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: 77 (1986)

Heft: 3

Artikel: Vom Glasfaser-Overlay-Netz zum Breitbandfernmeldenetz : Strategien und Systemkomponenten

Autor: Schlüssler, H. / Krumpholz, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904151

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

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

Vom Glasfaser-Overlay-Netz zum Breitbandfernmeldenetz – Strategien und Systemkomponenten

H. Schüßler und O. Krumpholz

Der Aufsatz befasst sich mit den technischen und finanziellen Fragen, die bei der Planung eines Glasfaser-Breitbandfernmeldenetzes (für die Bundesrepublik Deutschland) zu berücksichtigen sind. Neben der Netzkonfiguration werden eingehend die schon heute verfügbaren Systemkomponenten vor allem in Hinsicht auf ihren Einsatz im Ortsnetz besprochen.

L'article traite des questions d'ordres technique et financier qui se posent lors de la planification d'un réseau de télécommunication à large bande, en fibre de verre, pour la RFA. La configuration de ce réseau est décrite, de même que les composants du système déjà disponibles plus particulièrement en vue de leur emploi dans un réseau local.

Der Aufsatz entspricht dem Fachreferat von Dr. H. Schüßler und Dr. O. Krumpholz anlässlich des 20. Technischen Pressecolloquiums der AEG am 23./24. Oktober 1985 in Berlin.

Adresse der Autoren

Dr.-Ing. *H. Schüßler*, AEG KABEL Aktiengesellschaft, D-4050 Mönchengladbach, und Dr.-Ing. *Krumpholz*, Abteilung Optische Nachrichtentechnik, AEG Forschungsinstitut, D-7900 Ulm.

Glasfasereinführung

Der Aufbau von Glasfasernetzen und die damit zusammenhängenden Einführungsstrategien im Ortsnetz wurden 1983 beim 18. Technischen Pressecolloquium der AEG behandelt und dabei vier mögliche Strategien [1] zur Diskusskion gestellt (Tab. I).

- Objektbezogene Auswahl,
- Inselbildung,
- überlagertes Netz,
- Ersatz und Erweiterung von bestehenden Netzen.

In den vergangenen zwei Jahren haben sich die Überlegungen zur Einführung der Technik sehr deutlich weiterbewegt. Der mögliche Bedarf für Breitbanddienste, die nicht durch das Schmalband-ISDN abgewickelt werden können, ist klarer erkennbar geworden, und auch die technische Entwicklung ist weitergegangen. Heute können für die Realisierung eines Breitbandnetzes neue Aspekte aufgezeigt werden. Der zügige Ausbau der Breitbandverteilnetze und der Abschluss der BIGFON-Versuche erlauben heute eine sicherere Beurteilung des Aufwandes bei einer Durchführung der jeweiligen Strategien. Die Ta-

Einführungsstrategien für Glasfasernetz im Teilnehmeranschlussbereich Tabelle I

Objektbezogene Auswahl: Mögliche Baumassnahmen für Teilnehmer werden im Rahmen von Projekten zusammengefasst. Diese Methode ist mindestens von der geographischen Situation her willkürlich, sehr aufwendig und in der Praxis nicht durchführbar.

Inselbildung: Es werden Schwerpunkte gebildet, in denen mit hohem Durchdringungsgrad schnell aufgebaut wird. Da es sich um flächendeckende Dienste handelt, müssen sofort und an vielen Stellen Inseln gebildet und miteinander verbunden werden. Das führt leicht zu einer Überlastung der ökonomischen Ressourcen.

Überlagertes Netz (Overlay-Netz): Flächendeckende Baumassnahme, die spinnenförmig das bestehende Netz zunächst mit geringer Dichte überdeckt. Das überlagernde Netz wird mit der Zeit verstärkt und nimmt im Laufe des Ausbaues die bestehenden Netze in sich auf. Dabei sind mehrere Phasen zu unterscheiden:

1. Phase: Overlay-Netz für neuen Dienst,
2. Phase: Integration anderer Dienste in das Overlay-Netz,
3. Phase: Verstärkung des Overlay-Netzes, Übernahme der Dienste aus den bestehenden Netzen.

Für das Bildfernsprechen zum Beispiel wird die Anbindung an das Fernnetz eine wesentliche Rolle spielen; die ersten Teilnehmer werden deswegen möglichst nahe den Fernnetzknoten etabliert, den sogenannten Zentralvermittlungsstellen – es gibt deren sieben in der Bundesrepublik Deutschland. Später wird man das Overlay-Netz zu den fernnetzknotenentfernteren Regionen vorschieben, und zwar über die Haupt- und Knotenvermittlungsstellen zu den Ortsvermittlungsstellen (Top-Down-Strategie). Mit dieser Strategie des geringsten Startaufwandes kann eine Anlaufversorgung für den neuen Dienst «Bildfernsprechen» sichergestellt werden.

