmission und 10 % Reflexion.

Da eine direkte Einkopplung von der Laserdiode nicht möglich ist, wurde eine Anordnung mit zwei Mikroskopobjektiven ausprobiert. Es ging darum, ein Faserende linear in ein anderes abzubilden. Mikroskopobjektive  $10\times 0,25$  ergaben die besten Ergebnisse. Man untersuchte auch noch eine direkte Einkopplung Laserdiode—Mikroskopobjektiv. Sie erwies sich jedoch als unbrauchbar, da das Transmissions/Reflexions-Verhältnis des Glasplättchens stark von der natürlichen Polarisation des Laserdiodenlichts abhängig ist. Schliesslich wurde eine Lösung mit einer etwa 15 m langen Depolarisationsglasfaser, die die Polarisationsabhängigkeit beseitigt, gefunden. Die Anordnung Laserdiode — 15 m Glasfaser — Mikroskopobjektiv — Teilungsglasplättchen — Mikroskopobjektiv — Glasfaser hat sich bestens bewährt.

Der konstante Lichtstrahl wird nach dem ersten Mikroskopobjektiv mit Hilfe eines Zerhackers (Chopper) in annähernd rechteckige Impulse mit einer Frequenz von 800 Hz umgewandelt.

## 23 Glasfaservorspann

Eine der wichtigsten Voraussetzungen, um richtige Dämpfungswerte zu erhalten, ist eine Lichtstruktur, deren Energieverteilung sich unverändert im Gleichgewicht befindet. Dies setzt folgendes voraus:

- ins Prüfobjekt (Glasfaser, Stecker usw.) dürfen keine Leckwellen eingekoppelt werden
- die Umwandlung von Moden höherer Ordnung in Moden niedrigerer Ordnung und umgekehrt muss stabilisiert sein, so dass das Modenverhältnis im Gleichgewicht ist
- es darf kein Licht in den Mantel eingekoppelt werden

Es gibt mehrere Möglichkeiten, um Licht mit solchen Eigenschaften zu erzeugen. Verschiedene vorgeschaltete «Scrambler» und ähnliche Elemente sind vor allem für Stufenindexfasern geeignet. Die Erfahrung zeigt, dass bei instabiler Lichtstruktur mit erhöhter Dämpfung im ersten Kilometer der Faserlänge gerechnet werden muss. Eine andere einfache Methode, die wir anwenden,

que le rapport soit extrêmement constant à court et à long terme.

Pendant les travaux, on essaya divers types de séparateurs. Une répartition simple de la lumière d'une fibre sur deux autres ne donna pas de bons résultats, en raison des structures dissemblables des modes et des pertes internes relativement grandes. Un rapport très constant d'environ 90 % de transfert et 10 % de réflexion fut en revanche obtenu au moyen d'une mince plaquette de verre.

Vu qu'un couplage direct de la diode laser était impossible, on essaya une disposition comprenant deux objectifs de microscope.

Il s'agissait de projeter linéairement l'image d'une extrémité de la fibre sur l'autre extrémité. Des objectifs de microscope  $10\times 0,25$  donnèrent les meilleurs résultats. On examina aussi s'il était possible de coupler directement la diode laser à l'objectif de microscope. Cette solution se révéla cependant inutilisable, vu que le rapport transmission/réflexion de la plaquette de verre dépendait fortement de la polarisation naturelle de la lumière de la diode laser.

Finalement, on trouva une solution qui consistait dans l'emploi d'une fibre de dépolarisation d'environ 15 m supprimant l'effet de dépendance de la polarisation. La disposition diode laser — 15 m de fibre de verre — objectif de microscope — plaquette de subdivision — objectif de microscope — fibre de verre a donné d'excellents résultats.

Après le premier objectif de microscope, un hacheur (chopper) transforme le rayon lumineux constant en une série d'impulsions quasi rectangulaires d'une fréquence de 800 Hz.

