

# Die erste optische 34-Mbits/s-Versuchsanlage in der Schweiz = Première installation d'essai à fibres optiques à 34 Mbit/s en Suisse

Autor(en): **Käser, André / Glanzmann, Peter**

Objektyp: **Article**

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

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

Heft 7

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-876164>

## **Nutzungsbedingungen**

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

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

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

## **Haftungsausschluss**

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

# Die erste optische 34-Mbit/s-Versuchsanlage in der Schweiz

## Première installation d'essai à fibres optiques à 34 Mbit/s en Suisse

André KÄSER, Bern, und Peter GLANZMANN, Zürich

621.391.62./63.681.7.068

*Zusammenfassung. Die Einführung der optischen Übertragungstechnik erfordert ein frühzeitiges Abklären von grundsätzlichen Fragen und möglichen Problemen, die bei dieser neuen Technik auftreten. Eine 34-Mbit/s-Leitungs-ausrüstung wird vorgestellt. Die wichtigsten Eigenschaften und die ersten Messresultate werden besprochen.*

*Résumé. L'introduction de la technique de transmission par voie optique exige qu'on élucide en temps opportun les questions fondamentales et les problèmes que soulève cette nouvelle technique. Les auteurs présentent un équipement de ligne à 34 Mbit/s et traitent des principales caractéristiques du système ainsi que des premiers résultats de mesure enregistrés.*

### Il primo impianto sperimentale di trasmissione su fibre ottiche a 34 Mbit/s in Svizzera

*Riassunto. Nella fase di introduzione della tecnica di trasmissione su fibre ottiche è necessario definire per tempo le questioni fondamentali e i possibili problemi che possono manifestarsi con questa nuova tecnica. Viene presentato un equipaggiamento di linea a 34 Mbit/s. Si discutono le caratteristiche più importanti e i primi risultati di misurazione.*

## 1 Einführung

Mit der Einführung der digitalen Vermittlung ist es notwendig, digitale Übertragungswege bereitzustellen. Im Bezirksnetz werden vorwiegend 2-, 8- und 34-Mbit/s-Systeme benötigt. Die letzten beiden Bitraten werden zurzeit über Minikoaxialkabel übertragen. Die Einführung der Glasfaserübertragung wird den Bedarf an Zwischenverstärkern drastisch reduzieren, insbesondere wenn man die rasch fortschreitende Entwicklung der optischen Komponenten für die Übertragung im zweiten Fenster (1300 nm) berücksichtigt.

Nach den ersten Versuchen auf der Strecke Bern/Bollwerk—Bern/Mattenhof mit einem 8-Mbit/s-System wurde beschlossen, im Technischen Zentrum PTT in Ostermündigen eine weitere Glasfaserversuchsanlage zu bauen, um grundsätzliche Probleme der optischen Übertragungstechnik zu untersuchen und verschiedene Leitungs-ausrüstungen versuchsweise einzusetzen.

## 2 Das Übertragungssystem

### 2.1 Allgemeines

Die optische 34-Mbit/s-Leitungs-ausrüstung 8 TR 683 der Philips AG gehört zu einem vollständigen Programm optischer Übertragungssysteme, die den Bereich von der ersten bis zur vierten digitalen Hierarchiestufe gemäss den relevanten CCITT-Empfehlungen abdecken.

Das Übertragungssystem (Fig. 1) besteht grundsätzlich aus zwei Teilen, nämlich der Leitungs-ausrüstung und den Zwischenverstärkern.

Die Zwischenverstärker sind entweder für Lokal- oder für Fernspeisung ausgelegt. Im schweizerischen Bezirksnetz sind nur lokal gespeisene Zwischenverstärker vorgesehen. Diese sind in Gestellen, die sich in Verstärkerstellen befinden, installiert.

Die ferngespeisten Zwischenverstärker können in luftdichten Zwischenverstärkerkasten untergebracht werden.

## 1 Introduction

La commutation numérique étant appliquée, il est nécessaire de disposer de voies de transmission numériques. Dans le réseau rural, on fait appel essentiellement à des systèmes à 2, 8 et 34 Mbit/s. Les deux derniers débits binaires sont acheminés pour le moment par câbles minicoaxiaux. L'introduction de la transmission par fibres de verre va réduire considérablement le nombre d'amplificateurs intermédiaires nécessaires, en particulier si l'on tient compte du développement très rapide des composants optiques servant à la transmission dans la deuxième fenêtre (1300 nm).

Après les premiers essais sur le trajet Berne/Bollwerk — Berne/Mattenhof effectués avec un système à 8 Mbit/s, il a été décidé de construire, au Centre tech-

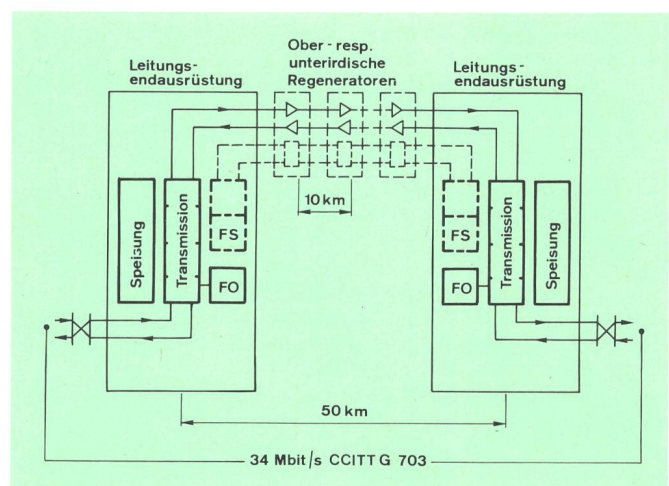


Fig. 1  
Optisches 34-Mbit/s-Übertragungssystem — Système de transmission optique à 34 Mbit/s

FS Fernspeisung — Téléalimentation

FO Fehlerortung — Télésurveillance

Leistungsendausrüstung — Equipement de terminaison de lignes

Ober- respektive unterirdische Regeneratoren — Régénérateurs souterrains ou en surface

Speisung — Alimentation

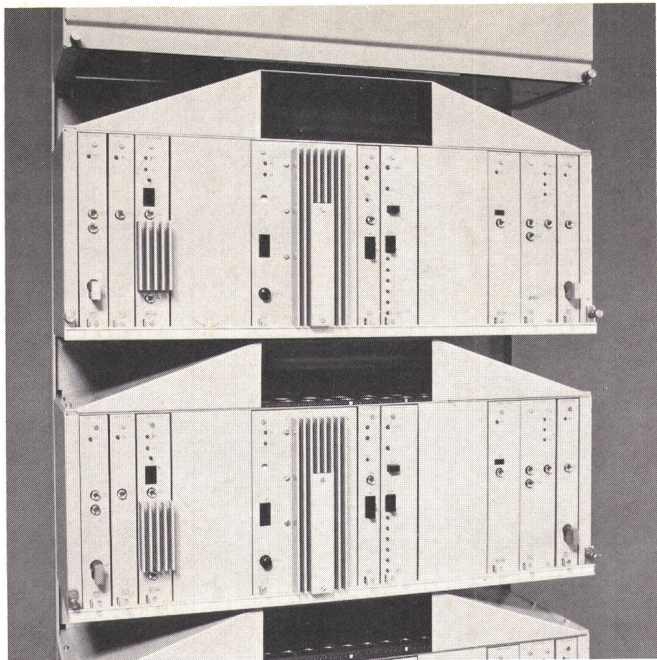


Fig. 2  
Endausrüstungsteilgestelle für zwei Systeme — Bâti d'une partie des équipements terminaux pour deux systèmes

## 22 Die Leitungsendausrüstung

Die Leitungsendausrüstung (Fig. 2) ist in einem Baugruppenträger untergebracht. Ein Gestell kann bis zu acht Systeme aufnehmen. Die technischen Daten sind in Tabelle I zusammengestellt.

