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: 82 (1991)

Heft: 1

Artikel: Lichtwellenleiter in der lokalen Datenkommunikation

Autor: Hofstetter, Rolf / Kugler, Felix / Leuthold, Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902911

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: 09.07.2025

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

Lichtwellenleiter in der lokalen Datenkommunikation

Rolf Hofstetter, Felix Kugler, Peter Leuthold

Die vorliegende Arbeit gibt eine Übersicht über den heutigen Stand der Technik von faseroptischen LAN und zeigt auf, welche Konzepte aus welchen Gründen gegenwärtig von besonderem Interesse sind. Der beschriebene Lichtwellenleitereinsatz in den lokalen Netzwerken der ETH gibt eine Vorstellung davon, wie die Glasfasertechnologie in einer klassischen Kommunikationsumgebung Einzug halten kann.

Le travail donne un aperçu de l'état actuel de la technique des LAN à fibres optiques et montre, quels concepts actuellement sont particulièrement intéressants et pour quelle raison. L'utilisation des fibres optiques dans les réseaux locaux de l'EPF Zurich donne une idée comment la technologie des fibres optiques peut faire son entrée dans un environnement classique de la communication.

Adresse der Autoren:
Dr. *Rolf Hofstetter, Felix Kugler*, Dipl. El.-Ing. ETH, Prof. Dr. *Peter Leuthold*, Institut für Kommunikationstechnik, ETH Zentrum, 8092 Zürich.

Die ständig wachsende Zahl von Endgeräten im Informatikbereich, neue Kommunikationsdienste sowie der zunehmende Bedarf an höheren Übertragungsgeschwindigkeiten innerhalb von Firmen, Verwaltungen und selbst kleineren Betrieben führen auf lokale Datenflüsse, die entsprechend leistungsfähige Übertragungsnetze verlangen. Ausgehend von lokalen Netzwerken (LAN) mit Datenraten von einigen kbit/s konnte man unter Verwendung klassischer Konzepte wie zum Beispiel Ethernet und Token Ring mit Bitströmen bis zu 10 Mbit/s die Bedürfnisse der 80er Jahren weitgehend decken. Als Übertragungsmedium gelangten dabei fast ausschliesslich metallische Leiter wie Telefonleitungen oder Koaxialkabel zum Einsatz. Die nunmehr geforderte Erweiterung der Leistungsfähigkeit in den 100 Mbit/s – oder gar Gbit/s-Bereich sowie das Bedürfnis, auch grössere Distanzen, beispielsweise zwischen verschiedenen Gebäuden in städtischen Agglomerationen, zu überbrükken, lässt eine Anwendung der faseroptischen Übertragung als angezeigt erscheinen. Bereits gibt es das geflügelte Wort «Fiber-to-the-Desk», das sich an den im Zusammenhang mit dem Breitband-ISDN geschaffenen Ausdruck «Fiber-to-the-Home» anlehnt. Dieser Trend wird durch den Umstand gefördert, dass die Technologie der faseroptischen Übertragung laufend Fortschritte macht und dass bei gegebenen Leistungsmerkmalen kostengünstigere Lösungen möglich sind. Obwohl die Entwicklung von Komponenten und Konzepten zum Aufbau faseroptischer LAN sich heute noch stark im Fluss befindet, wird am Ende des Beitrags versucht, einige Aussagen über erkennbare Trends zu machen.

Komponenten in Lichtwellenleiternetzwerken

Lichtwellenleiter

Lichtwellenleiter (LWL) lassen sich grundsätzlich in Singlemode (SM)- und Multimode (MM)-Typen unterteilen (Tab. I).

Im Multimode-LWL mit stufenförmigem Brechungsindexprofil (Step-Index, SI) findet die Übertragung des Lichtes durch viele Moden mit stark unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit statt. Die dadurch resultierende Verbreiterung der Impulse limitiert bei gegebener Streckenlänge