Einführung über Einsatz und Erweiterung: Die Strategie der Einführung über Ersatz und Erweiterung in bestehenden Netzen eignet sich nicht als generelle Strategie und kommt erst in der zweiten und dritten Phase zum Tragen.

Aufwand in Telekommunikationsnetzen pro Teilnehmer Tabelle II

	Fernsprechnetz Doppeladerkabel	Breitbandverteilungsnetz Koaxialkabel	BIGFON-Prognose Glasfaserkabel
Anteilige Kosten des Gesamtnetzes pro Teilnehmer in DM	5000	875 (3 Haushalte pro Übergabepunkt)	10 000...20 000
darin enthalten: Kosten der Ortskabelanlage in DM	2000 (40%)	800 (92%)	2200 (11...22%)
davon:			
Kabelkosten in DM	180	60	450
Kabelmenge	2,5 km Doppelader	30 m Koaxialpaar	1,8 km Fasern
jährliches Einbauvolumen	6 Mio km Doppelader	60 000 km Koaxialpaar	4 Mio km Fasern

belle II zeigt die wesentlichsten Kennzahlen. Die grundsätzliche Verwendung von Glasfasern im Ortsnetz kommt aus Kostengründen bei einfachen Fernsprechanschlüssen und Fernsehverteilanlagen ohne Rückkanal nicht in Betracht. Von den vier Einführungsstrategien hat sich die Strategie des Overlay-Netzes deswegen durchgesetzt, weil die Deutsche Bundespost aus Kostengründen für die optoelektronische Übertragung, insbesondere für die optoelektronischen Wandler, noch keine umfassende Anwendung im Ortsnetz planen wollte. Sie überlegt deshalb, wie sie mit geringen Kosten möglichst viel Nutzanwendung für neue Breitbanddienste, d. h. hohe Anschlusszahlen, realisieren kann.

In die Planungsreihe «Digitalisierung des Fernsprechnetzes, ISDN und Breitband-ISDN» fügt sich ein Dienstespektrum für das Breitband-ISDN
- Video-Konferenz,
- Bildfernsprechen und
- Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung

nahtlos ein.

Breitbandnetze

Für die drei genannten Breitbanddienste gilt es nun, ein völlig neues Netz zu entwerfen und zu bauen. Hierbei muss man allerdings die Möglichkeit der Verdichtung dieses Netzes bereits mit ins Auge fassen und überlegen, ob dieses neue Netz nicht in Zukunft einmal die bestehenden Netze in sich aufsaugen kann.

Erhebungen der Deutschen Bundespost, verschiedener Industrien und Institutionen der Telekommunikationsbranche sowie von Marktforschern haben primär einen Anfangsbedarf für geschäftliche Zwecke und erst in zweiter Linie einen Bedarf im privaten Bereich erkennen lassen. Da die Nutzung der Bildübertragungsdienste im Nahbereich nicht von grosser Bedeutung ist, hat die Deutsche Bundespost schon bald nach der Realisierung der BIGFON-Inseln in den Großstädten Hamburg, Hannover, Berlin, Düsseldorf, Stuttgart, Nürnberg und München eine Verbindungsstrecke zwischen diesen Inseln beschlossen. Diese wird Ende 1986 realisiert sein. In Figur 1 ist

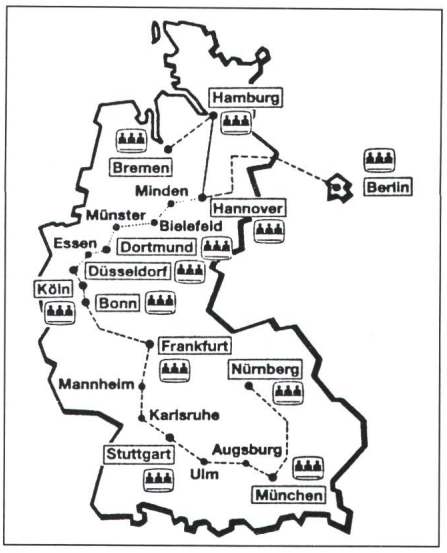

Fig. 1 Glasfaser-Fernstrecken in der BRD
——— in Betrieb
..... im Bau
------ geplant
öffentlicher Video-Konferenzraum
Fertigstellung 1985/86

das geplante Glasfaserfernnetz für den Aufbau von Breitbanddiensten gezeigt. Der erste Schritt ist das pragmatische Zusammenschliessen von flächig verteilten Großstadtnetzen. Damit gewinnt man die Möglichkeit, zwischen sehr weit entfernten Punkten breitbandige Nachrichtenübermittlung durchzuführen und neue Dienste, z. B. die Videokonferenz, kurzfristig einzuführen.

