

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

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 67 (1976)

Heft: 20

Artikel: Anwendungen von Glasfasern in der Fernmeldetechnik

Autor: Steffen, W.A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915216>

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: 01.04.2025

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

Anwendungen von Glasfasern in der Fernmeldetechnik¹⁾

Von W. A. Steffen

621.391.63: 681.7.068

Es wird ein Überblick gegeben über den Stand der Technik der faseroptischen Übertragung. Der Autor beschreibt einige Aspekte, mit denen sich der in diesem Gebiet arbeitende Ingenieur auseinandersetzen muss. Das Halbleiter-Laser-Glasfasersystem und die dabei im Zusammenhang mit der Nachrichtenübertragung auftretenden Probleme werden erörtert.

L'auteur présente l'état actuel du développement de la technique de transmission par fibres optiques en mettant l'accent sur quelques aspects avec lesquels l'ingénieur est confronté. Les problèmes posés par l'utilisation du système composé du laser à semiconducteur et de fibres optiques dans le domaine des télécommunications sont abordés.

1. Einleitung

Kurz nachdem Alexander Graham Bell das Telefon erfunden hatte, trat er im Jahre 1880 mit einer Erfindung an die Öffentlichkeit, die er «Photophon» (Licht-Schall) nannte [1]²⁾. Bei diesem ersten drahtlosen Telefon wurde beim Sprechen der Schalldruck gegen eine dünne spiegelnde Membran gerichtet, welche das einfallende Licht im Takt der Sprache modulierte. Mit Hilfe einer Linse wurde das Licht des Senders auf eine grosse, wahrscheinlich als Photowiderstand arbeitende und als Empfänger dienende Selenplatte projiziert. Obwohl damit für jene Zeit beachtliche Distanzen überbrückt werden konnten, war niemand bereit, das Projekt zu fördern, was Bell sehr enttäuschte und ihn schliesslich dazu bewog, keine weiteren Arbeiten auf dem Gebiet der Telefonie mehr zu unternehmen.

Mit der Erfindung des Lasers in den sechziger Jahren begann eine stürmische Entwicklung, wobei es sofort klar wurde, dass nicht der Laser allein das Nachrichtensystem ausmacht – es fehlte damals ein zuverlässiges Übertragungsmedium (dichter Nebel ist undurchdringlich für Laserlicht). Nachdem die ersten Glasfasern vor einem Jahrzehnt ihrer hohen Dämpfung wegen für nachrichtentechnische Zwecke unattraktiv erschienen, gelang es einem amerikanischen Konzern 1970 wesentlich bessere Fasern herzustellen – statt 1000 dB/km Dämpfung waren es nur noch einige 100 dB/km. Heute sind Fasern mit 10 dB/km leicht erhältlich; die besten Laborexemplare zeigen Dämpfungen um 2 dB/km.

Die anfänglichen atmosphärischen Experimente mit Linsen und Spiegelleitern brachten keine technisch realistischen Lösungen; die Fortschritte bei der Herstellung von Glasfasern mit niedriger Dämpfung hingegen führten in den letzten Jahren

¹⁾ Vortrag, gehalten anlässlich der Generalversammlung des SEV, am 4. September 1976.

²⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

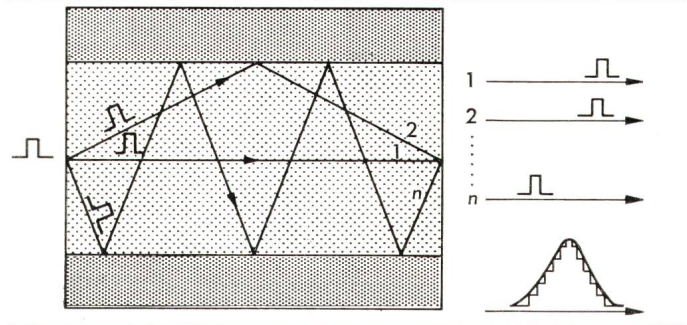


Fig. 2 Entstehung des Ausgangslichtimpulses

Leistungsüberlagerung der am Photodetektor zu verschiedenen Zeitpunkten eintreffenden Wellen 1...n (Impulsverbreiterung).

dazu, dass die Anstrengungen nahezu überall ausschliesslich auf Glasfasersysteme ausgerichtet wurden [2; 3]. Gleichzeitig wurden die im Infrarot emittierenden Halbleiterlaser derart weiterentwickelt, dass sie ohne Kühlung bei normalen Umgebungstemperaturen kontinuierlich arbeiten können. Die Fortschritte, die dabei erzielt worden sind, lassen annehmen, dass bis in wenigen Jahren sowohl Halbleiterlaser als auch Glasfasern einen Stand erreicht haben werden, der einen praktischen Einsatz möglich macht. Die folgenden Ausführungen beschränken sich deshalb auf dieses System.