## 23 Fibre de verre intercalaire

Si l'on veut obtenir des valeurs d'atténuation correctes, il est essentiel de disposer d'une structure lumineuse constante et parfaitement équilibrée sous le rapport de la répartition de l'énergie. Telle est notamment le cas lorsque:

- aucune onde de fuite (de dispersion) n'est injectée dans l'échantillon (fibre de verre, connecteur, etc.)
- la conversion des modes d'ordre plus élevé en modes d'ordre moins élevé et inversement doit être stabilisée de manière que le rapport des modes soit équilibré
- aucune lumière ne doit être injectée dans le manteau

Il existe plusieurs possibilités de produire de la lumière possédant ces propriétés. L'intercalation de divers «brouilleurs» ou autres éléments semblables convient surtout aux fibres à saut d'indice. L'expérience montre qu'il faut s'attendre à une atténuation plus prononcée dans le premier kilomètre de fibre lorsque la structure de la lumière est instable. Une autre méthode simple, que nous utilisons, consiste à intercaler un kilomètre de fibre d'égalisation entre le séparateur et les échantillons. Les expériences faites au cours des mesures ont montré que la structure de la lumière était constante après cette fibre intercalaire et qu'il était possible de maintenir des valeurs d'atténuation correctes.

Chaque défaut dans la structure des modes, la présence de lumière dans le manteau, les ondes de fuite, etc., conduisent à une mesure erronée et à des valeurs d'atténuation plus élevées.

besteht darin, einen Kilometer Faser als Vorspann zwischen Weiche und Prüfobjekte einzufügen. Die anhand der durchgeführten Messungen gewonnene Erfahrung zeigt, dass die Lichtstruktur nach dem Vorspann unverändert bleibt und richtige Dämpfungswerte erhalten werden.

Jeder Fehler in der Modenstruktur, Anwesenheit von Mantellicht, Leckwellen usw. bewirkt eine falsche Messung mit erhöhten Dämpfungswerten.

Übergänge von einem Faserkerndurchmesser in einen anderen ebenso wie der Anschluss von zwei Fasern mit unterschiedlicher numerischer Apertur müssen vermieden werden. Die besten Ergebnisse werden mit einer Vorspannfaser vom gleichen Typ wie der Prüfling erzielt.

Sind die Fasern voll ausgeleuchtet, so gilt die Regel, dass die kleinsten Dämpfungsmesswerte auch die richtigen sind.

## 24 Detektor/Empfänger

Das Schema ist in *Figur 4* dargestellt. Eine grossflächige Fotodiode ohne Vorspannung arbeitet im fotovoltaischen Bereich zusammen mit dem anschliessenden Impedanzwandler auf  $R_i = 300 \Omega$ . Die Schaltung ist bezüglich des Rauschens für NF-Anwendung sehr geeignet und erlaubt zudem den direkten Anschluss an den Abschwächer (300  $\Omega$ , 80 dB asymmetrisch). Die beiden Detektoren im Referenz- und Messzweig sind identisch. Als Nullindikator wird zum Beispiel ein Zweikanaloszilloskop hoher Empfindlichkeit verwendet. Auf dem Bildschirm wird ein konstantes Referenzsignal mit jenem des Prüflings verglichen und auf den gleichen Pegel mit Hilfe des Abschwächers abgeglichen. Der dabei eingestellte Wert am Abschwächer entspricht der Dämpfung im Prüfling in dB (Faser, Stecker, Spleissung).

## 25 Einkopplungsvorrichtung

Der grösste Nachteil der Abschneidemethode liegt in der Notwendigkeit, bei jeder Messung ein Stück Faser abzuschneiden, um die Einkopplungsbedingungen konstant halten zu können. Mit Hilfe einer besonders entwickelten optomechanischen Vorrichtung kann nun aber die Einkopplung so gut reproduzierbar gemacht werden, dass eine zerstörungsfreie Referenzmessung möglich ist.

Der Grundgedanke liegt darin, ein stabiles und zuverlässiges Positionieren der zwei aneinander anzuschlies-