Netzmodell

Geht man von der Frage aus, wie man ein neues Netz «auf der grünen Wiese» aufbauen sollte, dann ist zu überlegen, wie die einzelnen Komponenten des Netzes, Verbindungsleitungen und Vermittlungen am zweckmässigsten eingesetzt werden. Beim einfachsten Modell baut man ein sternförmiges Netz mit einer einzigen Vermittlung auf, an die alle Teilnehmer angeschlossen werden. Auf die Bundesrepublik übertragen hiesse das, dass etwa im Raum Frankfurt/Kassel eine einzige Vermittlungsstelle für das Bundesgebiet eingerichtet würde, von der aus alle Teilnehmer direkt angeschaltet werden könnten. Das führt zu Teilnehmeranschluss-Leitungslängen bis zu 500 km. Bei einem dichten Netz, wie dem Fernsprechnetz, ergibt sich ein Kostenoptimum bei etwa 5000 Vermittlungsstellen und bei einem mittleren Anschlussradius der Teilnehmer zu diesen Vermittlungsstellen von weniger als 2 km; hinzu kommen Fernleitungen, die die Verbindungen zwischen den einzelnen Vermittlungsstellen herstellen.

Zwischen dem einfachen Modell mit einer einzigen Vermittlung und mit den langen Anschlussleitungen einerseits und der Wirklichkeit des dichten Fernsprechnetzes anderseits gibt es ausserordentlich grosse Unterschiede beim Realisierungsaufwand. In einem einfachen Modell wird gezeigt, in welchem Masse es gelingt, durch die Netzgestaltung die Kosten für ein Fernmeldenetz niedrig zu halten. In Figur 2 sind diese zwei Konfigurationsmöglichkeiten für je 10 000 Teilnehmeranschlüsse dargestellt. Das Netz mit nur einer Vermittlungsstelle ist etwa fünfmal teurer als das Netz mit 100 Vermittlungsstellen, und zwar fast ausschliesslich wegen des wesentlich grösseren Leitungsbedarfs.

Die Figur 3 stellt die Anschlusslängenentwicklung beim Aufbau des Breitbandnetzes nach dem optimierten Modell und die Kosten pro Teilneh-

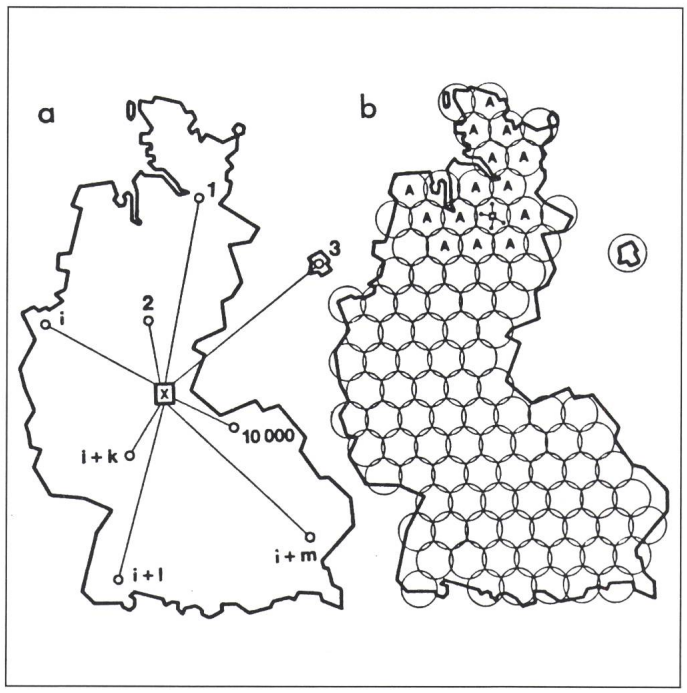

Fig. 2
Unterschiedliche Aufbaustrategien für das Overlay-Netz bei 10 000 Teilnehmern
a:
Netz mit nur einer Vermittlungsstelle
Aufwand: 11 Mia DM
davon für Glasfaserstrecken (2 Mio km Fasern): 10 Mia DM
und für Vermittlungsstelle: 1 Mia DM
b:
Netz mit rund 100 Anschlussbereichen (A)
Aufwand: 2,3 Mia DM
davon für Glasfaserstrecken (240 000 km Fasern): 1,2 Mia DM
und für Vermittlungsstellen: 1,1 Mia DM

