**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:** 76 (1985)

**Heft:** 15

**Artikel:** Möglichkeiten und Grenzen fiberoptischer Lokalnetze

**Autor:** Loher, M.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-904648

**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:** 07.08.2025

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

# Möglichkeiten und Grenzen fiberoptischer Lokalnetze

M. Loher

*Der Trend zur Dezentralisierung der Datenverarbeitung ist ungebrochen. Lokale Kommunikationsnetze (LAN) besorgen den nötigen Datentransfer, wobei bei konventionellen Netzen elektrische Leitungen, bei optischen Netzen Lichtleiter die Signale übertragen. Die letzteren zeichnen sich durch hohe Bandbreite, niedere Dämpfung und Immunität gegenüber elektromagnetischen Störungen aus. Im Bericht werden mögliche Varianten bei der Auslegung eines fiberoptischen Lokalnetzes diskutiert.*

*La tendance au traitement décentralisé de l'information se poursuit. Le transfert des signaux est assumé par des lignes électriques dans les réseaux locaux classiques et par des conducteurs de lumière dans les réseaux optiques, qui se distinguent par une grande largeur de bande, un faible affaiblissement et l'immunité aux perturbations électromagnétiques. Des variantes possibles dans la conception d'un réseau local à fibres optiques sont traitées.*

**Adresse des Autors**
Dr. *M. Loher*, Entwicklung Fiberoptic, Huber + Suhner AG, 9100 Herisau.

## 1. Einleitung

Lokale Netze (Local Area Networks, LAN) werden zur Kommunikation zwischen den verschiedenen Komponenten von Rechnersystemen eingesetzt. Grossrechner, Terminals und Workstations werden über ein LAN miteinander verbunden und haben Zugriffsmöglichkeiten auf gemeinsame Speichermedien und Ausgabeeinheiten. Von jedem Knoten eines LAN aus kann jeder andere Knoten angesprochen werden.

Der Anwender erwartet, dass seine Daten zum richtigen Zeitpunkt am gewünschten Knoten fehlerfrei bereitstehen. Lediglich eine Verbindung, ein physikalisches Transportmedium (Koaxialkabel, Lichtleiter) zur Verfügung zu stellen genügt dazu nicht; ein Satz von Kommunikationsregeln (Protokolle), die sich der Hersteller des LAN auferlegt, sichert die konfliktfreie Datenübertragung.

Dieser Beitrag befasst sich nur mit der *physikalischen* Ebene des Übertragungsproblems. Diskutiert werden Möglichkeiten und Grenzen, die der Lichtleiter als Übertragungsmedium bietet. Die übergeordneten Protokolle, welche Netzzugriff, Adressierung, Codierung, Datensicherheit und anderes regeln, werden hier nicht behandelt.

Vom Übertragungsmedium eines LAN wird verlangt, dass Daten sicher und schnell übertragen werden. Da die Ausdehnung eines LAN sich auf die Grösse eines privaten Grundstücks beschränkt, liegen die Übertragungsdistanzen meist unter 2 km. Datenraten bis 10 Mbit/s sind heute üblich, bis gegen 100 Mbit/s werden mittelfristig verlangt werden [1]. Die optische Übertragungstechnik erfüllt diese Bandbreitenforderungen. Der entscheidende Vorteil gegenüber der elektrischen Lösung ist die Immunität der Fiberoptik gegen elektromagnetische Störungen und die damit verbundene geringe Übertragungsfehlerrate. Bereits heute sind sehr attraktive Lösungen für fiberoptische Lokalnetze (FO-LAN) vorhanden, und es wird erwartet, dass ihre Bedeutung rasch zunehmen wird.

## 2. Komponenten einer fiberoptischen Übertragungsstrecke

Bei den kurzen Übertragungsdistanzen von einigen wenigen Kilometern können, je nach Bandbreitenforderung, Stufenindex- oder Gradientenindexfasern eingesetzt werden. Die Tabelle I vergleicht die heute gebräuchlichen Lichtleiter. Stufenindexfasern zeichnen sich durch eine hohe einkoppelbare Leistung, Gradientenindexfasern mit 50 µm Kerndurchmesser durch sehr hohe Bandbreite aus. 100-µm-Gradientenindexfasern stellen in all jenen Fällen einen guten Kompromiss dar, wo die Bandbreite der Stufenindexfaser nicht ausreicht. Auf den Einsatz der 50-µm-Fasern wird im lokalen Bereich meist verzichtet.