Tabelle I. Technische Daten der 34-Mbit/s-Leitungsendausrüstung

Trennstelle	Gemäss CCITT-Empfehlung G 703 Trennstellencode: HDB3 Bitrate 34 368 kbit/s
Leitungscode	5B/6B
Zeichenrate	41 242 kBd
Optische Sendeleistung	1 mW oder 0 dBm
Wellenlänge	830...850 nm
Optische Empfangsleistung	Mittelwert für BER <sup>1</sup> ≤ 10 <sup>-10</sup> 5 nW oder -53 dBm
Automatischer Regelbereich (AGC)	45 dB (optisch)
Alarmierung Sendeseite	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kein Signal von der Trennstelle</li> <li>- 5B/6B-Coder ausser Synchronisation</li> <li>- Kein Eingangssignal am optischen Sender</li> <li>- Zu hoher Laser-Vorstrom</li> </ul>
Alarmierung Empfangsseite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zu hohe Fehlerrate: BER ≥ 10<sup>-6</sup> BER ≥ 10<sup>-3</sup></li> <li>- Kein Eingangssignal</li> <li>- 5B/6B-Decoder ausser Synchronisation</li> </ul>
Senden des AIS <sup>2</sup> -Signals	Bei Verlust oder BER ≥ 10 <sup>-3</sup> des sendeseitigen Trennstellensignals beziehungsweise des empfangsseitigen Leitungssignals

<sup>1</sup> BER = Bit Error Rate (Bitfehlertrate)

<sup>2</sup> AIS = Alarm Indication Signal (Alarmsignal)

### 221 Sendeseite

Figur 3 zeigt das Blockschaltbild der Leitungsendausrüstung. Das von der 34-Mbit/s-Trennstelle ankommende

Signal wird an der Trennstelle in ein optisches Signal umgewandelt. Die optische Übertragung erfolgt über ein Glasfaserkabel zum Empfänger. Der Empfänger wandelt das optische Signal wieder in ein elektrisches Signal um, das an der Trennstelle weiterverarbeitet wird.

## 2 Le système de transmission

### 21 Généralités

L'équipement optique de lignes à 34 Mbit/s 8 TR 683 de la maison Philips SA fait partie d'un programme complet de systèmes de transmission optiques qui comprend les domaines allant du 1<sup>er</sup> au 4<sup>e</sup> niveau de la hiérarchie numérique, définie par les Avis du CCITT en la matière.

Le système de transmission (fig. 1) comprend principalement deux parties, à savoir l'équipement de terminaison de lignes et les amplificateurs intermédiaires.

Les amplificateurs intermédiaires sont prévus soit pour être alimentés localement, soit pour être téléalimentés. Dans le réseau rural suisse, seuls des amplificateurs intermédiaires alimentés localement seront installés. Ils seront montés dans des bâtis qui se trouvent dans les stations d'amplification.

Les amplificateurs intermédiaires téléalimentés peuvent être logés dans des coffrets d'amplificateurs intermédiaires étanches.

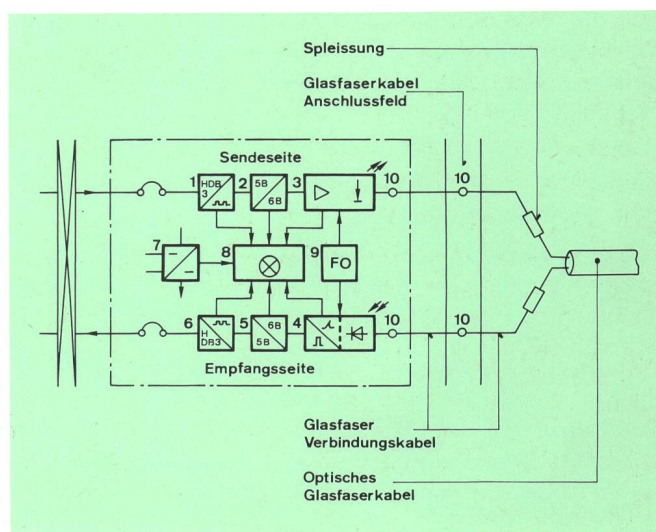


Fig. 3  
Blockschema der Leitungsendausrüstung — Schéma bloc de l'équipement de terminaison de lignes

- 1 HDB3-Decoder — Décodeur HDB3
  - 2 5B/6B-Coder — Codeur 5B/6B
  - 3 Sendeseitige Ausgangseinheit (Laser) — Unité de sortie côté émission (laser)
  - 4 Empfangsseitige Eingangseinheit (APD) — Unité d'entrée côté réception (APD)
  - 5 5B/6B-Decoder — Décodeur 5B/6B
  - 6 HDB3-Coder — Codeur HDB3
  - 7 Speisung — Alimentation
  - 8 Alarmeinheit — Unité d'alarme
  - 9 Fehlerortung — Localisation des dérangements
  - 10 Glasfaserstecker — Connecteur de fibres optiques
  - FO Fehlerortung — Télésurveillance
- Spleissung — Epissure  
Glasfaserkabel — Câble à fibres de verre  
Anschlussfeld — Point de raccordement  
Glasfaser-Verbindungskabel — Câble de jonction à fibres de verre  
Optisches Glasfaserkabel — Câble à fibres optiques  
Sendeseite — Côté émission  
Empfangsseite — Côté réception

mende Signal wird vom *HDB3-Decoder* entzerrt, regeneriert und anschliessend in einen binären Bitstrom decodiert. Die 34-Mbit/s-Taktregenerierung wird mittels eines gesteuerten phasenstarrten Oszillators ausgeführt.

Im *5B/6B-Coder* wird das Binärsignal umcodiert und verwürfelt. Die Anforderungen an den Leitungscodierung für optische Übertragung sind zu einem grossen Teil gleich wie die für «konventionelle» digitale Übertragung. Da es die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Komponenten nicht ermöglichen, mehr als zwei Signalpegel zu gebrauchen, wurde ein Binärcode gewählt. Dieser soll die folgenden Bedingungen erfüllen:

- genügende Taktinformation
- keine Gleichstrom- und nur wenig tieffrequente Komponenten im Leistungsspektrum
- Überwachung der Übertragungsqualität während des Betriebes möglich
- rasche Synchronisation des Decoders
- geringe Erhöhung der Zeichenrate

Als Kompromiss zwischen diesen sich zum Teil widersprechenden Anforderungen wurde ein 5B/6B-Code gewählt. Die Bitrate wird dabei auf 41 242 kBd angehoben. Von den 64 möglichen Ausgangswörtern des 5B/6B-Codes gibt es 20 mit drei «1» und drei «0», 15 mit vier «1» und 15 mit vier «0». Um das 5B-Eingangswort zu übersetzen, sind nur 32 Kombinationen nötig. Es ist nun möglich, eine «2-Moden-Codierung» zu bestimmen, in der der positive Mode nur Wörter mit keiner oder positiver Disparität, der negative Mode nur Wörter mit keiner oder negativer Disparität enthält. Wird nun nach einem Wort die «laufende digitale Summe» (LDS) negativ, nimmt man das folgende Wort aus dem positiven Mode und umgekehrt. Die resultierende Codetabelle (*Tab. II*) wurde so gewählt, dass der mittlere Fehlermultiplikationsfaktor (FMF = Average error multiplication factor) minimal wird. Der erreichte mittlere FMF ist 1,18125.

Die maximale Anzahl sich folgender gleicher Zeichen ist 5, die Wahrscheinlichkeit eines Modewechsels ist 0,5915.