2. Die Bedeutung der Glasfasern

Seit der Erfindung des Lasers steht mit dem Licht bei einer Frequenz von 10^{14} Hz, entsprechend einer Wellenlänge um 1000 nm, ein äusserst hochfrequenter Träger zur Verfügung. Man glaubte ursprünglich, dass diese neue Erweiterungsmöglichkeit in der Kette der leitergebundenen Übertragungstechnologien bestehend aus paarsymmetrischen Kabeln, koaxialen Kabeln und Hohlleitern dem steigenden Bedürfnis an Übertragungskapazität wegen eine technische Notwendigkeit darstellen werde. Den jetzigen kulturellen und technischen Entwicklungen folgend muss jedoch gesagt werden, dass diese Annahme falsch ist; im Planungszeitraum der nächsten 20 Jahre genügen die drei genannten «metallischen» (im Gegensatz zu «gläsernen») Übertragungsmedien den technischen Ansprüchen.

Es sind in erster Linie wirtschaftliche Vorteile, die den Einsatz der Glasfasertechnologie interessant machen. Dazu kommt die Unempfindlichkeit der Fasern gegen Störstrahlung von aussen; die sehr störende gegenseitige induktive Beeinflussung der metallischen Leiter bleibt aus. Ferner ist der Rohstoffbedarf zur Herstellung eines Glasfaserkabels gering. Der Materialeinsatz bei gleicher Leistung liegt bei Kupfer ungefähr 500mal höher als bei Glas, welches als Rohstoff zudem unbegrenzt zur Verfügung steht. Ein Kilometer eines sechsfasrigen Glasfaserkabels wiegt nur ca. 30 kg.

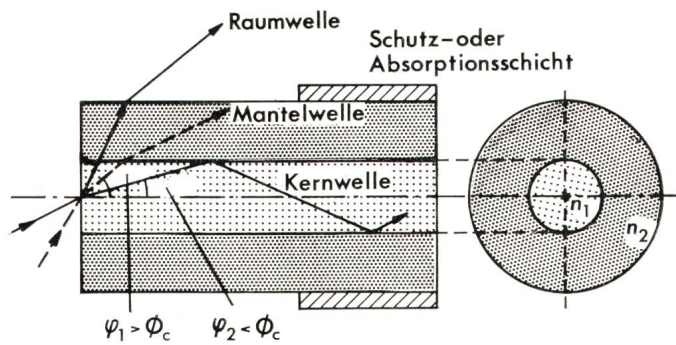


Fig. 1 Strahlenwege von Kern-, Mantel- und Raumwellen

Brechungsindex $n_1 > n_2$; Φ_c Grenzwinkel der Totalreflexion. Die Kernwellen sind die eigentlichen Signalträger. Die Mantel- und Raumwellen sind Parasiten, die der Kernwelle Energie entziehen.

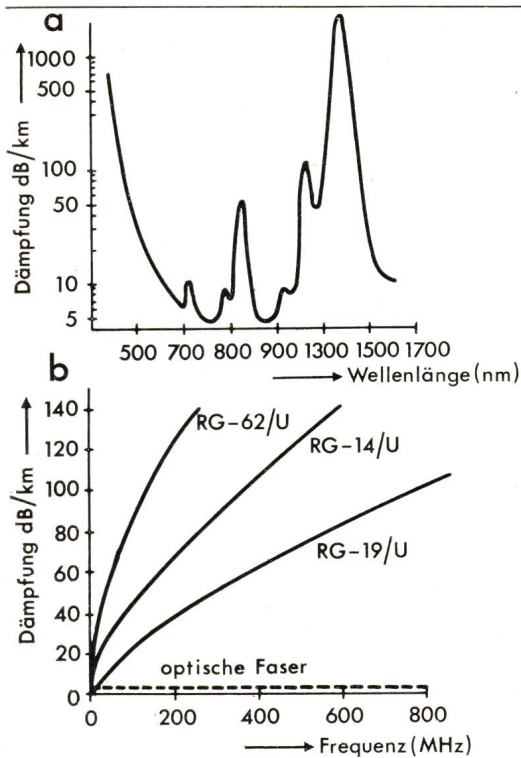


Fig. 3 Spektrale Dämpfungscharakteristik einer Multimodefaser (a) verglichen mit der Dämpfung einiger Koaxialkabel (b)
 «Fenster» in der Dämpfungscharakteristik der Faser für die Wellenlänge (ca. 850...900 nm) der Halbleiterlaser. Bei einer Übertragungsrate von 1 Gbit/s und 64 kbit/s pro Telefonverbindung können etwa 15000 gleichzeitige Gespräche in einer Richtung über eine Faser von 0,1 mm Durchmesser geführt werden. Kupfersysteme würden in diesem Falle 9,5 mm Koaxialkabel mit Repeaterabständen von 1 bis 2 km benötigen.