*Vergleich gebräuchlicher Lichtleiter* — Tabelle I

| Typ | Stufenindex | Gradientenindex | |
|---|---|---|---|
| Kerndurchmesser | 200 µm | 100 µm | 50 µm |
| Einkoppelbar, Lichtleistung (LED) | 1 mW | 100 µW | 20 µW |
| Datenrate (1 km) | 30 Mbit/s | 500 Mbit/s | 1 Gbit/s |
| Dämpfung (850 nm) | 7 dB/km | 4 dB/km | 2,5 dB/km |

Die Sendeelemente müssen primär bezüglich Sendeleistung und Anstiegszeit den Systemanforderungen genügen. Im lokalen Bereich werden bevorzugt Infrarot-Hochleistungsleuchtdioden eingesetzt. Gegenüber Lasern können LED einfacher angesteuert werden, erfordern keine Temperaturstabilisierung und sind unkritischer in der Ankopplung an die Faser.

Dank den Fortschritten der Herstelltechnik von Halbleitern (engere Toleranzen in Dotierung und Geometrie der Halbleiterschichten, höhere Reinheiten), aber auch durch vertieftes theoretisches Verständnis und dadurch verbesserte Aufbauten liegt die LED-Lebensdauer zwischen 20 und 50 Jahren. Erfahrungen über so grosse Zeiträume liegen natürlich noch nicht vor. Die Ausfallraten werden bei erhöhter Temperatur gemessen und unter Annahme eines Arrheniusgesetzes auf die Lebensdauer bei Umgebungstemperatur extrapoliert. Bei richtiger Systemauslegung und bei Wahl eines geeigneten Halbleitertyps ist die Lebensdauer einer LED vergleichbar mit jener von CMOS-Halbleitern und damit kein limitierender Faktor. Frühausfällen wird durch Burn-in unter Stressbedingungen vorgebeugt.

Empfindlichkeit und Anstiegszeit sind die wichtigsten Kenngrössen von optischen Empfängern. PIN-Dioden weisen Empfindlichkeiten von gegen 90% der theoretisch möglichen und Anstiegszeiten von unter einer Nanosekunde auf. Da sich keine thermischen Probleme stellen, ist die Lebensdauer von Empfängerdioden völlig unkritisch.

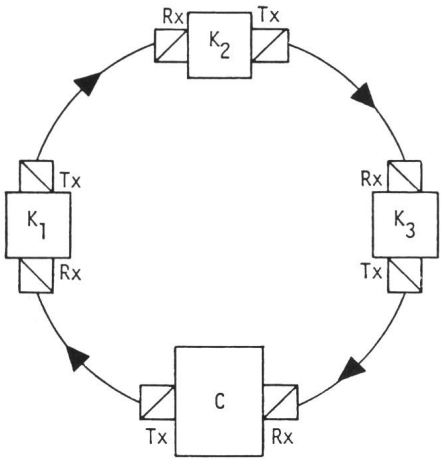



**Fig. 1 Optisch-elektrisches (hybrides) LAN**

Beispiel mit 3 Knoten und einem Netzcontroller. Am Eingang jeder Station wird das optische Signal in ein elektrisches, am Ausgang das elektrische in ein optisches Signal gewandelt.

C Controller
K Knoten
Tx optischer Sender
Rx optischer Empfänger

*Vergleich verschiedener FO-LAN-Topologien* Tabelle II

| Parameter | Bus | Baum | Stern |
|---|---|---|---|
| Teilnehmerzahl | klein | grösser als bei Bus | grösser als bei Baum |
| Kabelverbrauch pro Teilnehmer | klein | mittel | hoch |
| Ausfalltoleranz | schlecht | mittel | gut |
| Optimale räumliche Verteilung der Teilnehmer | linear, Kette | ungleichmässig, Cluster | gleichmässig dicht |