Die «laufende digitale Summe» (LDS) des Leitungssignals kann nur sieben Werte annehmen. Am Ende eines Codewortes ist die LDS auf zwei Werte (+1 oder -1) begrenzt. Dies ermöglicht eine Fehlerüberwachung während des Betriebes.

Um eine möglichst hohe Transparenz des Systems zu gewährleisten, wird der Bitstrom mit einem 31stufigen Scrambler vor der 5B/6B-Codierung verwürfelt. Auf der Empfangsseite wird am Ausgang des 5B/6B-Decoders ein entsprechender selbstsynchronisierender Entwürfler eingesetzt. Der Verwürfelungsprozess bewirkt eine bessere Taktgeneration und eine raschere Blocksynchronisation im 5B/6B-Decoder.

Die *sendeseitige Ausgangseinheit* (Laser) (*Fig. 4*) überführt das Signal vom 5B/6B-Coder in ein optisches NRZ-Signal in die Ausgangsfasern des Lasermoduls. Die mittlere Ausgangsleistung des Lasers wird geregelt. Dazu wird ein Teil des optischen Ausgangssignals über eine Fotodiode zurückgekoppelt. Zum Schutz des Lasers dienen die folgenden Massnahmen:

- Bei fehlendem Eingangssignal wird der Laser abgeschaltet, um ein automatisches Hochregeln, das beim

## 22 L'équipement de terminaison de lignes

L'équipement de terminaison de lignes (*fig. 2*) est monté dans un châssis. Un bâti peut recevoir huit systèmes au maximum. Les caractéristiques techniques ressortent du *tableau I*.

Tableau I. Caractéristiques techniques de l'équipement de terminaison de lignes à 34 Mbit/s

Interface	Selon Avis G 703 du CCITT Code d'interface: HDB 3 Débit binaire 34 368 kbit/s
Code de ligne	5B/6B
Vitesse de transmission	41 242 kBd
Puissance d'émission optique	1 mW ou 0 dBm
Longueur d'onde	830...850 nm
Puissance de réception optique	Valeur moyenne pour $BER^1 \leq 10^{-10}$ 5 nW ou -53 dBm
Plage de régulation automatique (AGC)	45 dB (optique)
Transmission d'alarme côté émission	– Aucun signal de l'interface – Code 5B/6B désynchronisé – Aucun signal d'entrée sur l'émetteur optique – Courant de polarisation du laser trop élevé
Transmission d'alarme côté réception	Taux d'erreurs trop élevé: $BER \geq 10^{-6}$ $BER \geq 10^{-3}$ – Aucun signal d'entrée – Décodeur 5B/6B désynchronisé
Emission du signal SIA <sup>2</sup>	En cas de perte ou si $BER \geq 10^{-3}$ du signal de l'interface côté émission ou du signal de ligne côté réception

<sup>1</sup> BER = Bit Error Rate (taux d'erreurs sur les bits)

<sup>2</sup> SIA = Signal d'indication d'alarme

### 221 Côté émission

La *figure 3* montre le schéma bloc de l'équipement de terminaison de lignes. Le signal arrivant de l'interface à 34 Mbit/s est égalisé par un *décodeur HDB3*, régénéré, puis décodé en un flux binaire. La régénération de rythme à 34 MHz s'effectue à l'aide d'un oscillateur à verrouillage de phase.

Le signal binaire est brouillé et transcodé dans le *codeur 5B/6B*. Les exigences posées au code de ligne pour la transmission par voie optique sont pour la plupart les mêmes que celles qui s'appliquent à la transmission numérique traditionnelle. Vu que les composants optiques disponibles actuellement ne permettent pas d'utiliser plus de deux niveaux de signaux, on a opté pour un code binaire. Ce dernier doit satisfaire aux conditions suivantes:

- information de rythme suffisante
- aucune composante continue et peu de composantes à basse fréquence dans le spectre de puissance
- surveillance possible de la qualité de transmission pendant l'exploitation
- synchronisation rapide du décodeur
- faible augmentation du débit de transmission

A titre de compromis entre ces exigences en partie contradictoires, on a fait appel à un code 5B/6B. A cet effet, le débit binaire est porté à 41 242 kBd. Des 64 mots

Tabelle II. Tabelle der 5B/6B-Codierung  
Tableau II. Tableau de codage 5B/6B

Eingangswort — Mot d'entrée	Ausgangswort positiver Mode — Mot de sortie mode positif	Folgender Mode — Mode suivant	Ausgangswort negativer Mode — Mot de sortie mode négatif	Folgender Mode — Mode suivant
00000	110010	+	110010	-
00001	110011	-	100001	+
00010	110110	-	100010	+
00011	100011	+	100011	-
00100	110101	-	100100	+
00101	100101	+	100101	-
00110	100110	+	100110	-
00111	100111	-	000111	-
01000	101011	-	101000	+
01001	101001	+	101001	-
01010	101010	+	101010	-
01011	001011	+	001011	-
01100	101100	+	101100	-
01101	101101	-	000101	+
01110	101110	-	000110	+
01111	001110	+	001110	-
10000	110001	+	110001	-
10001	111001	-	010001	+
10010	111010	-	010010	+
10011	010011	+	010011	-
10100	110100	+	110100	-
10101	010101	+	010101	-
10110	010110	+	010110	-
10111	010111	-	010100	+
11000	111000	+	011000	+
11001	011001	+	011001	-
11010	011010	+	011010	-
11011	011011	-	001010	+
11100	011100	+	011100	-
11101	011101	-	001001	+
11110	011110	-	001100	+
11111	001101	+	001101	-

de sortie possibles du code 5B/6B, 20 comptent trois «1» et trois «0», 15 possèdent quatre «1» et 15 ont quatre «0». Pour coder le mot d'entrée 5B, il ne faut que 32 combinaisons. Il est ainsi possible de déterminer une loi de codage à deux modes (two mode coding), dans lequel le mode positif ne contient que des mots sans disparité ou avec une disparité positive, le mode négatif seulement des mots sans disparité ou avec une disparité négative. Si après un mot la «somme numérique continue» (running digital summ) devient négative, on sélectionne le mot suivant du mode positif et vice versa. Le tableau de code en résultant (tab. II) a été choisi de manière que le «facteur moyen de multiplication des erreurs» (FMF = Average error multiplication factor) ait une valeur minimale. Le FMF moyen qui est atteint est de 1,18125.

Le nombre maximal de bits consécutifs identiques est de 5, la probabilité d'un changement de mode est de 0,5915.

La «somme numérique continue» (RDS) du signal de ligne ne peut avoir que sept valeurs. A la fin d'un mot de code, la RDS est limitée à deux valeurs (+1 ou -1). Cela permet de surveiller les erreurs de transmission en cours d'exploitation.

Pour que la transparence du système soit aussi élevée que possible, le flux binaire est brouillé au moyen d'un brouilleur à 31 étages, avant le codage 5B/6B. Côté réception, à la sortie du décodeur 5B/6B, on trouve un débrouilleur à autosynchronisation. Le processus d'embrouillage assure une meilleure régénération de rythme et une synchronisation de mots plus rapide dans le décodeur 5B/6B.