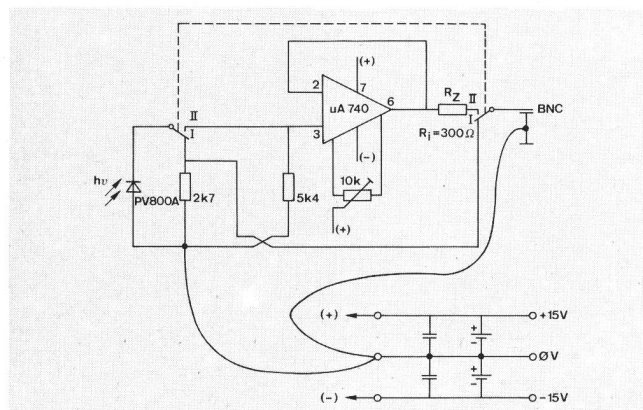


Fig. 4  
Detektor — Détecteur  
BNC Stecker — Connecteur

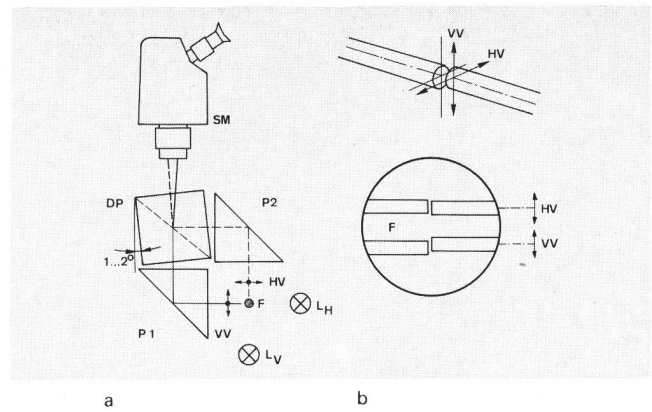


Fig. 5

### Einkopplungsvorrichtung — Dispositif de couplage

SM Stereomikroskop 40  $\times$  — Microscope stéréoscopique 40  $\times$

P1, P2 Prismen — Prismes

Lv, L<sub>H</sub> Lampen für die horizontale und vertikale Abbildung — Lampes pour représentation horizontale et verticale des fibres

F Faser — Fibre

a Optische Anordnung — Dispositif optique

b Sichtfeld im Mikroskop — Champ de vision dans le microscope

DP Halbdurchsichtiger Würfel — Cube semi-transparent

HV Horizontale Verstellung und Abbildung — Représentation de l'alignement horizontal

VV Vertikale Verstellung und Abbildung — Représentation de l'alignement vertical

Il y a lieu d'éviter la transition entre des cœurs de fibres de diamètres différents ainsi que le raccordement de deux fibres ayant des ouvertures numériques dissemblables. Les meilleurs résultats sont obtenus avec une fibre intercalaire du même type que l'échantillon.

Si les fibres sont entièrement éclairées, on peut appliquer la règle selon laquelle les plus petites valeurs d'atténuation mesurées sont les plus correctes.

## 24 Détecteur/récepteur

Le schéma en est représenté à la *figure 4*. Une photodiode de grande surface sans polarisation fonctionne dans la plage photovoltaïque; elle est associée à un convertisseur d'impédances  $R_i = 300 \Omega$ . En ce qui concerne le souffle, ce circuit convient particulièrement aux applications BF et permet de plus le raccordement direct d'un atténuateur (300  $\Omega$ , 80 dB asymétrique). Les deux détecteurs du circuit de référence et du circuit de mesure sont identiques. En tant qu'indicateur de zéro, on peut utiliser, par exemple, un oscilloscope bicanal de haute sensibilité. On compare sur l'écran un signal de référence constant à celui de l'échantillon, l'égalisation des niveaux se faisant à l'aide de l'atténuateur. La valeur réglée sur l'atténuateur correspond à l'atténuation de l'échantillon en dB (fibre, connecteur, épissure).

## 25 Dispositif de couplage (coupleur)

Le plus grand inconvénient de la méthode par coupe réside dans la nécessité de retrancher une section de fibre à chaque mesure, en vue de maintenir les conditions de couplage constantes. A l'aide d'un dispositif opto-mécanique spécialement développé, on peut reproduire les conditions de couplage avec une telle perfection qu'une mesure avec fibre de référence est devenue possible sans destruction de matériel.

Ce système de positionnement représente une amélioration sensible de celui qui est décrit sous [4]. Il peut

senden Faserenden in den drei X-Y-Z-Richtungen unter gleichzeitiger Beobachtung zweier Ebenen zu ermöglichen. Eine ähnliche Positionierungseinrichtung wurde bereits früher in [4] beschrieben. Die Anordnung wurde demgegenüber jedoch wesentlich verändert und verbessert. Es wurde damit eine kompakte Bauweise erzielt, welche eine universelle Anwendung überall dort erlaubt, wo zwei Faserenden genau aufeinander ausgerichtet werden müssen.

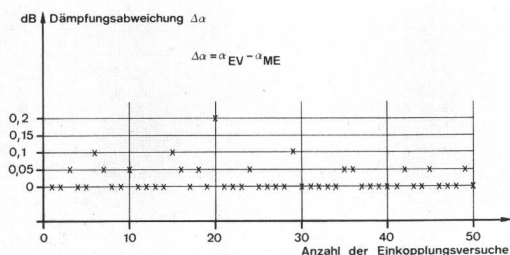
Näheres ist in *Figur 5* dargestellt. Mit zwei Prismen und einem halbdurchlässigen Strahlteilungswürfel sind im selben Sichtfeld des Stereomikroskops zwei Projektionen in Y- und Z-Richtung zu sehen. Der Würfel wird um einen kleinen Winkel von etwa  $1^\circ \dots 2^\circ$  um die X-Axe gedreht, womit eine gewünschte kleine Verschiebung der beiden Bilder entsteht. Die Schärfenebene ist bei dieser Anordnung für beide Richtungen gleich, so dass beide Bilder gleich scharf erscheinen.