## 3. Elektrooptische (hybride) LAN

Konventionelle elektrische LAN werden in grosser Vielfalt angeboten und eingesetzt. Ein konventionelles LAN wird zu einem FO-LAN, wenn einzelne der Verbindungen durch optische Punkt-zu-Punkt-Übertragungssysteme ersetzt werden. Fiberoptik wird bevorzugt bei jenen Ästen eingesetzt, wo elektromagnetische Störungen oder grössere Übertragungsdistanzen Probleme aufwerfen. Bei der Übertragung zwischen zwei beliebigen Knoten des LAN werden die Signale unter Umständen mehrfach elektrisch-optisch und optisch-elektrisch gewandelt. Die dadurch bedingten Verzögerungszeiten müssen bei der LAN-Planung berücksichtigt werden. Ausserdem ist, bedingt durch die grössere Anzahl Komponenten, die Zuverlässigkeit eines hybriden LAN kleiner als die eines rein passiven FO-LAN [2].

Die Figur 1 illustriert das Prinzip des hybriden FO-LAN am Beispiel eines Ringes. Der Netzcontroller und die digitale Elektronik der Knoten stammen vom Forschungszentrum Seibersdorf in Österreich, die FO-Interfaces wurden von Huber + Suhner entwickelt. Das Konzept erlaubt die Verbindung von 128 Knoten, die maximale Datenrate beträgt pro Kanal 9,6 kbit/s. Das optische Signal wird im Empfängermodul in ein TTL-Signal gewandelt. Die digitale Knotenelektronik verarbeitet den Datenstrom nach den Regeln der übergeordneten Protokolle und übergibt das resultierende TTL-Signal dem FO-Sendemodul, das die Information in optischer Form auf den Ring schickt. Diese hybriden, elektrisch-optischen LAN entsprechen dem heutigen Stand der Technik. Sowohl die Hard- und Softwarekomponenten des elektrischen LAN als auch die FO-Produkte sind kommerziell erhältlich und erprobt.

## 4. Diskussion der passiven fiberoptischen LAN, Topologien

Unter passiven optischen LAN versteht man lokale Netzwerke, auf denen die Signale rein optisch, d.h. insbesondere über Glasfasern und passive optische Weichen von einem Knoten zu einem beliebigen anderen übertragen werden, wo sie von der Empfängerelektronik in elektrische Signale zurückgewandelt werden. Zur Verbindung der Teilnehmer sind verschiedene Topologien möglich (Tab. II).

### *4.1 Ring*

Der in Figur 2 dargestellte Ring besteht aus einer geschlossenen fiberoptischen Ringleitung mit Ein- und Auskoppelstellen bei jedem Knoten. Einmal eingespeistes Licht zirkuliert auf dem Ring, bis die Auskoppelung bei den Knoten und die Faserdämpfung die Lichtintensität unter die Empfindlichkeitsschwelle des Empfängers drücken. Dieses nicht vorhersagbare Verhalten macht die passiven Ringe

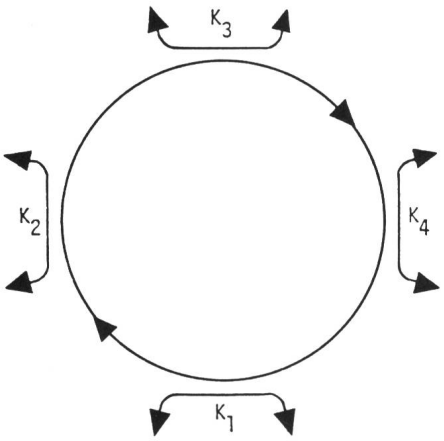



**Fig. 2 Passives FO-LAN in Ringtopologie**

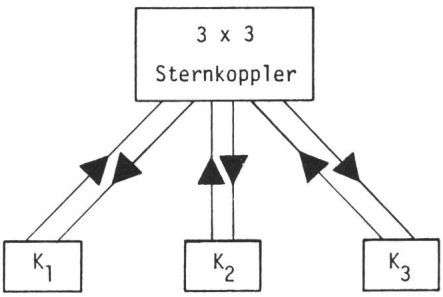



**Fig. 3 Passives FO-LAN in Sterntopologie**
Jeder der 3 Knoten ist über je einen Sende- und Empfangspfad mit dem Sternkoppler verbunden.