L'unité de sortie côté émission (laser) (fig. 4) transfère le signal du codeur 5B/6B à la fibre de sortie du module laser, sous forme d'un signal optique NRZ. La puissance de sortie moyenne du laser est réglée. A cet effet, une partie du signal de sortie optique est prélevée et conver-

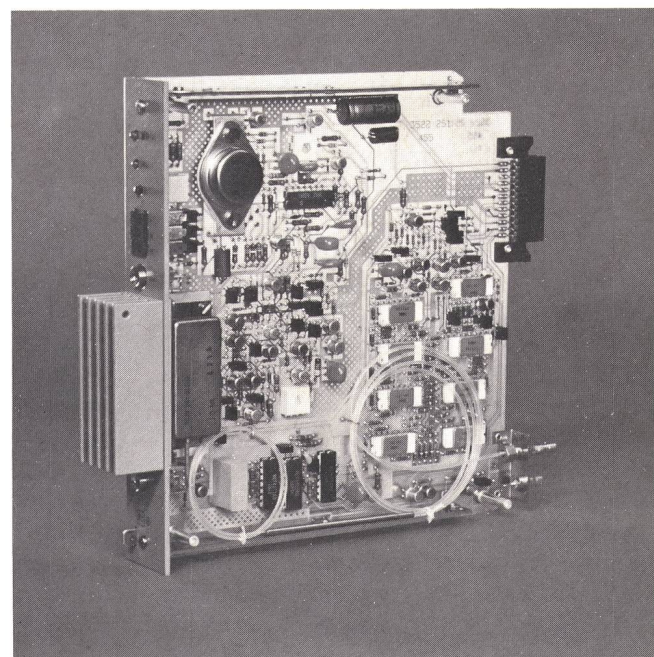


Fig. 4  
Sendeseitige Ausgangseinheit (Laser) — Unité de sortie côté émission (laser)

Wiedererscheinen des Eingangssignals zu einer Überlastung führen würde, zu vermeiden.

- Der Ansteuerstrom des Lasers wird überwacht; bei zu grosser Abweichung wird alarmiert.

Vom Lasermodul gelangt das optische Leitungssignal über einen optischen Baugruppenstecker (mittlerer Verlust 0,8 dB), ein flexibles Verbindungskabel und das Anschlussfeld auf das eigentliche Glasfaserkabel.

## 222 Empfangsseite

In der empfangsseitigen Eingangseinheit (Fig. 5) wird das von der Übertragungsstrecke her kommende Signal über eine Silizium-Avalanche-Fotodiode (APD) wieder in ein elektrisches Signal umgesetzt. Die Empfindlichkeit des optischen Empfängers beträgt -53 dBm für eine Bitfehlerrate von  $<10^{-10}$ . Rechnet man mit einer Ausrüstungsreserve (Margin) von 5 dB und einem maximalen Verlust von 3 dB für die Stecker, so bleiben 45 dB für die maximale Feldlänge.

Der APD-Schaltung mit einem optischen Regelbereich von 14 dB folgt ein rauscharmer Vorverstärker mit hoher Eingangsimpedanz. Dieser hat einen elektrischen Regelbereich von 62 dB, was einem optischen Regelbereich von 31 dB entspricht. Dies ergibt einen Gesamtdynamikbereich von 45 dB.

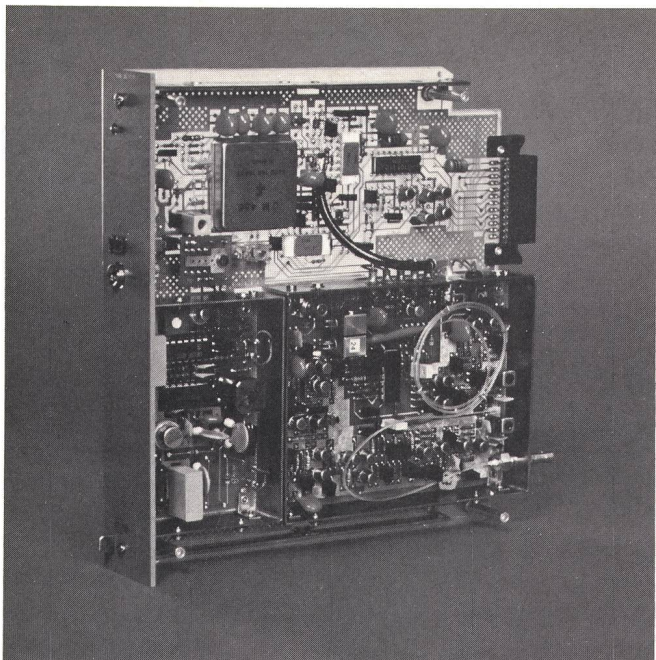


Fig. 5  
Empfangsseitige Eingangseinheit (Avalanche Photodiode, APD) –  
Unité d'entrée côté réception (photodiode à avalanche, APD)

Auf der gleichen Baugruppe sind noch ein Bandbegrenzungsfilter und ein 41-MBd-Regenerator untergebracht.

Der *5B/6B-Decoder* erfüllt die komplementären Funktionen des *5B/6B-Coders*. Zusätzlich muss eine Wort-synchronisation vorgenommen werden. Dabei wird von der Voraussetzung ausgegangen, dass bei richtiger Synchronisation die laufende digitale Summe (LDS) nach jedem 6-bit-Wort nur die beiden Werte « +1 » oder « -1 » annehmen kann.

Das binäre Signal gelangt nun über den *HDB3-Coder* zur CCITT-standardisierten 34-Mbit/s-Trennstelle. Das abgehende HDB3-Signal wird auf Anwesenheit und Codeverletzung überwacht. Bei einer Fehlerrate von  $\geq 10^{-3}$  wird AIS gesendet.

### 23 Zwischenverstärker

Die optischen Trennstellen des Zwischenverstärkers sind identisch mit jenen der Leitungsendausrüstung. Der Zwischenverstärker wird entweder lokal mit der 48-V-Batterie oder über Kupferadern mit einem konstanten Gleichstrom von 50 mA ferngespeist. Die Leistungsaufnahme je Zwischenverstärker beträgt 2,5 W.

### 24 Überwachung und Fehlerortung

Das Übertragungssystem ist mit einem mikroprozessorgesteuerten Überwachungs- und Fehlerortungssystem ausgestattet. Dieses kontrolliert dauernd die Fehlerraten der über- und unterirdischen Ausrüstungen und erlaubt auch eine Fehlereingrenzung während des Betriebes.

Das System arbeitet über seine eigene Glasfaser. Es können bis zu 50 Zweiwegzwischenverstärker von einer Endausrüstung aus kontrolliert werden. Das richtige Funktionieren des Fehlerortungssystems lässt sich, ohne den normalen Verkehr zu stören, prüfen.

tie par l'intermédiaire d'une photodiode. Les mesures suivantes permettent de protéger le laser

- en cas d'absence de signal d'entrée, le fonctionnement du laser est interrompu, afin que soit évitée une augmentation automatique du gain qui conduirait à une surcharge lorsque réapparaît le signal d'entrée
- le courant de polarisation du laser est surveillé; une variation trop importante donne lieu à une alarme

Du module laser, le signal de ligne optique parvient au câble à fibre de verre par l'intermédiaire d'un connecteur optique pour unité enfichable (perte moyenne 0,8 dB), un câble de jonction flexible et le point de raccordement.

### 222 Côté réception

Dans l'unité d'entrée côté réception (fig. 5), le signal arrivant de la ligne est reconverti en un signal électrique au moyen d'une photodiode à avalanche au silicium (APD). La sensibilité du récepteur optique est de  $-53$  dBm pour un taux d'erreurs sur les bits inférieur à  $10^{-10}$ . Si l'on tient compte d'une réserve pour l'équipement (margin) de 5 dB et d'une perte maximale de 3 dB pour les connecteurs, il reste 45 dB pour l'affaiblissement maximal de la section de régénération.

Le circuit à APD, qui a une plage de régulation optique de 14 dB, est suivi d'un préamplificateur à faible bruit et à impédance d'entrée élevée. Ce dernier possède une gamme de régulation de 62 dB, ce qui correspond à une plage de régulation optique de 31 dB. Il en résulte une gamme dynamique totale de 45 dB.

Dans ce même module, on trouve encore un filtre limiteur de bande et un régénérateur à 41 MBd.

Le *décodeur 5B/6B* assure les fonctions complémentaires du codeur 5B/6B. Pour la synchronisation des mots, on utilise le fait que, lorsque celle-ci est correcte, la somme numérique continue (LDS) ne peut avoir que les deux valeurs « +1 » ou « -1 », à la fin de chaque mot de 6 bits.