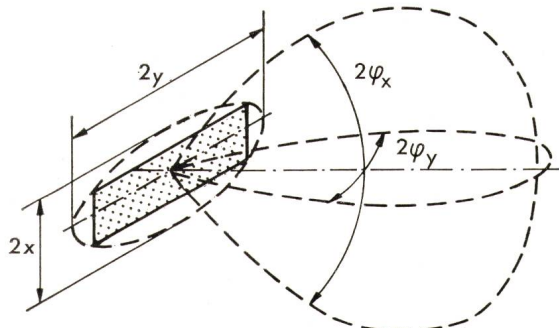


Fig. 4 Leuchtfläche und Strahlungscharakteristik eines Halbleiterdioden-Lasers mit Streifengeometrie
 Dimensionen der Leuchtfläche für Einzel- oder Doppelheterostruktur: $x = 1...3 \mu\text{m}$; $y = 10...50 \mu\text{m}$.
 Strahlöffnungswinkel: $\varphi_x = 10...20^\circ$; $\varphi_y = 5...10^\circ$.

Der Preis für einen Meter dieses Kabels mit 20 dB/km Dämpfung beträgt zurzeit ca. Fr. 40.-, verglichen mit Fr. 25.- für ein 8tubiges Minikoaxialkabel, welches die PTT seit 1974 im schweizerischen Leitungsnetz verwenden [4]. Sollte das Glasfaserkabel in grösseren Mengen hergestellt werden können, erwartet man eine Senkung des Preises bis auf Fr. 6.- pro Meter. Später könnte mit den Glasfasern sogar eine Konkurrenz zu den paarsymmetrischen Leitungen entstehen, weil dem technischen Fortschritt wegen der Preis der Fasern sinkt, währenddem die Kosten der Rohmaterialien für Draht und Kabel ständig steigen. Der Einsatz von Glasfaserkabeln würde damit auch für kurze Anlagenlängen interessant, und es könnten gleichzeitig Reserven für Fernsehbild- oder sehr rasche Datenübertragung geschaffen werden [6].

3. Der Aufbau des Laser-Glasfaser-Systems

Die wichtigsten Elemente jedes Nachrichtensystems sind der Sender, das Übertragungsmedium und der Empfänger. Als Sender verwenden die PTT einen GaAs-Halbleiterinjektionslaser mit 10 mW Dauerstrichleistung oder eine IR-Leuchtdiode. Als Licht-Detektoren kommen PIN-Photodioden und Avalanche-Photodioden in Frage. Si-Dioden haben eine den GaAs-Lasern gut angepasste spektrale Empfindlichkeit. PIN-Dioden haben den Vorteil, gegen Spannungsschwankungen und Temperaturänderungen wenig empfindlich zu sein, sind billig und weisen geringes Rauschen auf. Photo-Avalanche-Dioden sind der innern Ladungsträgermultiplikation wegen lichtempfindlicher. Sie benötigen eine von Diode zu Diode verschiedene sehr genaue Vorspannung, welche ausserdem temperaturabhängig ist. Ihre Ankopplung an eine Faser bietet keine besonderen Probleme.

Die elektrischen Eigenschaften eines faseroptischen Übertragungssystems werden hauptsächlich durch folgende Faktoren bestimmt:

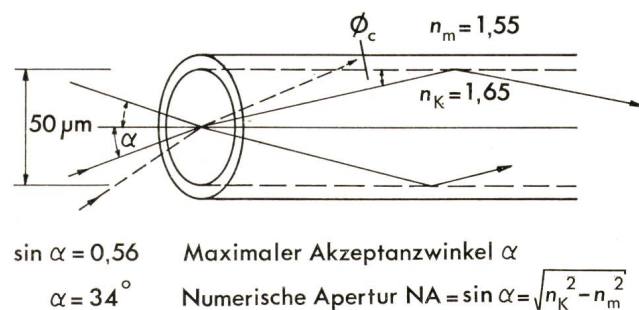


Fig. 5 Lichteinfall in die Faserstirnfläche (mit Zahlenbeispiel)
 Gestrichelter Strahlengang: Strahlen, welche den Grenzwinkel ϕ_c der Totalreflexion überschreiten, verlassen den Faserkern. Bei hochwertigen Fasern in Nachrichtensystemen ist NA meistens viel kleiner, z. B. $NA = 0,14$ ($\alpha = 8^\circ$).