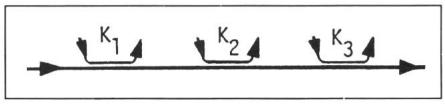



**Fig. 4 Passives FO-LAN mit Busstruktur**
Jeder der 3 Knoten kann der durchgehenden Leitung (Bus) Informationen entnehmen und eingeben.

für die Fiberoptik ungeeignet [3]. Als Ausweg kann die Fiberoptikleitung aufgetrennt werden, bevorzugt bei einer Masterstation. Der Ring verliert aber dadurch seinen rein passiven optischen Charakter.

### *4.2 Stern*

Jeder der Knoten ist mit je einer Sende- und Empfangsleitung mit einem rein passiven Sternkoppler verbunden (Fig. 3). Der $n \times n$-Fiberoptik-Koppler verteilt die auf einem der $n$ Eingänge ankommende Lichtintensität möglichst gleichmässig auf die $n$ Ausgänge. Sternkoppler sind zurzeit auf etwa 32 Ein- und 32 Ausgänge beschränkt. Sie weisen heute noch einen relativ hohen Einfügeverlust von etwa 10 dB auf, zusätzlich zu der durch die Signalaufteilung bedingten Dämpfung.

Einer weiteren Erhöhung der Teilnehmerzahl stehen das beschränkte Systembudget von typischerweise 30 dB (Stufenindexfaser 200 µm, IR-LED) und die erwähnte Einfügedämpfung im Weg.

Je nach räumlicher Verteilung der Knoten erfordert die Sterntopologie lange Verbindungskabel. Anderseits ist die maximale Teilnehmerzahl höher als bei jeder anderen Topologie.

### *4.3 Linearer Bus*

Jeder Knoten koppelt einen Teil des auf der durchlaufenden Leitung vorhandenen Signals aus und hat gleichzeitig die Möglichkeit, Signale auf die Busleitung zu schicken (Fig. 4). Die Richtung des Datenflusses auf dem Bus ist festgelegt. Um die Kommunikation jedes Knotens mit jedem zu ermöglichen, muss der Bus doppelt geführt werden, jeweils mit gegenläufiger Datenflussrichtung.

Zentrales Element in einem linearen Bus ist der 2×2-Koppler (Fig. 5 und 6). Die an einem der Eingänge (1 oder 3) anliegende Lichtintensität wird im Verhältnis des Koppelfaktors $f$ auf die Ausgänge (2 oder 4) verteilt. Der Koppelfaktor $f$ wird beim linearen Bus so gewählt, dass die Streckendämpfung zwischen dem ersten und dem letzten Teilnehmer minimal wird.

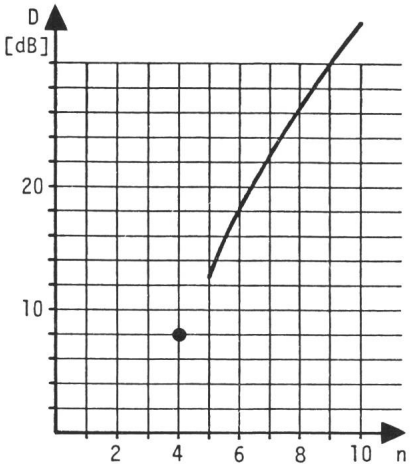



**Fig. 7 Maximale Dämpfung zwischen zwei Anschlüssen eines FO-LAN mit Busstruktur in Funktion der Teilnehmerzahl**
Annahme: optimale Koppelfaktoren und 2dB-Dämpfung zwischen zwei Anschlüssen.
*D* Dämpfung
*n* Teilnehmerzahl

In der Figur 7 ist diese maximale Streckendämpfung in Funktion der Teilnehmerzahl aufgetragen, unter der Annahme, dass die Dämpfung zwischen zwei Kopplern 2 dB beträgt. Mit einem Systembudget von 30 dB können nur 9 Teilnehmer an den Bus angeschlossen werden. Eine Erweiterung mit Zwischenverstärkern ist zwar leicht möglich, das Prinzip des rein passiven Fiberoptik-LAN würde aber dadurch verletzt. Auch mit asymmetrischen Kopplern kann die Teilnehmerzahl vergrössert werden. Schwierigkeiten ergeben sich aber mit der Einkopplung des Lichts in die zugehörigen dünnen Fasern.