Le signal binaire parvient à l'interface à 34 Mbit/s normalisée par le CCITT, par l'entremise du *codeur HDB3*. La présence et la violation de code du signal sortant HDB3 sont surveillées. Si le taux d'erreurs est supérieur ou égal à  $10^{-3}$ , un signal indicateur d'alarme (SIA) est émis.

### 23 Amplificateur intermédiaire

Les interfaces optiques de l'amplificateur intermédiaire sont identiques à celles de l'équipement de terminaison de lignes. L'amplificateur intermédiaire est alimenté localement par une batterie à 48 V ou téléalimenté au moyen de conducteurs de cuivre véhiculant un courant continu constant de 50 mA. La puissance absorbée par chaque amplificateur intermédiaire est de 2,5 W.

### 24 Surveillance et localisation des dérangements

Le système de transmission est équipé d'un système de télésurveillance et de localisation des dérangements commandé par un microprocesseur. Ce dernier contrôle

Das Fehlerlokalisierungssystem kann auch dazu benutzt werden, um von jedem Zwischenverstärker aus bis zu drei Statusindikationen zu übermitteln. So ist es möglich, ein Ansteigen des Laseraussteuerstroms von mehr als 50 % oder einen Verlust des Eingangssignals zur Leitungsendausrüstung zu übertragen.

## 25 Alarmierung und Messmöglichkeiten

Alle wichtigen Funktionen der Ausrüstung, das heisst Speisung und Übertragungsqualität, werden in den Leitungsendausrüstungen überwacht.

Zur Messung wichtiger Funktionen und als Hilfe für die Fehlereingrenzung sind entkoppelte Messpunkte angebracht. Besonders zu erwähnen sind die Messbuchsen auf den Frontplatten der optischen Einheiten, die es erlauben, das elektrische Eingangssignal zur Laserdiode, den Laser-Vor- und -Modulationsstrom, die optische Sendeleistung auf der Sendeseite und den Regelstrom der APD auf der Empfangsseite zu messen.

## 3 Aufbau der Versuchsanlage

Das im Juni 1981 im Technischen Zentrum V in Ostermündigen aufgebaute optische Übertragungssystem besteht aus zwei Gestellen. Diese enthalten je ein komplettes Übertragungssystem.

Es wurden Übertragungsversuche mit optischen Dämpfungen sowie mit echten Glasfaserkabeln von verschiedenen Herstellern durchgeführt.

Nach eingehenden Messungen der optischen Eigenschaften sowie der Übertragungsfunktionen wurden die Fehlerrate und das Alterungsverhalten der optischen Komponenten registriert.

## 4 Erste Messresultate

Wegen Verspätung bei der Kabellieferung wurden die ersten Messungen mit dem noch nicht verlegten Glasfaserkabel durchgeführt. Es wurden im besonderen die optischen Eigenschaften des Übertragungssystems untersucht, da die übrigen Merkmale sich nicht wesentlich von denen koaxialer Systeme unterscheiden.

## 41 Optische Sendeleistung

Um sicher zu sein, die Leistungsmessung nicht durch Mantelmoden oder durch einen überproportionalen Anteil von Moden höherer Ordnung zu verfälschen, wurde die mittlere optische Leistung nach einem etwa 1 km langen Glasfaserstück von bekannter Dämpfung gemessen. Unter Berücksichtigung der genauen Laserwellenlänge wurde die Ausgangsleistung berechnet (Tab. III).

## 42 Impulsform des optischen Sendesignals

Diese wurde mit einem optoelektrischen Wandler und einem Oszillographen am Ausgang der Ausrüstung mit einer Messbandbreite von 300 MHz aufgenommen (Fig. 6). Besonders zu beachten sind

- Impulsform NRZ
- jitterfreies Sendesignal

en permanence le taux d'erreurs des équipements souterrains et de ceux situés en surface et permet également de localiser les dérangements en cours d'exploitation.

Le signal de télésurveillance est véhiculé par la même fibre qui transporte le signal utile. On peut ainsi contrôler 50 amplificateurs intermédiaires bidirectionnels à partir d'un équipement terminal. Il est possible de vérifier le fonctionnement du système de télésurveillance sans que le trafic normal soit entravé.

Le système de localisation des dérangements peut également servir à transmettre trois indications d'états à partir de chaque amplificateur intermédiaire. Il est ainsi possible de signaler à l'équipement de terminaison de lignes une augmentation de plus de 50 % du courant de polarisation du laser ou une perte du signal d'entrée.

## 25 Transmission des alarmes et possibilités de mesures

Toutes les fonctions importantes de l'équipement, c'est-à-dire l'alimentation et la qualité de transmission, sont surveillées par les équipements de terminaison de lignes.

Pour mesurer les fonctions importantes et contribuer à la localisation des dérangements, on dispose de points de mesures découplés. Il convient de mentionner particulièrement les points de mesures sur les plaques frontales des unités optiques, qui permettent de mesurer, côté émission, le signal électrique appliqué à la diode laser, son courant de polarisation et de modulation, la puissance d'émission optique et, côté réception, le courant de régulation de la photodiode à avalanche.

## 3 Structure de l'installation d'essai

Le système de transmission par voie optique monté au mois de juin 1981 au centre technique V à Ostermündigen consiste en deux bâtis qui contiennent chacun un système de transmission complet.

On a procédé à des essais de transmission avec des atténuateurs optiques de même qu'avec des câbles à fibres optiques de différents fabricants.

Les mesures détaillées des caractéristiques optiques ainsi que des fonctions de transmission ont permis d'enregistrer le taux d'erreurs et le comportement au vieillissement des composants optiques.

Tabelle III. Optische Ausgangsleistung  
Tableau III. Puissance optique de sortie

Laser Nr. — Laser N°	$\lambda$	Optische Leistung (1 km) — Puissance optique (1 km)	Dämpfung Messfaser — Affaiblissement fibre de mesure	Optische Leistung berechnet — Puissance optique calculée	Optische Leistung direkt gemessen — Puissance optique mesurée directement	Abweichung — Différence
S012	844 nm	-3,5 dBm	3,9 dB	+0,4 dBm	+1,2 dBm	0,8 dB
S024	828 nm	-5,6 dBm	4,2 dB	-1,4 dBm	+0,4 dBm	1,8 dB
S025	828 nm	-4,9 dBm	4,2 dB	-0,7 dBm	+0,6 dBm	1,3 dB

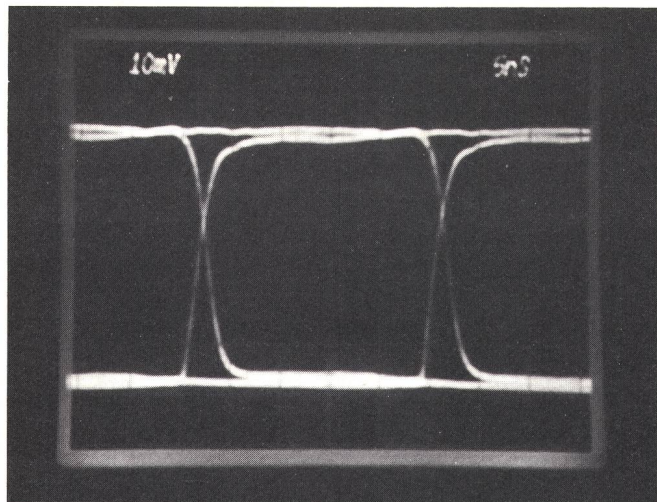


Fig. 6  
Impulsform des optischen Sendesignals — Forme d'impulsions du signal optique d'émission  
Vertikal 0,5 mW/Einheit (0,5 A/W in 50  $\Omega$ ) — Vertical 0,5 mW/unité (0,5 A/W pour 50  $\Omega$ )  
Horizontal 5 ns/Einheit — Horizontal 5 ns/unité

– dass das Leistungsverhältnis zwischen den logischen Zuständen «0» und «1» zwischen 18 und 20 liegt

#### 43 Optische Wellenlänge

Das optische Spektrum des Sendesignals der Laser wurde nach unterschiedlicher Betriebsdauer mit einem Monochromator bestimmt. Die Auflösung der Messanordnung ermöglichte keine eindeutige Identifikation der einzelnen Spektrallinien.