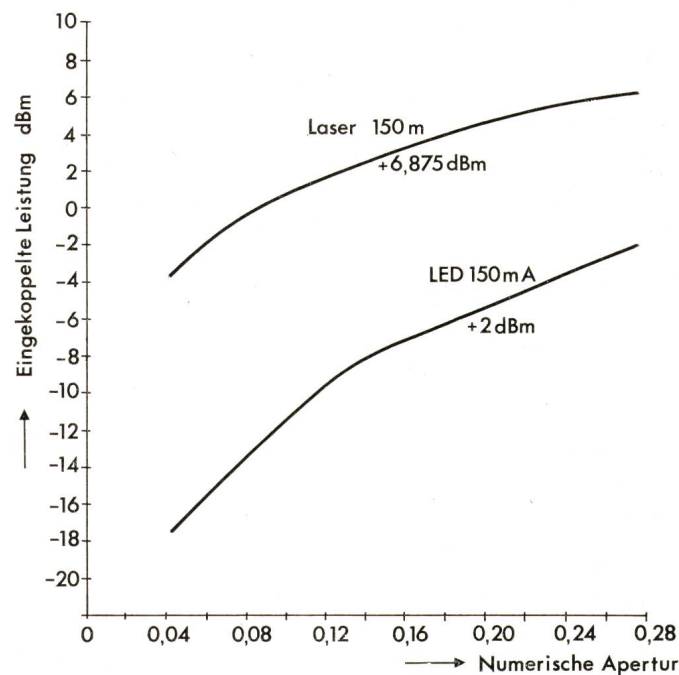


Fig. 6 Eingekoppelte optische Leistung in Funktion der numerischen Apertur (für LED und Laser)
 Bei einer direkten Koppelung zwischen Laser und Glasfaser mit $NA = 0,14$ verliert man der günstigen Geometrie wegen nur 4 dB, bei einer LED 10 dB.

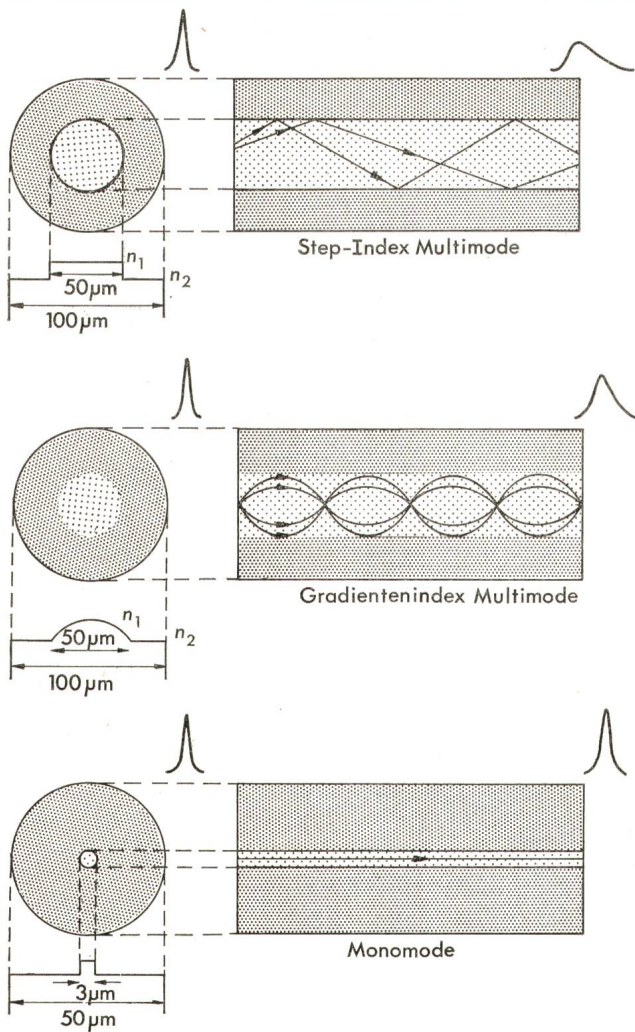


Fig. 7 Dispersionsverhalten verschiedener Fasertypen
Links Verlauf des Brechungsindexprofils über den Faserquerschnitt.

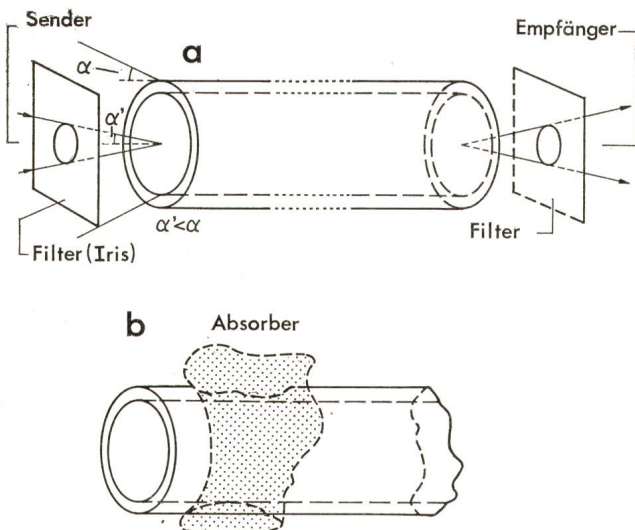


Fig. 8 Zwei Methoden zur Beeinflussung der «Bandbreite» von Fasern (Prinzip)
a mittels Iris (Blende)
b mittels Absorber (Modenfilter)
Wellenumwandlungen durch Querschnittsdeformationen und Krümmungen entlang der Faser müssen mitberücksichtigt werden.

- die mittlere vom Laser in die Faser eingekoppelte Lichtleistung,
 - die Verlust- und Dispersionscharakteristik der Faser,
 - die Empfindlichkeit des Photodetektors.
- Im folgenden werden ausschliesslich die beiden ersten, fasertechnischen Probleme behandelt.