Die Faserenden müssen vorerst genau senkrecht zur Achse geschnitten werden. Immersionsöl zwischen den Faserenden verbessert die optische Anpassung. Die nach dieser Methode positionierte Faser Verbindung weist eine durchschnittliche Dämpfung von  $0,25 \pm 0,1$  dB auf, die vom gemessenen Wert abgezogen werden muss. Die Streuwerte sind in *Figur 6* angegeben. Beide Faserenden können in beliebige passende Faserstecker oder -halter montiert werden. *Figur 7* zeigt die Einkopplungsvorrichtung.

### 3 Erzielte Ergebnisse

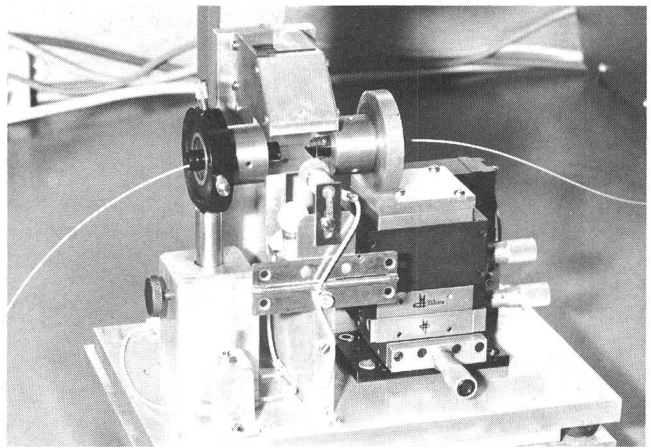
Mit dieser Apparatur sind verschiedene Fasern, Stecker und Spleissungen sowie die Verschweissungen von zwei Fasern untersucht worden. Es ist möglich, auch Fasern mit anderen Parametern (andere Kerndurchmesser, andere numerische Apertur) auszumessen; das Depolarisationsfaserstück sowie der Vorspann müssen entsprechend ausgetauscht werden. Der Rest der Apparatur bleibt unverändert. *Figur 8* zeigt die Gesamtordnung der Messapparatur, wobei deren erreichte Eigenschaften in *Tabelle 1* zusammengefasst sind.

Von den erzielten Eigenschaften sind vor allem die hohe Auflösung und Genauigkeit hervorzuheben. Eben diese sind wichtig bei der Messung von kleinen Dämpfungen, wie sie beispielsweise verschiedene Stecker,



**Fig. 6**  
**Streuwerte der Einkopplung — Ecarts par rapport à la valeur optimale**  
 $\alpha_{ME}$  Dämpfung bei Faser-Positionierung auf Maximum des Eingangssignals — Atténuation lorsque les fibres sont alignées sur le maximum du signal d'entrée  
 $\alpha_{EV}$  Dämpfung bei Faser-Positionierung mit Einkopplungsvorrichtung — Atténuation lorsque les fibres sont alignées au moyen du dispositif de couplage

Dämpfungsabweichung — Déviation d'atténuation  
 Anzahl der Einkopplungsversuche — Nombre des essais de couplage



**Fig. 7**  
**Einkopplungsvorrichtung — Dispositif de couplage**

être utilisé dans chaque cas où il s'agit d'aligner exactement deux extrémités de fibre. Le principe fondamental de ce système de positionnement stable et sûr consiste à mettre face à face les deux fibres à connecter dans les trois axes XYZ avec observation simultanée de deux plans.

Les détails ressortent de la *figure 5*. On utilise un microscope stéréoscopique dans le champ de vision duquel se trouvent deux prismes et un cube séparateur. On peut ainsi observer deux projections dans les axes Y et Z. En faisant tourner légèrement le cube dans l'axe X d'un angle d'environ  $1^\circ \dots 2^\circ$ , on obtient le petit décalage voulu des deux images. Pour cette disposition, les plans de netteté sont les mêmes dans les deux directions, si bien que les deux images apparaissent également nettes.