Das Spektrum wurde mehrmals kurz nach dem Einschalten der Sendebaugruppe (Fig. 7) und in stationärem Zustand (Fig. 8) aufgenommen. Es scheint, dass die spektrale Breite während der Erwärmung bis zum thermischen Gleichgewicht abnimmt. Beim selben Vorgang steigt die Wellenlänge des Lasers um etwa 2 nm.

#### 44 Langzeitverhalten des optischen Senders

Seit der Inbetriebnahme der Anlage am 24. Juni 1981 wurden verschiedene Parameter in regelmäßigen Zeitabständen gemessen

- optische Sendeleistung
- Laser-Vorstrom
- Modulationsstrom

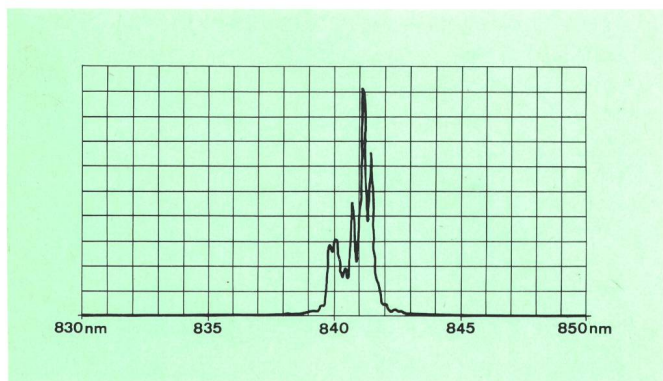


Fig. 7  
Optisches Spektrum des Lasers kurz nach dem Einschalten — Spectre optique du laser peu après son enclenchement

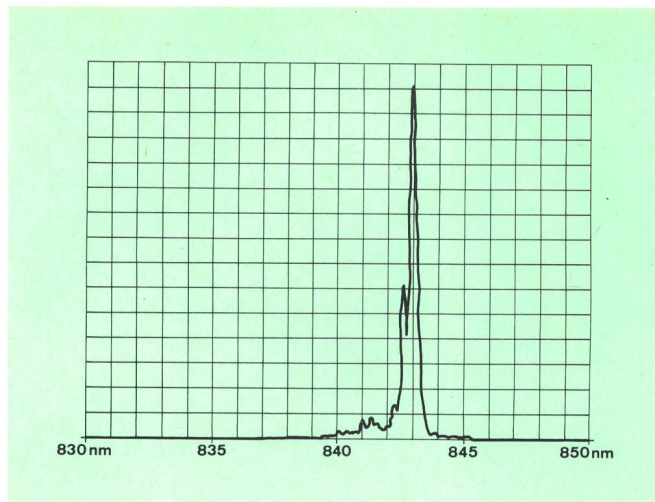


Fig. 8  
Optisches Spektrum des Lasers im stationären Zustand — Spectre optique du laser à l'état stationnaire

### 4 Premiers résultats de mesures

En raison de retards de livraison, les premières mesures ont été effectuées sur des câbles à fibres optiques qui n'étaient pas encore posés. On a essentiellement contrôlé les caractéristiques optiques du système de transmission, étant donné que les autres propriétés ne diffèrent guère de celles des systèmes coaxiaux.

#### 41 Puissance d'émission optique

Pour s'assurer que les mesures de puissance ne soient pas faussées par la présence de lumière dans la gaine ou par une part trop importante de modes d'ordre supérieur, on a mesuré la puissance optique moyenne après environ 1 km de trajet de fibre de verre ayant un affaiblissement connu. Compte tenu de la longueur d'onde précise du laser, on a calculé la puissance de sortie (tab. III).

#### 42 Forme d'impulsion du signal d'émission optique

Cette forme a été enregistrée à l'aide d'un convertisseur opto-électrique et d'un oscillographe, à la sortie de l'équipement, avec une largeur de bande de mesure de 300 MHz (fig. 6). Il convient d'observer particulièrement

- la forme de l'impulsion NRZ
- le signal d'émission exempt de gigue
- le rapport de puissance entre les états logiques «0» et «1» situé entre 18 et 20

#### 43 Longueur d'onde optique

Le spectre optique du signal d'émission du laser a été déterminé au moyen d'un monochromateur, après diverses durées d'exploitation. La résolution du dispositif de mesure n'a pas permis d'identifier clairement les diverses lignes du spectre.

Le spectre a été enregistré plusieurs fois brièvement après la mise en circuit du module d'émission (fig. 7) et à l'état stationnaire (fig. 8). Il apparaît que la largeur spectrale diminue pendant l'échauffement, jusqu'à ce



Die optische Leistung und der Modulationsstrom sind innerhalb der Messunsicherheit konstant geblieben. Der Laser-Vorstrom des Senders Nr. 12 hat innerhalb von sechs Monaten seinen Wert um 26 % erhöht, was einer Erhöhung von 50 % nach ungefähr zehn Monaten entsprechen sollte (Fig. 9). Nach üblicher Definition bestimmt diese Erhöhung das Ende der Lebensdauer einer Laserdiode.

#### 45 Dämpfungsbereich

Die zwischen Sender und Empfänger zugelassene optische Dämpfung wurde anhand einer optischen Dämpfung bestimmt. Nach den Spezifikationen ermöglichte die ursprünglich installierte Anlage einen Dämpfungsbereich von 25...47 dB (gegenwärtige Anlage, 6...51 dB) zu überbrücken. Ausserhalb dieses Bereiches wird die Fehlerrate der Übertragung sehr rasch unzulässig hoch (Tab. IV).

Tabelle IV. Fehlerrate in Funktion der Faserdämpfung  
Tableau IV. Taux des erreurs en fonction de l'affaiblissement de fibre

Dämpfung — Affaiblissement	Fehlerrate — Taux d'erreurs
19,5 (dB)	$1 \cdot 10^{-3}$
19,7	$1 \cdot 10^{-4}$
19,9	$1 \cdot 10^{-5}$
20,4	$1 \cdot 10^{-7}$
21,0	$\leq 1 \cdot 10^{-10}$
48,0	$\leq 1 \cdot 10^{-10}$
49,2	$1 \cdot 10^{-7}$
49,8	$1 \cdot 10^{-6}$
50,2	$1 \cdot 10^{-5}$
50,8	$1 \cdot 10^{-4}$
51,5	$1 \cdot 10^{-3}$

#### 46 Versuche mit dem optischen Kabel

Während der Versuche stand das für die Anlage vorgesehene Kabel zur Verfügung. Mit den Fasern, deren Eigenschaften unseren Forderungen entsprachen, wurde eine 15,495 km lange Anlage simuliert, die 21 Spleissungen sowie zwei Stecker umfasste. Die bei 839 nm gemessene Dämpfung beträgt 46,8 dB. Unter der Annahme, das im betrachteten Bereich der Dämpfungsverlauf nach  $1/\lambda^4$  verläuft, entspricht der gemessene Wert für die zur Verfügung stehenden Laserdioden einer Dämpfung von 49,3 dB bei 828 nm beziehungsweise von 45,7 dB bei 844 nm. Übertragungsversuche mit den Laserdioden, die die kürzere Wellenlänge aufweisen, ergaben eine Fehlerrate von  $10^{-7}$ ... $10^{-8}$ ; der Sender, der bei einer Wellenlänge von 844 nm strahlt, hat eine gute Übertragungsqualität ermöglicht (Fehlerrate  $< 10^{-10}$ ). Dieser Aufbau stellt die Grenzlänge dar, die bei Betriebssystemen nie angewendet werden sollte.