4. Eigenschaften von Glasfasern

Die von den PTT verwendete Multimodefaser (Fig. 1) besteht aus einem Kern von 50 bis 100 μm Durchmesser, der von einem Mantel mit niedrigem Brechungsindex umgeben ist [16]. Das Licht kann sich entsprechend der geometrischen Optik bis zu einem Winkel, Φ_c welcher der Totalreflexion am Mantel entspricht, unter einem beliebigen Winkel fortpflanzen und wird am Mantel jeweils reflektiert. Dies führt zu Impulsverbreiterungen infolge unterschiedlicher Laufzeiten der Strahlen (Fig. 2), welche den Ausbreitungsmoden entsprechen. Man bezeichnet diese Art von Laufzeitdifferenz als Modendispersion. Der Zickzackweg von Wellen höherer Ordnung ist länger als derjenige von Wellen tieferer Ordnung, welche sich direkt in Achsrichtung fortpflanzen. Fig. 3 zeigt die spektrale Dämpfung der Fasern und ihre potentielle Breitbandigkeit verglichen mit verschiedenen Koaxialkabeltypen.

Die Verbindung einer Multimodefaser mit einem Laser geeigneter Dimension kann durch einfaches Aneinanderfügen und Vergiessen oder mittels mechanischer Fixierung erfolgen. Bei dieser einfachen Koppelung treten relativ grosse Verluste

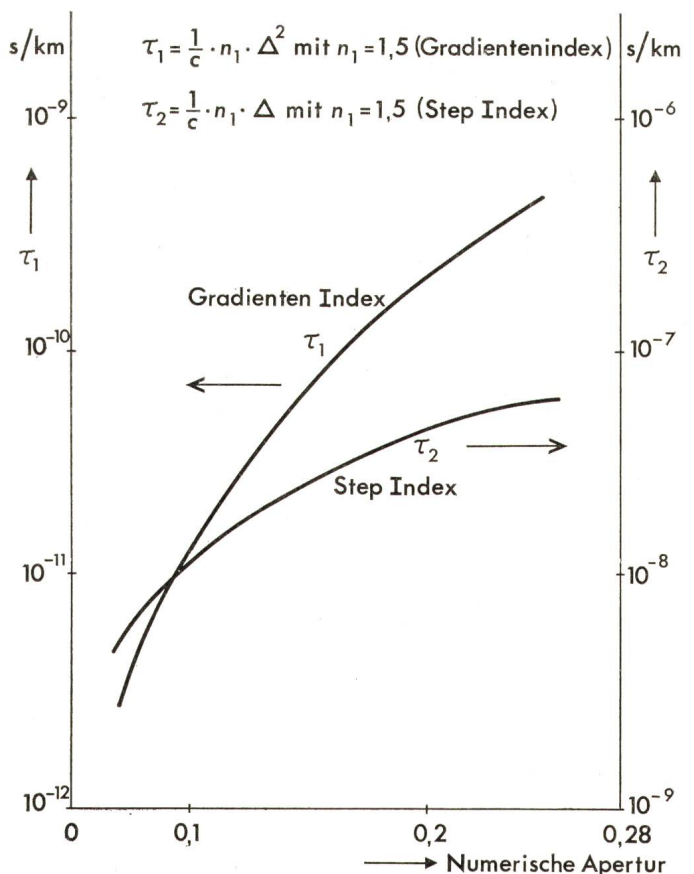


Fig. 9 Multimode-Gruppenlaufzeitstreuung in Funktion der numerischen Apertur
 n_1 = Brechungsindex des Faserkerns
 n_2 = Brechungsindex des Fasermantels
 $\Delta = n_1 - n_2$
 c = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

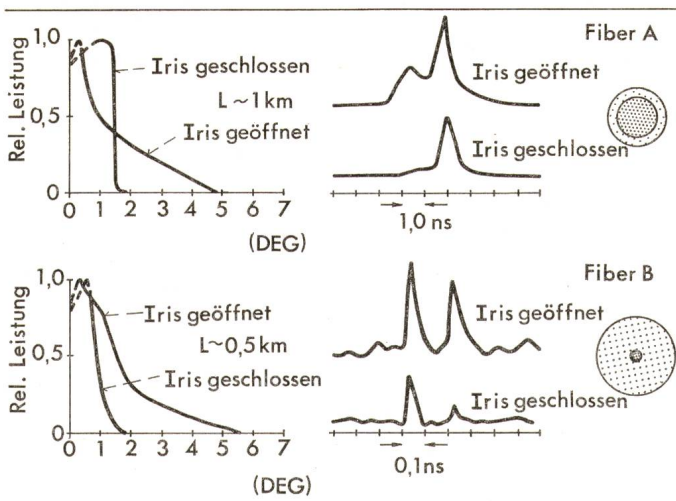


Fig. 10 Beispiele zur Beeinflussung des Dispersionsverhaltens von zwei Gradientenfasern unterschiedlicher Struktur mittels Iris am Faserende

auf, weil der Strahlöffnungswinkel in der Richtung senkrecht zum pn-Übergang des Lasers meistens grösser ist als der Aufnahmewinkel der Faser (Fig. 4). Diesbezüglich noch ungünstiger ist die Koppelung mit einer Leuchtdiode, deren Strahl noch weniger gebündelt ist und sich nahezu über einen Raumwinkel von 2π erstreckt. Ohne besondere Hilfsmittel lässt sich daher mit einem Doppelheterojunktionslaser nicht mehr als einige 10% der Leistung in eine gute Faser mit kleinem Akzeptanzwinkel (z. B. $NA = 0,14$) einkoppeln (Fig. 5, 6). Durch Ausnutzung des ganzen Aufnahmewinkels werden praktisch alle Moden der Faser angeregt. Es können dies weit über 1000 sein, und damit wird die Dispersion gross.