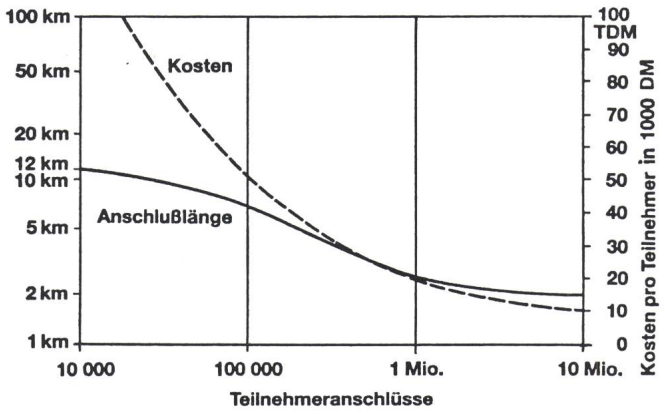

Fig. 3
Geschätzte Entwicklung von Teilnehmeranschlusslängen und Anschlusskosten bei Verdichtung des Overlay-Netzes

meranschluss über der Anschlussdichte dar. In einer frühen Einführungsphase muss man mit maximal 22 km Teilnehmeranschlussleitung rechnen (im Mittel etwa 12 km). In dieser Konfiguration geht man von wenigen Teilnehmern aus – hier sind insgesamt in der ersten Phase nur etwa 10 000 Teilnehmer vorgesehen. In einem späteren Schritt werden dann mit wachsender Dichte des Netzes die Teilnehmeranschlusslängen durch das Hinzufügen weiterer Vermittlungsstellen und deren Vermaschung mit Fernnetzlinien sehr stark zurückgehen. Aufgrund dieser Strategie wird allmählich das endgültig entstehende Netz dem heutigen Fernsprechnetz immer ähnlicher. Das ist insofern wünschenswert, als man sich beim Aufbau der Breitbandnetze doch vielfach der aus der Fernsprechtechnik vorhandenen Bauten bedienen will. Dabei können die Breitbandvermittlungsstellen in bestehenden Vermittlungsgebäuden untergebracht und die bestehenden Kabelkanalanlagen, z. B. in den Städten, zum Einziehen der Kabel des Overlay-Netzes mitbenutzt werden.

Bauvorhaben im Fernnetz

Weitere Synergien bei Bauvorhaben von Fernnetzen gibt es z. B. dadurch, dass neu durchzuführende Bauvorhaben für zwei Zwecke genutzt werden:
- Ausbau des Fernsprechnetzes mit neuer Technologie,
- Aufbau von Teilen des Overlay-Netzes.

Bei den Strecken Hamburg–Hannover–Berlin und von Hannover über das Ruhrgebiet, das Rhein-Main-Gebiet nach Süddeutschland über Stuttgart nach München und auslaufend in Regensburg und Nürnberg werden nicht nur Fernlinien für das Fernsprechnetz gebaut, sondern im gleichen Kabel eine bestimmte Anzahl von Fasern für das Fernliniennetz eines Breitband-Overlay-Netzes mit verlegt, wodurch erhebliche Kosten gespart werden. Die AEG baut zur Zeit (1985) als Konsortialführer im Auftrag der Deutschen Bundespost die Strecke Münster–Dortmund.

Beim Fernliniennetz zur Verbindung der Vermittlungsstellen gibt es keine Unterschiede der Technik für das Fernsprechnetz und das neue Overlay-Netz. Es werden hier die leistungsfähigsten digitalen Übertragungssysteme eingesetzt. In der Einführungsphase sind dies 565-Mbit/s-Systeme auf Einmodenfasern (Monomodefasern) mit Repeaterabständen bis zu 36 km. Diese Übertragungssysteme können benutzt werden entweder zur Übertragung von 7680 Telefongesprächen in digitaler Form oder aber von vier 140-Mbit/s-Kanälen z. B. für die Videokonferenzübertragung. Über den Stand der Technik auf dem Gebiet der Breitbandvermittlung ist an anderer Stelle bereits berichtet worden [2]. Die AEG hat für diese Zwecke Koppelbausteine entwickelt, die die direkte Durchschaltung von 140-Mbit/s-Signalen erlauben. Bausteine dieser Art sind für die ersten Breitband-Vermittlungseinrichtungen der Deutschen Bundespost von der AEG hergestellt und geliefert worden.

Neue Techniken für Teilnehmeranschluss

Gegenüber der konventionellen Teilnehmeranschlussleitung im Fernsprechnetz, die keine elektronischen Schaltungen enthält, entstehen bei der optischen Übertragung wegen der zusätzlichen nowendigen Optoelektronik bei den Zentralen und beim Teilnehmer wesentlich höhere Kosten. Ferner muss bedacht werden, dass das notwendige Faservolumen für eine Totalverkabelung im Ortsnetz zwischen 70 und 100 Mio Faserkilometer für die Bundesrepublik Deutschland liegt, ein Volumen, das nur sehr langfristig eingebaut werden kann.

Von vornherein bestand deswegen die Forderung, für die Komponenten des Teilnehmeranschlusses nur eine langfristig abgesicherte und aufwärtskompatible Technologie festzulegen. In dieser Hinsicht wurde die Gradien-

tenfaser wegen ihrer einfacheren Handhabbarkeit bei der Ankopplung und Montage vielfach als erste Wahl gesehen. Inzwischen haben sich daran Zweifel ergeben, weil die Faserherstellung für Gradientenfasern hoher Bandbreite, wie sie in der Anlaufphase mit den langen Teilnehmeranschlussleitungen benötigt werden, aufwendig ist. Deswegen wurden bei der AEG schon sehr früh Überlegungen angestellt, ob nicht mit speziellen, für den Ortsnetzeinsatz entwickelten Einmodenfasern, die besonders wirtschaftlich hergestellt werden können, eine günstigere Systemlösung definiert werden kann, Massgebende Gesichtspunkte hierbei sind u. a.