#### 47 Fehlerrate

Die folgenden Resultate wurden an dem elektrisch geschlossenen System mit einer optischen Dämpfung von 45 dB in jeder Übertragungsrichtung gemessen. Die Messresultate zeigen ein sehr gutes Verhalten der Ausrüstungen in einer Laborumwelt (Tab. V). Die Fehler treten häufig in Ketten von 3 oder mehrfachen von 3 auf, dies ist durch den Leitungscode und den Entwürfler be-

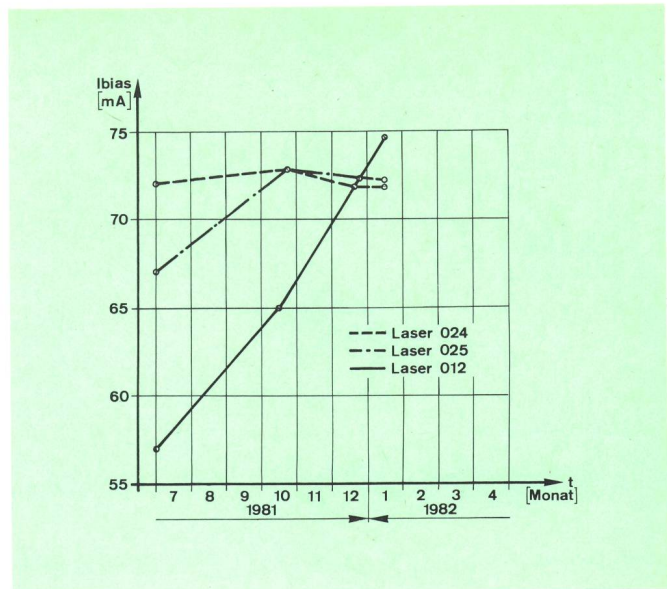


Fig. 9  
Verlauf des Laservorstroms (Laser 024 war nur während zwei Tagen in Betrieb) — Courbe du courant de polarisation du laser (le laser 024 n'a fonctionné que pendant deux jours)  
Monat — mois

que l'équilibre thermique soit atteint. En même temps, la longueur d'onde du laser augmente d'environ 2 nm.

#### 44 Comportement à long terme de l'émetteur optique

Depuis la mise en service de l'installation, le 24 juin 1981, on a mesuré divers paramètres à des intervalles réguliers, à savoir

- la puissance d'émission optique
- le courant de polarisation du laser
- le courant de modulation

La puissance optique et le courant de modulation sont restés constants à l'intérieur de la marge d'imprécision de mesure. La valeur du courant de polarisation du laser de l'émetteur N° 12 a augmenté de 26 % en 6 mois, ce qui correspond à un accroissement de 50 % après environ 10 mois (fig. 9). Selon la définition habituelle, cette augmentation correspond à la fin de la durée de vie d'une diode laser.

#### 45 Plage d'affaiblissement

L'affaiblissement optique admis entre l'émetteur et le récepteur a été déterminé à l'aide d'un atténuateur optique. Selon les spécifications, l'installation établie au début a pu fonctionner dans une plage d'affaiblissement

Tabelle V. Fehlerrate über 60 Tage  
Tableau V. Taux d'erreurs pour une période de 60 jours

Fehler je Minute — Erreurs par minute	Anzahl Minuten — Nombre de minutes	% der Minuten — % des minutes
0	86,336	99,93 %
3	46	0,05 %
4	1	0,001 %
5	1	0,001 %
6	10	0,01 %
7	6	0,007 %

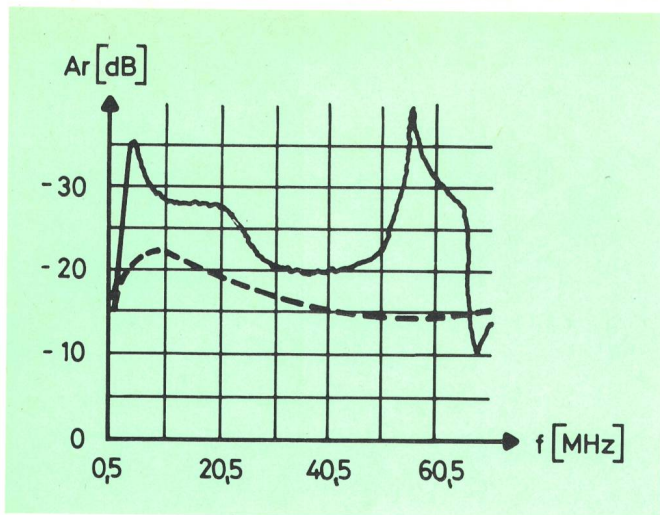


Fig. 10  
Reflexionsdämpfung  $A_r$  der 34-Mbit/s-Trennstelle — Affaiblissement de réflexion  $A_r$  de l'interface à 34 Mbit/s  
— Sendeseite — Côté émission  
---- Empfangsseite — Côté réception

dingt. Die auf die Messperiode von 60 Tagen gemittelte Fehlerrate beträgt  $1,4 \times 10^{-12}$ .

## 5 Elektrische Eigenschaften

### 51 Eigenschaften der 34 368-kbit/s-Trennstelle

Die Form des ausgesendeten Signals an der normalisierten Trennstelle und die durch die Ausrüstung verkräftete maximale Kabeldämpfung entsprachen den neuesten CCITT-Empfehlungen. Die Reflexionsdämpfungen am Eingang und am Ausgang der Ausrüstung erfüllen unsere Forderungen (Fig. 10). Der am Eingang zulässige Jitter wird von der Ausrüstung mit Reserve verarbeitet (Fig. 11).

### 52 Jitterübertragungsfunktion

Obschon international keine Empfehlung besteht, sehen nationale Forderungen eine maximale Jitterverstärkung von 1 dB und eine maximale Grenzfrequenz von 1 kHz vor. Die erste Forderung wird wahrscheinlich auch bei einer längeren Strecke erfüllt; die Erfüllung der zwei-

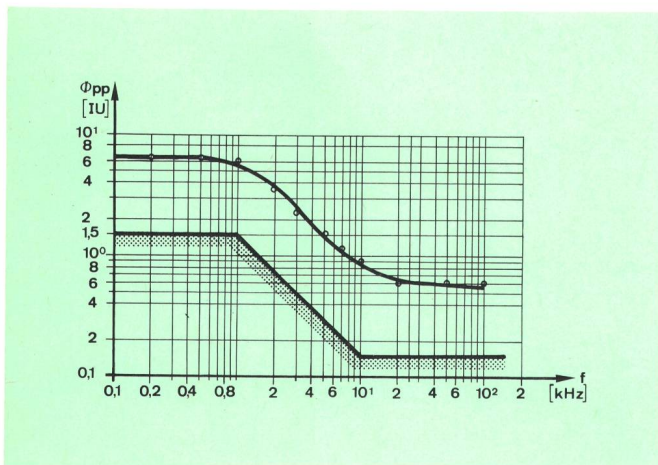


Fig. 11  
Zulässiger Jitter am Eingang der Sendeseite — Gigue admissible à l'entrée du côté émission

de 25...47 dB (installation actuelle 6...51 dB). En dehors de cette plage, le taux d'erreurs de la transmission passe très rapidement à des valeurs inadmissibles (tab. IV).