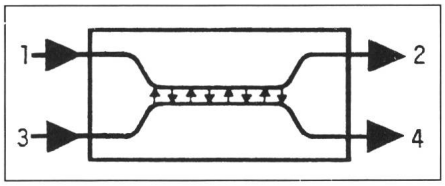
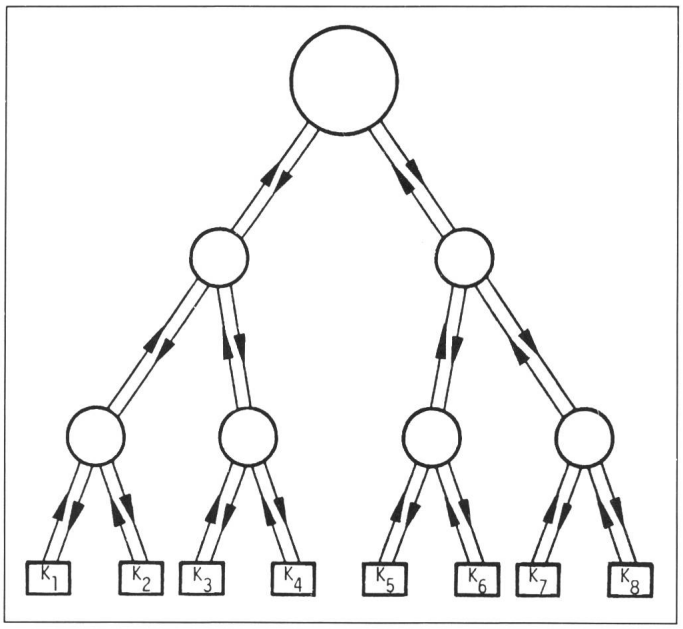



**Fig. 5 2×2-Fiberoptic-Koppler**
1, 3 Eingänge
2, 4 Ausgänge

**Fig. 6 Kommerziell erhältlicher 2×2-Koppler**

**Fig. 8 Passives, aus 2×1-Kopplern aufgebautes FO-LAN in Baumtopologie**



### *4.4 Baum*

Ein Baum (Fig. 8) setzt sich aus miteinander verbundenen 1×2-Kopplern (ein Eingang, zwei Ausgänge oder umgekehrt) zusammen.

Diese Topologie ist logisch äquivalent zur Sterntopologie, erfordert also insbesondere ebenfalls eine doppelte Auslegung des Übertragungssystems für Sende- und Empfangspfad. Vor allem bei unregelmässiger räumlicher Verteilung der Teilnehmer erlaubt der Baum kürzere Verbindungskabel als der Stern. Nachteilig ist die erhöhte Anzahl Faser-Faser-Verbindungen (jeweils am Ein- und Ausgang jeden Kopplers). Dadurch ergibt sich bei heutiger Technologie eine gegenüber dem Stern reduzierte maximale Teilnehmerzahl von etwa 16.

Im Verkehrshaus in Luzern wurde ein optisches Baumnetz installiert, über das Information von einer Zentrale auf 7 Teilnehmer verteilt wird. Allerdings werden nicht digitale Daten sondern analoge Signale für Videomonitore übertragen.

## 5. Schlussfolgerungen

FO-LAN werden heute am einfachsten dadurch realisiert, dass bei einem konventionellen elektrischen LAN optische Punkt-zu-Punkt-Verbindungen eingesetzt werden. Der Anwender profitiert so einerseits von der bewährten LAN-Technik und anderseits von den Vorteilen der Fiberoptik. Die benötigten optischen Übertragungssysteme sind einfach zu installieren; sie haben sich in jahrelangem Einsatz bewährt.

Passive LAN werden bei kleiner Knotenzahl eingesetzt oder wenn die Netzwerkfunktionen eingeschränkt sind, etwa wenn Daten nur von einer Zentrale aus zu den einzelnen Knoten fliessen und umgekehrt, nicht aber von Knoten zu Knoten. Die benötigten Komponenten sind vorhanden, die Systemlösung wird aber immer massgeschneidert sein.

**Literatur**


[1] *P. Leuthold* und *P. Heinzmann:* Faseroptische Lokalnetze. Elektroniker 23(1984)16, S. 109...113.

[2] *O. Spaniol:* Konzepte und Bewertungsmethoden für lokale Rechnernetze. Informatik-Spektrum 5(1982)–, S. 152...170.

[3] *M. R. Fineley:* Optical fibers in local area networks. IEEE Communications Magazine 22(1984)8, p. 22...35.