- die grosse Zukunftssicherheit dieses Fasertyps infolge der inhärent hohen Bandbreite,
- die einfache Herstellmöglichkeit für einen speziellen, für Ortsnetzanwendungen entworfenen Fasertyp.

Das einzige Handicap dieser Technik war die Ankopplung des elektrooptischen Wandlers. Es schien viele Jahre so, als gäbe es nur eine Übertragung über Einmodenfaser mit Laserelementen; diese sind bekannterweise auch heute noch sehr teuer und stellen auch im Betrieb erhebliche Ansprüche an die Ansteuerschaltung und z. B. auch an die Kühlung. Diese im Fernnetz eingeführte Technik war für das Ortsnetz nicht geeignet. In den folgenden Abschnitten wird über Forschungsergebnisse der AEG berichtet, die zeigen, dass es gelungen ist, auch einfachere Sender, z. B. Lumineszenzdioden, für eine Übertragung im Ortsnetz über Einmodenfasern zu benutzen. Solche technischen Lösungen sind die Voraussetzung, von dem dünnen Overlay-Netz für Sonderanwendungen zu einem dichten Breitbandnetz für die Massenanwendung und somit zum dienstintegrierten Teilnehmeranschluss zu kommen.

Systemkomponenten

Untersuchungen im AEG-Forschungsinstitut in Ulm haben gezeigt, dass – entgegen der herkömmlichen Meinung – Lumineszenzdioden (LED) als Sendeelemente eingesetzt werden können. Gegenüber Laserdioden zeichnen sich diese u. a. aus durch

- niedrigere Herstellkosten,
- einfacheren Betrieb und höhere Zuverlässigkeit,
- völlige Rückwirkungsunempfindlichkeit.

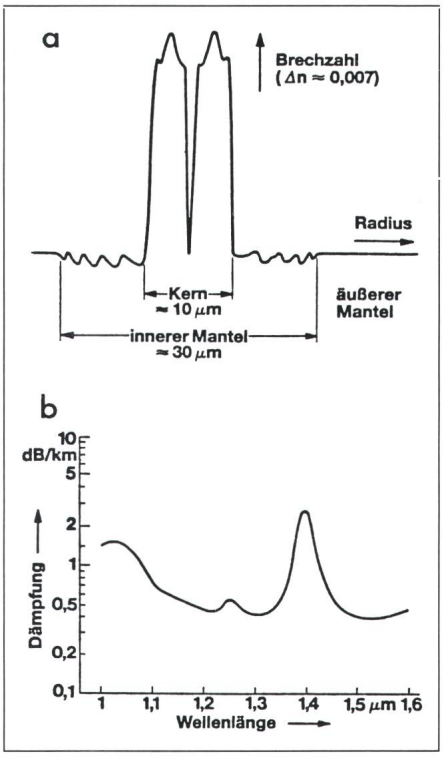

Fig. 4 Monomodefaser
a Brechzahlprofil
b Spektraler Dämpfungsverlauf

Allerdings sind die Leistungen, die sich in eine Einmodenfaser einkoppeln lassen, erheblich niedriger, so dass die überbrückbaren Streckenlängen deutlich kürzer, aber für die meisten Ortsnetzentfernungen ausreichend sind. Die Eigenschaften der wichtigsten Komponenten und die technischen Realisierungsmöglichkeiten des optischen Teilnehmeranschlusses werden im folgenden besprochen.