## 46 Essais effectués avec le câble optique

Pendant les essais, on disposait du câble prévu pour l'installation. Avec ses fibres, dont les caractéristiques correspondaient à nos exigences, on a simulé une installation longue de 15,495 km, comprenant 21 épissures ainsi que deux connecteurs.

L'affaiblissement mesuré à 839 nm est de 46,8 dB. Si l'on tient compte, pour la plage considérée, d'une atténuation suivant la courbe de  $1/\lambda^4$ , la valeur mesurée coïncide alors à un affaiblissement de 49,3 dB ou de 45,7 dB pour des longueurs d'ondes de 828 nm, ou de 844 nm auxquelles émettent les diodes laser dont nous disposons. Des essais de transmission avec les diodes laser opérant sur la longueur d'onde plus courte ont donné des taux d'erreurs de  $10^{-7}$ ... $10^{-8}$ ; l'émetteur rayonnant à la longueur d'onde de 844 nm a permis d'obtenir une bonne qualité de transmission (taux d'erreurs  $< 10^{-10}$ ). Cette configuration représente la longueur maximale qui ne devrait jamais être utilisée dans l'exploitation.

## 47 Taux d'erreurs

Les résultats suivants ont été obtenus à la suite de mesures sur un système formant une boucle électrique, avec un affaiblissement optique de 45 dB dans chacune des directions de transmission. Les valeurs de mesure montrent l'excellent comportement des équipements en laboratoire (tab. V). Les erreurs apparaissent souvent par groupes de trois ou par multiple de trois, ce qui est dû au code de ligne et au dispositif de brouillage du signal.

Le taux d'erreurs moyen enregistré pendant une période de mesure de 60 jours est de  $1,4 \times 10^{-12}$ .

## 5 Caractéristiques électriques

### 51 Caractéristiques de l'interface 34 368 kbit/s

La forme du signal émis au niveau de l'interface normalisée et l'affaiblissement maximal du câble que l'équipement supporte correspondent aux derniers Avis du CCITT. Les affaiblissements de réflexion à l'entrée et à la sortie de l'équipement sont conformes à nos exigences (fig. 10). La gigue admissible à l'entrée est tolérée par l'équipement avec une réserve suffisante (fig. 11).

### 52 Fonction de transmission de gigue

Bien que sur le plan international il n'y ait pas d'Avis, les conditions nationales prévoient une amplification maximale de la gigue de 1 dB et une fréquence de coupure maximale de 1 kHz. La première exigence est respectée sans doute aussi pour un trajet plus long; en revanche, la deuxième implique une modification du circuit de décodage ou l'insertion d'un réducteur de gigue (fig. 12).

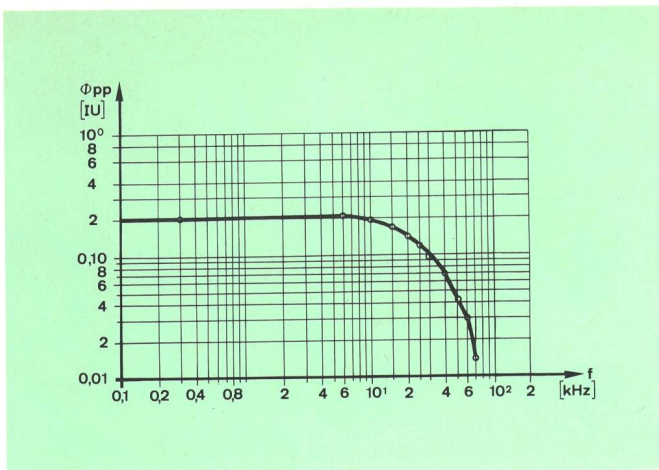


Fig. 12  
Jitterübertragungsfunktion (0 dB  $\cong$  0,2 UI) — Fonction de transfert de gigue (0 dB  $\cong$  0,2 UI)

ten Forderung bedingt eine Modifikation der Decodierungsschaltung oder das Beifügen eines Jitterreduziers (Fig. 12).

### 53 Ausgangsjitter

Bei der Umschaltung mit variabler Frequenz zwischen zwei Folgen, die aus repetitiven 8-bit-Wörtern bestehen, erzeugt die Ausrüstung die maximale Jitteramplitude (Fig. 13). Diese Werte entsprechen den Erwartungen und erfüllen die provisorischen Forderungen, die für die spezielle Anwendung in unserem Netz aufgestellt worden sind.

### 6 Schlussfolgerung

Die ersten Messergebnisse zeigen, was die Leitungsausrüstung betrifft, den fortgeschrittenen Entwicklungsstand der optischen Übertragungstechnik. Es sind aber zurzeit noch nicht alle Probleme endgültig gelöst; im besonderen sollte die Stabilität der optischen Eigenschaften der Laserdiode verbessert werden. Die erwartete Lebensdauer dieser Komponenten wurde nicht eindeutig bestätigt. Die Messungen werden aber weitergeführt und werden zeigen, ob das schlechte Verhalten einer Diode dem Zufall zuzuschreiben ist. Die Fortschritte bei der Entwicklung von Komponenten für die Übertragung im zweiten Fenster verlaufen so schnell, dass in wenigen Jahren solche Systeme mit bedeutenden Vorteilen eingeführt werden. Durch Weiterentwicklung der optischen Einheiten wird das hier beschriebene System in naher Zukunft für eine Übertragung im zweiten Fenster angepasst.

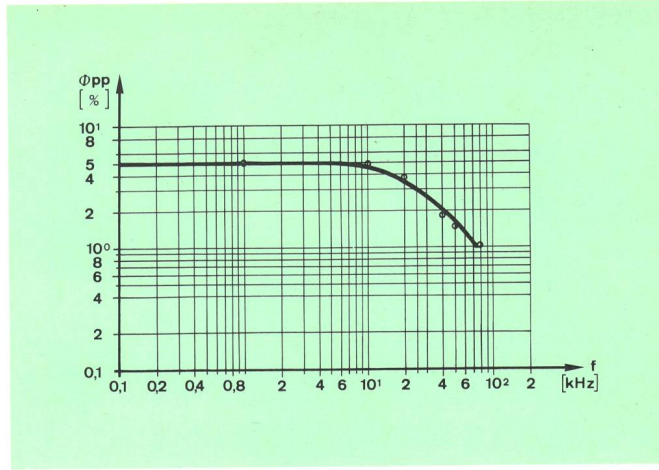


Fig. 13  
Durch Umschaltung zwischen den Folgen 1111.... und 10001000... verursachter Jitter — Gigue produite par la commutation entre les séquences 1111.... et 10001000...

### 53 Gigue de sortie

Lors de commutations avec une fréquence variable entre deux séries se composant de mots répétitifs à 8 bits, l'équipement devrait générer l'amplitude de gigue maximale (fig. 13). Ces valeurs correspondent à nos attentes et aux exigences provisoires requises pour les applications spéciales de notre réseau.

### 6 Conclusions

Pour ce qui est de l'équipement de terminaison de lignes, les premiers résultats de mesure montrent l'état de développement très avancé de la technique de transmission par voie optique. Cependant, tous les problèmes ne sont pas encore définitivement résolus; en particulier, il faudrait améliorer la stabilité des caractéristiques optiques de la diode laser. La durée de vie de ces composants n'a pas été confirmée de manière très nette. Toutefois, les mesures qui se poursuivent devront indiquer si le mauvais comportement d'une diode est dû au hasard. Les progrès réalisés dans le développement des composants pour la transmission dans une deuxième fenêtre avancent si rapidement que de tels systèmes, aux avantages importants, pourront être introduits dans peu d'années. Par un développement ultérieur des unités optiques, le système décrit ci-dessus pourra prochainement être adapté à la transmission dans la deuxième fenêtre.

Adressen der Autoren: Peter Glanzmann, c/o Philips AG, Postfach, 8027 Zürich, und André Käser, c/o Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, 3030 Bern.