Il s'agit d'abord de couper les extrémités des fibres d'une manière parfaitement plane et perpendiculaire à leur axe. L'adaptation optique entre les deux extrémités de fibre est améliorée à l'aide d'huile d'immersion. Les connexions entre fibres réalisées selon cette méthode de positionnement présentent en moyenne une atténu-

**Tabelle 1. Technische Spezifikationen**  
**Tableau 1. Spécifications techniques**

Optischer Sender:	Laser Diode-LCW 5; $\lambda = 820$ nm
Emetteur optique:	Diode laser-LCW 5; $\lambda = 820$ nm
Taktfrequenz:	Etwa 800 Hz, Rechteck 1:1
Frequenz du hacheur:	Environ 800 Hz, signaux carrés 1:1
Optischer Ausgang:	Etwa 100 $\mu$ W cw
Sortie optique:	Environ 100 $\mu$ W cw
Optischer Empfänger:	Grossflächige Photodiode PV 800 A/Buffer
Récepteur optique:	Photodiode de grande surface PV 800 A/étage tampon
Dämpfungsbereich:	0...50 dB
Plage d'atténuation:	0...50 dB
Auflösung:	0,05 dB
Pouvoir de résolution:	0,05 dB
Messgenauigkeit:	$\pm 0,1$ dB (kurzzeitig); $\pm 0,2$ dB (langzeitig)
Précision de mesure:	$\pm 0,1$ dB (à court terme); $\pm 0,2$ dB (à long terme)
Messbare Fasertypen:	Beliebige (zurzeit für 125/50 $\mu$ m eingerichtet)
Types de fibres mesurables:	Quelconque (actuellement pour 125/50 $\mu$ m)
Numerische Apertur:	< 0,2
Ouverture numérique:	< 0,2
Temperaturbereich:	0...40 °C (ausser)
Gamme de température:	0...40 °C (à l'extérieur)



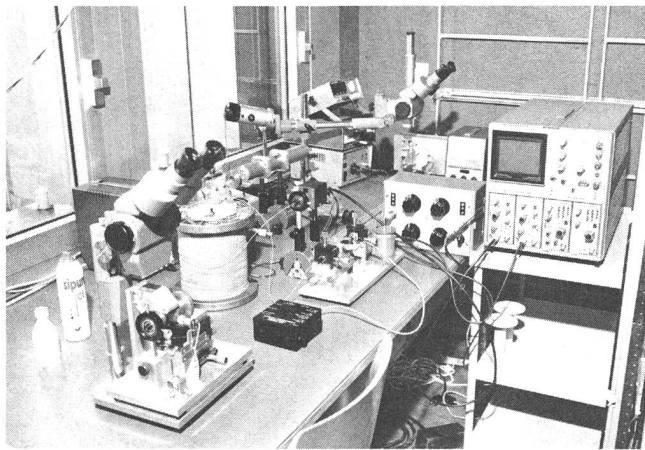


Fig. 8  
Gesamtanordnung der Messapparatur — Disposition des appareils de mesure

Spleissungen und Verschweissungen aufweisen. Von Vorteil ist auch die Verwendung einer Laserdiode mit der gleichen Lichtwellenlänge ( $\lambda = 820 \text{ nm}$ ), wie sie praktisch in den Glasfasernachrichtensystemen eingesetzt werden. Die Messapparatur wurde für Laboranwendungen konzipiert. Für den Feldeinsatz, wo Sender und Empfänger voneinander weit entfernt sind, ist noch eine Änderung der Apparatur notwendig. Sie besteht darin, dass der optische Sender in diesem Fall eine definierte und konstante Lichtleistung abstrahlen muss. Das Signal für die Regelrückkopplung kann mit Vorteil dem Referenzweig entnommen werden (Punkt B in Fig. 2). Mit der bewährten Einkopplungsvorrichtung kann die erforderliche konstante Lichtleistung mit absoluter Sicherheit in die abgehende Faser eingekoppelt werden. Somit werden die Sendebedingungen bestens erfüllt. Auf der Empfangsseite genügt im einfachsten Fall der oben beschriebene Fotodetektor mit anschließendem selektivem Voltmeter. Von Vorteil wäre die Verwendung einer NF-Sinus-Modulation des Signals (zum Beispiel mit einer Frequenz von 10 kHz) anstelle des mechanischen Choppers. Diese Anpassungen sind zurzeit im Gange.