Einmodenfaser

Die Figur 4 zeigt das radiale Brechzahlprofil und den spektralen Dämpfungsverlauf einer für das Ortsnetz ausgelegten Einmodenfaser (Monomodefaser). Der Kern mit einem Durchmesser von etwa 10 μm ist zur Erhöhung der Brechzahl gegenüber dem Mantel ($\Delta n \approx 0{,}007$) geringfügig mit Germaniumoxid dotiert. Der Mantel unterteilt sich in die zwei Bereiche innerer und äusserer Mantel. Der innere Mantel ist wie der Kern aus hochreinem, aber im wesentlichen undotiertem Quarzglas aufgebaut; der äussere Mantel besteht aus dem Material des bei der Herstellung verwendeten Quarzrohres. Gegenüber qualitativ hochwertigen Einmodenfasern für die Fernübertragung wurde der Durchmesser des inneren Mantels von etwa 60 μm auf ungefähr 30 μm reduziert. Dies war nur auf Grund der zwischen innerem und äusserem Mantel angepassten Brechzahl möglich; bei Fasern für die Fernübertragung ist dagegen die Brechzahl des inneren Mantels gegenüber dem äusseren Mantel abgesenkt. Die Halbierung des inneren Manteldurchmessers verringert das Volumen von abgeschiedenem (und damit hochreinem) Quarzglas um den Faktor 4. Daraus resultiert eine kürzere Herstellzeit – ein wichtiger wirtschaftlicher Aspekt. Wegen des dünneren inneren Mantels werden jedoch die bei Weitverkehrfasern üblichen Dämpfungswerte – vor allem im Wellenlängenbereich um 1,55 μm – nicht ganz erreicht. Bei den relativ geringen Entfernungen im Ortsnetz ist das kaum von Bedeutung. Die Dämpfungsmaxima bei 1,38 μm und 1,24 μm Lichtwellenlänge sind auf noch vorhandene OH^--Verunreinigungen, die sich aber noch weiter verringern lassen, zurückzuführen. Die Dämpfungserhöhung unter 1,1 μm wird durch Leckverluste des nächsthöheren Modus verursacht, d. h. die Faser ist erst ab 1,1 μm einwellig.

Ein Nachteil von Einmodenfasern gegenüber Gradientenfasern sind die um etwa den Faktor 3 geringeren Koppeltoleranzen infolge des kleinen Kerndurchmessers. Stetige Verbesserungen bei der Spleiss- und Steckertechnik sowie bei den Fasertoleranzen werden diese Probleme zunehmend verringern.

Optischer Sender

Von den beiden LED-Typen, Flächenemitter und Kantenemitter, erwies sich letzterer in bezug auf die Leistungseinkopplung in eine Einmodenfaser überlegen. Die Figur 5 zeigt den Aufbau der im AEG-Forschungsinstitut entwickelten V-Nut-Kantenemitter-LED. Die nur 0,1 μm dicke aktive Zone (GaInAsP) wird auf einer Breite $w \approx 10$ μm und $L_a \approx 100$ μm (typische Werte) von Strom durchflossen, d. h. gepumpt, und damit zur Lichtemission angeregt. Die Einengung des Stromflusses auf die Breite w wird durch eine Diffusionsfront (gestrichelte Linie) erzwungen, die unterhalb der V-Nut in der Kristalloberfläche einen Strompfad in einem sperrenden pn-Übergang (n-InGaAsP/p-InP) öffnet. Die Länge L_a des aktiven Streifens erstreckt sich nicht über den gesamten Kristall, sondern lässt vielmehr einen Bereich der Länge L_u vor der hinteren

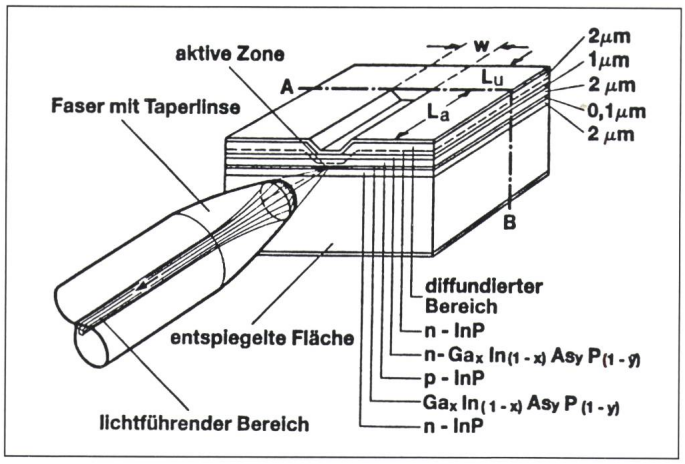

Fig. 5
LED-Sender mit angekoppelter Monomodefaser

Kristallstirnfläche ungepumpt (optischer Sumpf). Die vordere Stirnfläche muss für den optimalen Lichtaustritt möglichst gut entspiegelt sein.

Die V-Nut-Kantenemitter LED können bis 140 Mbit/s – mit einem Vorstrom von etwa 20 mA bis 280 Mbit/s – moduliert werden. Die spektrale Halbwertsbreite des emittierten Lichtes (Lichtwellenlänge z. B. 1,2 µm, 1,3 µm bzw. 1,5 µm) liegt typischerweise bei 90 nm. Zur Verbesserung der Einkopplung in eine Monomodefaser ist es günstig, das stumpfe Faserende durch einen Konus (Taper) mit halbsphärischer Linse zu ersetzen. Bei 100 mA beträgt die verfügbare Lichtleistung in der Faser mit Taperlinse etwa 10 µW.