Herstellungstechnische Massnahmen bewirken bei der sog. Gradientenfaser, dass die Laufzeitunterschiede zwischen den verschiedenen Moden gering werden (Fig. 7), weil der längere Weg der äusseren Strahlen durch die grössere Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Gebieten mit kleinerem Brechungsindex ausgeglichen wird. Der Brechungsindex verändert sich dabei kontinuierlich über den Faserquerschnitt, im günstigsten Fall ist die Abhängigkeit ungefähr quadratisch. Die Monomodefaser hat einen Kerndurchmesser von nur etwa $1...3\ \mu\text{m}$, d. h. von der Grössenordnung der Wellenlänge des Lichts ($0,9\ \mu\text{m}$). Laufzeitverzerrungen treten keine mehr auf, bzw. Restverzerrungen sind nur noch durch die Dispersion des Glases gegeben. Die Ankoppelung ist in diesem Falle aber wesentlich schwieriger, so dass dieser Fasertyp bis jetzt nicht praktisch angewendet worden ist.

Indem man verhindert, dass sich Moden höherer Ordnung ausbreiten können und zum Detektor gelangen [9], lässt sich das Dispersionsverhalten von Multimodefasern verbessern (Fig. 8, 9). An der Stelle, wo der Absorber (der sog. Modenfilter) angebracht wird, entfernt man den Fasermantel der Länge nach. Für längere Faserstücke ist eine periodische Wiederholung dieser Struktur vorzusehen.

Die Wirkung der Iris am Faserende zeigt Fig. 10. Dazu wird am Eingang der Gradientenfasern A und B ein 500-ps-Impuls eines GaAs-Lasers eingekoppelt und bei offener bzw. geschlossener Iris am Faserende beobachtet. Die bei A vor, bei B nach dem Hauptpuls eintreffenden Moden höherer Ordnung werden bei geschlossener Iris unterdrückt. Das Modenfilter zeigt ähnliche Wirkungen. In beiden Fällen aber haben die Filter einen Leistungsverlust zur Folge.

5. Verbindung von Glasfasern

Für die Verkoppelung oder Spleissung von Glasfasern wurden schon viele Methoden ausprobiert. Das Ziel dieser Anstrengungen ist es, einen Stecker zu schaffen, in den das Faserende auf einfache Art eingeführt werden kann und dessen Präzision eine optische Justierung unnötig macht. Eine wichtige Voraussetzung für jede Spleissung sind saubere, glatte Faserenden, die man durch Polieren oder Brechen der Fasern erhält. Fig. 11 zeigt, welche mechanischen Toleranzen für eine Verbindung Faser-Faser wichtig sind (Multimodefaser) [13]. In

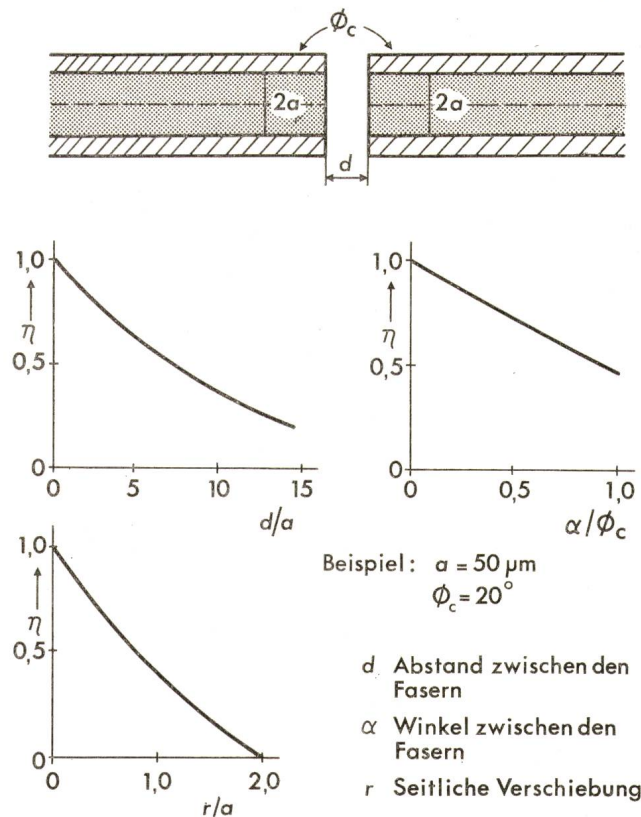


Fig. 11 Einfluss der Kopplungsgeometrie bei der Verbindung zweier Fasern
Die Kopplungsverluste werden am stärksten durch Geometriestörungen in radialer Richtung beeinflusst (Steckerexzentrizität)