#### 4 Schlussfolgerungen

Mit der entwickelten Anlage steht eine Dämpfungsmessapparatur zur Verfügung, die wesentlich zuverlässiger und genauer arbeitet als die meisten bisher käuflichen Geräte. Die verwendete Messmethode ist gegenwärtig allen anderen hier ebenfalls kurz beschriebenen vorzuziehen. Eine praktische Erprobung erfuhr die Apparatur beim Aufbau der ersten Glasfaserversuchsstrecke zwischen zwei Telefonzentralen in Bern. So wurden die Abnahmemessungen für die Kabelabschnitte, die Dämpfungskontrolle nach deren Verlegung sowie nach der Verbindung der Kabel durch Stecker und Spleissungen mit dieser Apparatur ausgeführt. Die durchgeführten Messarbeiten zeigten damit die Tauglichkeit der Apparatur auch unter feldmässigen Bedingungen.

#### Bibliographie

- [1] Keck D. B. and Tynes A. R. Spectral response of low loss optical waveguides. Easton, Appl. Optics 11 (1972), p. 1502.
- [2] Tynes A. R. Measuring loss in optical fibers. Murray Hill, Bell Laboratories Record, November 1972.
- [3] Personick S. D. Photon Probe — An Optical-Fiber Time-Domain Reflectometer. Murray Hill, Bell Syst. Tech. J. 56 (1977) 3, p. 355.

tion de  $0,25 \pm 0,1 \text{ dB}$ , qui doit être déduite de la valeur mesurée. La figure 6 montre les écarts par rapport à la valeur optimale (0 dB). Les deux extrémités des fibres peuvent être montées dans des connecteurs ou des supports convenables quelconques. La figure 7 montre le dispositif de couplage.

#### 3 Résultats obtenus

L'appareillage décrit a servi à examiner diverses fibres, connecteurs et épissures, ainsi que des soudures de deux fibres. Il permet aussi de mesurer des fibres ayant des paramètres différents (autres diamètres de cœur, ouvertures numériques non identiques); la fibre de dépolarisation ainsi que la fibre intercalaire doivent être échangées en conséquence. Les autres parties du dispositif restent inchangées. La figure 8 illustre l'ensemble de l'appareillage de mesure, cependant que les spécifications techniques sont récapitulées au tableau I.

Parmi ces caractéristiques, il faut surtout relever la haute résolution et la précision de l'ensemble. Ces propriétés sont particulièrement importantes dans la mesure de faibles atténuations, comme elles se présentent notamment dans les divers connecteurs, épissures et soudures. Un autre avantage réside dans l'emploi d'une diode laser possédant la même longueur d'onde ( $\lambda = 820 \text{ nm}$ ) que celle des sources utilisées en pratique dans les systèmes de télécommunications à fibres optiques. Le dispositif de mesure, conçu pour l'emploi en laboratoire, devra encore être modifié pour son utilisation sur le terrain où l'émetteur et le récepteur sont très éloignés l'un de l'autre. Cette modification réside dans le fait que l'émetteur optique devra rayonner une puissance lumineuse définie et constante. Il est ici avantageux de prélever le signal de la contre-réaction de régulation sur la branche de référence (point B de la fig. 2). Le dispositif de couplage éprouvé permet d'injecter dans la fibre la puissance lumineuse constante avec toute la sécurité nécessaire. Il sera ainsi parfaitement satisfait aux conditions d'émission. Côté réception, il suffira de disposer, dans le cas le plus simple, du photodétecteur décrit suivi d'un voltmètre sélectif. Il pourrait être favorable d'adopter une modulation sinusoïdale à basse fréquence du signal (par exemple avec une fréquence de 10 kHz), à la place du hacheur mécanique. On s'emploie actuellement à réaliser ces adaptations.

#### 4 Conclusions

L'installation développée représente un équipement de mesure d'atténuation nettement plus fiable et plus précis que la plupart des instruments commercialisés. Actuellement, la méthode de mesure utilisée doit être préférée à toutes les autres qui ont aussi été brièvement esquissées. L'appareillage a été essayé en pratique lors de la pose du premier câble à fibres optiques reliant deux centraux de Berne. Le dispositif a notamment servi aux mesures de réception des sections de câble, au contrôle de l'atténuation après leur mise en place ainsi qu'après la jonction des câbles au moyen de connecteurs et d'épissures. Les mesures réalisées ont montré le bon fonctionnement de l'appareillage dans des conditions pratiques.

- [4] Jocteur R. et Tardy A. 2<sup>e</sup> Colloque européen sur les transmissions par fibres optiques. Paris, 23—30 septembre 1976, p. 263.