Eine Steigerung der eingekoppelten Leistung auf nahezu 30µW ist durch Abtrennung des ungepumpten Bereiches der Länge L_u (Schnittlinie AB in Fig. 5) und gegebenenfalls Verspiegelung der hinteren Kristallstirnfläche möglich. In diesem Fall wird, vor allem bei einsetzender Lichtverstärkung, zusätzlich auch das in Rückwärtsrichtung emittierte Licht nutzbar gemacht. Der dann vorherrschende Superstrahlungsanteil führt zu einer Verschmälerung der spektralen Halbwertsbreite auf Werte um 50 nm. Für diese Verbesserung muss allerdings eine höhere Temperaturabhängigkeit der Ausgangsleistung hingenommen werden.

Optischer Empfänger

Zur Detektion des optischen Signals auf der Empfangsseite sind PIN-Photodioden konkurrenzlos. Sie werden meist, wie Fig. 6 zeigt, als Mesadioden aufgebaut. Das Licht strahlt durch das ab 0,95 µm Lichtwellenlänge transparente n-InP-Substratmaterial ein; es wird in der 2 bis 3 µm dicken n^--InGaAs-Schicht, in der sich bei Anlegen einer Sperrspannung eine Raumladungszone ausbildet, absorbiert. Die dort generierten Ladungsträger bewirken das Photostrom-Nutzsignal. Bei den üblichen Betriebsspannungen zwischen 5 und 10 V erhält man folgende typische Daten: Dunkelstrom <10 nA, Sperrschichtkapazität <0,5 pF, externer Quantenwirkungsgrad >80% und Demodulationsbandbreite >3 GHz. Die spektrale Empfindlichkeit erstreckt sich über den gesamten interessierenden Wellenlängenbereich von 1,1 bis 1,6 µm. Mit diesen Dioden werden bei geeignet dismensionierten Empfängern bei 140 Mbit/s Eingangsempfindlichkeiten zwischen -40 und -46 dBm erreicht. Zwar erhält man mit Lawinenphotodioden um 3 bis 5 dB höhere Werte, doch dürften diese Empfangselemente wegen der hohen Herstellkosten und des grossen Aufwandes im Betrieb nur in Ausnahmefällen in Betracht kommen.

Optischer Duplexer

Die bidirektionale Übertragung auf einer Faser mit zwei unterschiedlichen Wellenlängen (z. B. 1,2 µm und 1,3 µm bzw. 1,3 µm und 1,5 µm) erfordert zusätzlich Duplexer. Hierunter versteht man Bauelemente zur Ein- und Auskopplung der optischen Signale. Ein dafür geeignetes Konzept wurde bereits in Form des sog. «hybriden integrierten Duplexers» vorgestellt [3]. Es erlaubt die Integration von optischen Komponenten (Linsen, Filter) und optoelektronischen Bauelementen (Sende- und Empfangsdioden) in einem Gehäuse, so dass lediglich ein optischer und zwei elektrische Anschlüsse vorliegen. Durch diese Integration werden separate Gehäuse für die Sende- und Empfangselemente überflüssig. Auf diese Weise können einige Montage- und Justageschritte eingespart werden, so dass eine kostengünstige Fertigung möglich erscheint.

Begrenzung der Teilnehmeranschlusslänge

Die Teilnehmeranschlusslänge kann bei vorgegebenen Sende- und Empfangspegeln sowohl durch die *Übertragungsbandbreite* als auch durch die *Verluste* begrenzt sein. Infolge der relativ grossen Spektralbreite der LED und der Dispersion der Einmodenfaser kommt es zur Verbreiterung der Lichtimpulse auf der Leitung bzw. zur Begrenzung der Übertragungsbandbreite. Das Produkt aus Bandbreite und Übertragungslänge (BL-Produkt) ist in Figur 7 für spektral unterschied-