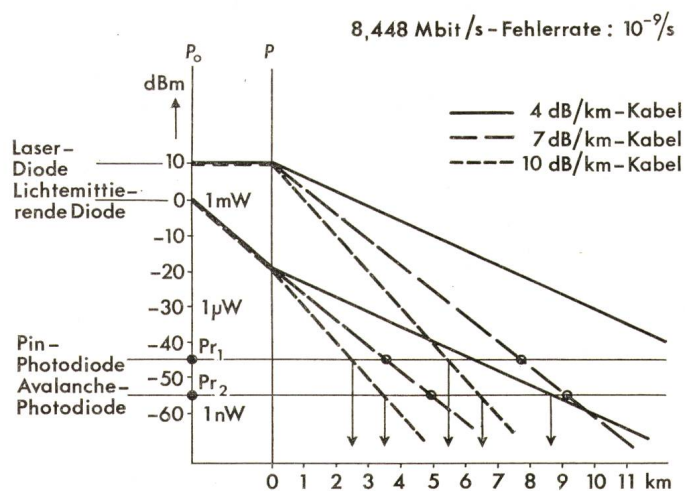


Fig. 12 Dämpfung und Repeaterabstand
 P_0 Quellenleistung
 P in die Faser eingekoppelte Leistung
Steckerverluste sind vernachlässigt

Steckerverbindungen für Glasfasern werden die Glasfasern in Glaskapillaren geführt oder in Schrauben oder Halterungen mit einer Längsnut eingeklebt. Diese Halterungen mit den Faserenden werden mittels Präzisionsführungen aneinandergefügt. Zur Lösung des mikromechanischen Problems der Faserstecker sind verschiedene Ansätze vorhanden. In der Schweiz wurde von der Erdkabelindustrie ein vielversprechender Stecker für Glasfaserkabel mit 8 Fasern entwickelt. Kopplungen Faser-Faser lassen sich ohne Nachjustierung mit einem Verlust, der kleiner als 1 dB ist, herstellen. Diese geringen Steckerverluste sind in Anbetracht der heute üblichen niedrigen Dämpfungen der Glasfaserkabel im Bereich 10...20 dB/km von grosser Bedeutung, weil die maximal herstellbare Länge der Glasfaserkabel zwischen 100 m und 1 km liegt. Die dem Einsatz im digitalen Fernmeldenetz genügenden Zwischenverstärker für Lichtleit-Übertragungsstrecken können Verluste bis zu ca. 60 dB ausgleichen (8,448 Mbit/s PCM). Fig. 12 zeigt die unter diesen Bedingungen erreichbaren Zwischenverstärkerabstände (Repeaterabstände) [14; 15].

Literatur

- [1] C. Mackenzie: Alexander Graham Bell. The man who contracted space. Reprint of the edition 1928. Freeport, N.Y., Books for Libraries Press, 1971.
- [2] L. Mattera: Fiber-optic cable is multichannel. Electronics 48(1975)10, p. 121.
- [3] Fiber-optic field attracting new cable, connectors. Electronics 49(1975)10, p. 33...34.

- [4] M. Gfeller: Der Einsatz von Bezirkskabeln mit Minikoaxialtuben und ihre PCM-mässige Ausnützung im schweizerischen Fernmeldenetz. Techn. Mitt. PTT 53(1975)9, S. 316...323.
- [5] C. Deutsch: Optische Nachrichtenübertragung. Techn. Mitt. PTT 53(1975)8, S. 284...291.
- [6] H. Ohnesorge und S. Maslowski: Lasernachrichtensysteme mit Glasfaserkanälen. Techn. Rdsch. 65(1973)8, S. 37...41.
- [7] W. Heintze: Multimode glass fibre as transmission medium for digital signals. Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Ber. 2(1973)4, p. 189...194.
- [8] F. L. Thiel and W. B. Bielawski: Optical waveguides look brighter than ever. Electronics 47(1974)6, p. 89...96.
- [9] M. Ikeda and H. Yoshikiyo: Pulse separating in transmission characteristics of multimode graded index optical fibres. Applied Optics 15(1976)5, p. 1307...1312.
- [10] W. A. Gambling a. o.: Propagation model for multimode optical fibre waveguide. Electronics Letters. 8(1972)10, p. 260...262.
- [11] K. Furuya a. o.: External higher-index mode filters for band widening of multimode optical fibers. Applied Physics Letters 27(1975)8, p. 456...458.
- [12] L. G. Cohen: Pulse transmission measurements for determining near optimal profile gradings in multimode borosilicate optical fibers. Applied Optics 15(1976)7, p. 1808...1814.
- [13] K. Miyazaki a. o.: Theoretical and experimental considerations of optical fiber connector. Topical Meeting in Optical Fiber Transmission, 7..9 January 1975, Williamsburg, Va., p. WA4-1...WA4-4.
- [14] J. Feldmann: Prüfung der Einsatzmöglichkeiten gegenwärtig verfügbarer optischer Nachrichtenübertragungssysteme im Fernmeldenetz der DBP. NTZ 29(1976)3, S. 235...237.
- [15] C. Y. Boisrobert a. o.: Digital repeater design. Proceedings of the First European Conference on Optical Fibre Communication, 16th...18th September 1975, London. IEE Conference Publication (1975)132, p. 204...208.
- [16] H.-G. Unger: Optische Nachrichtentechnik. Berlin, Elitera-Verlag, 1976.
- [17] T. A. Eppes, J. E. Goell and C. Kao: Long distance optical communication. Proceedings of the International Conference on Communication 1975, June 16...19, 1975, San Francisco, p. 32-5...32-9.

Adresse des Autors

W. A. Steffen, dipl. Ing. ETHZ, Chef der Sektion Technologie, Abteilung Forschung und Entwicklung, Generaldirektion PTT, Viktoriastrasse 21, 3000 Bern 33.

Mahlon Loomis 1826-1886

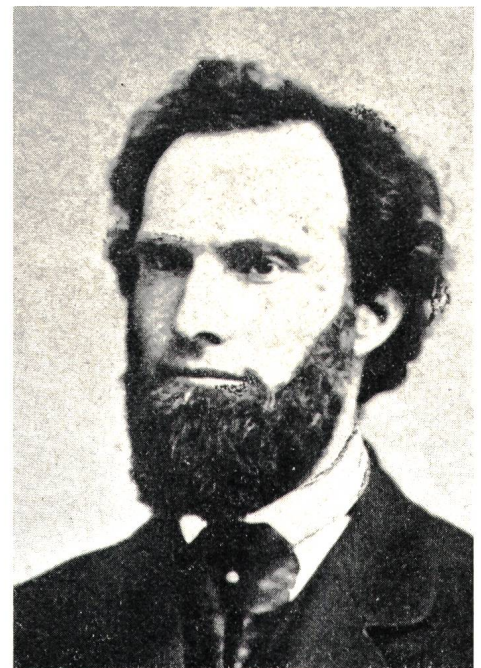
Um 1860 versuchte der Amerikaner Loomis die Luftpotelektrizität auszunutzen. Es gelang ihm, auf einer 600 km langen Telegrafenerleitung ohne Batterie Signale zu übertragen. Bei einem Versuch mit zwei Papierdrachen fiel ihm auf, dass das Erden des Drahtes des zweiten Drachens einen Einfluss auf die Stromstärke des im Draht des ersten Drachens abgeleiteten Stromes ausübt. Das brachte ihn auf den Gedanken, zu versuchen, Signale drahtlos zu übertragen. 1866 war er so weit, dass er die Erfindung vorführen konnte.

Auf zwei etwa 20 km voneinander entfernten Bergen liess er je einen Drachen aufsteigen, an dem ein Draht befestigt war. Zwischen Draht und Erde wurde ein Galvanometer geschaltet. War nur die Erdverbindung auf einer Station geschlossen, zeigte das Galvanometer einen relativ grossen Ausschlag. Wurde die Erdverbindung auch auf dem andern Berggipfel geschlossen, so ging der Galvanometer-Ausschlag auf der ersten Station beträchtlich zurück, da die geladene Luftschicht doppelt «angezapft» wurde. Auf diese Weise konnte Loomis Signale in beiden Richtungen drahtlos übertragen.

Es gelang ihm, Kapitalgeber für seine Erfindung zu interessieren, aber einmal der Börsenpanik von 1869, das andere Mal des Grossbrandes von Chicago wegen zogen sie sich wieder zurück. 1872 wurde im Congress und im Jahr darauf im Senat die «Loomis Aerial Telegraphy Company» eingetragen, aber ein erhoffter Beitrag des Staates blieb aus.

Loomis wurde am 21. Juli 1826 als Sohn eines aus England stammenden Professors im Staate New York geboren. Die Familie zog später nach Cleveland, wo Mahlon Zahnheilkunde studierte. Eine Zeitlang war er als Wanderzahnarzt tätig, liess sich aber dann in Philadelphia nieder. 1854 erhielt er ein Patent für ein Verfahren zur Herstellung künstlicher Zähne. Von 1860 bis 1872 widmete er sich ausschliesslich den Elektrizitätsversuchen. Er war stets voller Ideen. Als sich aber alle seine Hoffnungen zerschlugen, brach er zusammen. Er starb am 13. Oktober 1886.

Die Amerikaner sehen in Loomis einen Pionier der drahtlosen Telegrafie, der zwar nicht erkannte und auch nicht erkennen konnte, wie nahe er der grossen Erfindung war. Denn beim Erden der Drachen-Drähte erzeugten die entstehenden Funken sicher auch Wellen, die damals aber noch unbekannt und unnachweisbar waren. Erst 20 bis 30 Jahre später schrieben dann Hertz, Marconi, Braun und viele andere dieses neue Kapitel der Technikgeschichte.



Library of Congress, Washington DC

H. Wüger