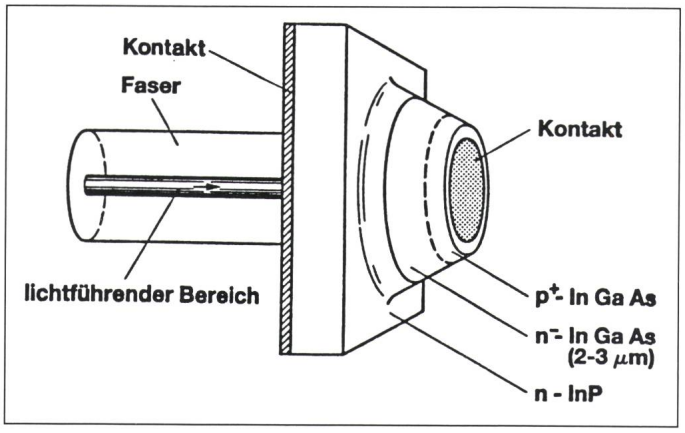

Fig. 6
PIN-Photodiode mit angekoppelter Monomodefaser

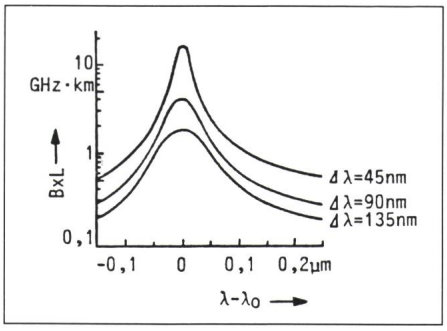

Fig. 7 Bandbreite-Länge-Produkt (B×L) einer Monomodefaser

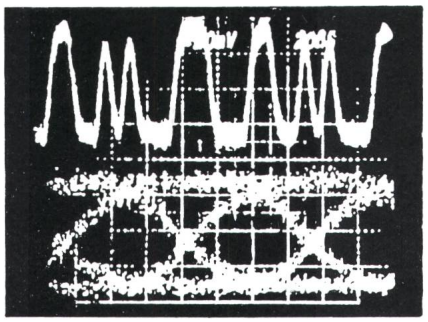

Fig. 8 Empfangssignalmuster und Augendiagramm nach 30 km Monomodefaser mit LED-Sender
(nach B. Hein und H. Richter)

lich breite LED ($\Delta\lambda$ = 45 nm, 90 nm, 135 nm) über ($\lambda - \lambda_0$) aufgetragen, wobei λ die Mittenwellenlänge der Emission und λ_0 das Dispersionsminimum der Einmodenfaser ($\lambda_0 \approx 1{,}3$ µm für einfache Stufenprofilfasern) bezeichnen. Man erkennt, dass selbst mit $\Delta\lambda$ = 90 nm im Dispersionsminimum ($\lambda = \lambda_0$) Übertragungslängen von mehr als 30 km bei einer Bitrate von 140 Mbit/s realisierbar sind. Dies wurde mit einer V-Nut-Kantenemitter-LED im Forschungsinstitut des FTZ in Darmstadt auch experimentell bestätigt. Figur 8 gibt das dabei erzielte Empfangssignalmuster und Augendiagramm wieder. Die gemessene Bitfehlerrate war $<10^{-9}$. Zur Signaldetektion wurde ein PIN-FET-Empfänger mit einer Eingangsempfindlichkeit von etwa -40 dBm eingesetzt. Abseits des Dispersionsminimums nimmt das BL-Produkt stark ab und beträgt bei 1,2 µm bzw. 1,5 µm Lichtwellenlänge nur noch etwa 1/10 des Wertes im Maximum. Zur Übertragung grosser Längen sind dann superstrahlende LED ($\Delta\lambda$ = 45 nm) bzw. Laser, die aus Gründen der Rückwirkungsunempfindlichkeit spektral möglichst breit ($\Delta\lambda \gtrsim 3$ nm) sein sollten, erforderlich.

Bei der Abschätzung der dämpfungsbegrenzten Übertragungslänge sind die üblichen harten Randbedingungen und Sicherheiten im Ortsnetz zu beachten. Neben den längenabhängigen Verlusten wie Faser-, Spleiss- und Umwegdämpfung sind vor allem die längenunabhängigen Verluste durch die Duplexer, die Steckverbindungen am Leitungsendgerät und die Spleisse im Kabelverzweiger zu berücksichtigen. Ausserdem ist eine genügend hohe Systemreserve vorzusehen. Geht man von mittleren Signalpegeln in einer direkt an das Sendeelement angekoppelten Faser von -26 dBm (≙ 2,5 µW) für die LED und -22 dBm (≙ 6,3 µW) für die Superstrahlungs-LED - hierbei wurden bereits Temperatureinflüsse einkalkuliert - und einer Empfängerempfindlichkeit von -41 dBm (≙ 80 nW) aus, so erhält man als zulässige Dämpfung zwischen Sende- und Empfangsdiode 15 bzw. 19 dB. Mit diesen Werten berechnen sich, unter Berücksichtigung der oben genannten Verluste, die dämpfungsbegrenzten Reichweiten zu 3 bis 4 km für LED-Sender und 6 bis 7 km für Superstrahlungs-LED-Sender. Ein Vergleich mit Figur 7 zeigt, dass bei 1,2 und 1,5 µm Lichtwellenlänge die dämpfungs- und dispersionsbegrenzten Reichweiten in etwa gleich sind.

Zusammenfassung

Der beschriebene Teilnehmeranschluss mit LED und Einmodenfaser ermöglicht Reichweiten bis zu 7 km. Damit können mehr als 95% aller Teilnehmer im Ortsnetz mit 140 Mbit/s-Kanälen versorgt werden.

Literatur

[1] *H. Schüßler:* Einführungsstrategien für Lichtwellenleiternetze. Vortrag des 18. Technischen Presse-Colloquium der AEG in Frankfurt, 20. Oktober 1983.

[2] Bigfon. Nachrichtentechnische Berichte der ANT 1(1984)1, S. 46...49.

[3] *O. Krumpholz* u.a.: Optische Multiplextechnik. Bull. SEV/VSE 76(1985)15, S. 897...900.