	Durchmesser Kern/Mantel	typische Dämpfung	Bandbreite-Längen-Produkt bzw. Dispersion
Singlemode-Glasfaser	850 nm: 6/125 μm 1300 nm: 9/125 μm	850 nm: 2.5 dB/km 1300 nm: 0.4 dB/km 1550 nm: 0.2 dB/km	850 nm: 125 ps/(nm·km) 1300 nm: < 6 ps/(nm·km) 1550 nm: 20 ps/(nm·km)
Multimode-Glasfaser	50/125 μm 62.5/125 μm	850 nm: 3 dB/km 1300 nm: 0.6 dB/km	850 nm: 100...400 MHz·km 1300 nm: 600 MHz·km
PCS-Faser (Multimode)	200/400 μm	850 nm: 8 dB/km	850 nm: 14...20 MHz·km
Plastikfaser (Multimode)	1000/1100 μm	600 nm: 200 dB/km	600 nm: < 5 MHz·km

Tabelle I: Typische Eigenschaften von Lichtwellenleitern

die maximale Datenrate. Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der verschiedenen Moden lassen sich mit einem nahezu parabolischen Brechungsindexprofil (Gradienten-Index, GI) innerhalb gewisser Grenzen angleichen, so dass eine geringere Impulsverbreiterung resultiert. Da die Modendispersion von der spektralen Breite der verwendeten Quellen unabhängig ist, wird bei Multimode-LWL in den Spezifikationen üblicherweise das Bandbreite-Längen-Produkt angegeben (GI: 100...1000 MHz·km). Die lichtleitenden Kerne dieser Multimode-LWL besitzen Durchmesser, die 50 μm oder grösser sind.

Mit einem sehr kleinen Kerndurchmesser der Glasfaser (6...10 μm) erreicht man, dass das Licht in einem Mode übertragen wird. Bei diesen Singlemode-LWL bestimmt die chromatische Dispersion die Impulsverbreiterung. Diese ist daher von der Wellenlänge und der spektralen Breite der verwendeten Quelle abhängig. Für den Singlemode-LWL ist deshalb unter anderem diese Dispersion charakteristisch, die bei 1300 nm typisch weniger als 6 ps/(nm·km) beträgt. Mit Quellen, welche ein sehr schmales Emissionsspektrum aufweisen, resultieren für Singlemode-LWL Bandbreiten-Längen-Produkte bis zu 100 GHz·km.

Es gibt verschiedene Baumaterialien für Multimode- und Singlemode-LWL. In der Telekommunikation werden normalerweise Fasern von hoher Qualität eingesetzt, deren Kern und Mantel aus synthetischem Silikatglas bestehen. Es existieren aber auch Multimode-LWL mit einem Mantel aus Plastik und einem Kern aus Silikatglas (z.B. die Plastic Clad Silica (PCS)-Faser mit einem Kerndurchmesser von 200 μm) sowie reine Plastik-LWL, deren Kerndurchmesser etwa 1 mm beträgt. Sie weisen jedoch Bandbreite-Längen-Produkte von kleiner als 50 MHz·km bzw. 5 MHz·km auf und werden daher bevorzugt in sehr kurzen Verbindungen eingesetzt.

Für Singlemode-LWL wird es in nächster Zukunft wahrscheinlich keine weitere Preissenkung mehr geben, da der Verbrauch in der Telekommunikation, der den grössten Anteil ausmacht, momentan stagniert. Dies wird sich aber im Zusammenhang mit Fiber-to-the-Home im Ortsnetz ändern. Hingegen können bei den Multimode-LWL wegen ihrer zunehmenden Anwendung in LAN ein steigendes Handelsvolumen bzw. fallende Preise erwartet werden. Die US Firma Kessler Marketing Intelligence schätzt, dass der Verbrauch von Plastik-LWL innerhalb Europa von 10 Mio.$ im Jahre 1989 auf 75 Mio.$ im Jahre 2000 ansteigen wird [1]. Dies entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von etwa 20%.

Quellen	Surface-LED	Edge-LED	Fabry-Perot-LD	DFB-LD
spektrale Breite $\Delta\lambda$	850 nm: 50 nm 1300 nm: 150 nm	- 1300 nm: 80 nm	< 5 nm	< 0.01 nm ($\Delta\nu$ = 20...200 MHz)
opt. Leistung mit SM-LWL (9μm): MM-LWL (50μm):	 -30 dBm -18 dBm	 -23 dBm -13 dBm	 2 dBm 3 dBm	 2 dBm 3 dBm
Modulations-bandbreite	100 MHz	150 MHz	> 1 GHz	> 1 GHz

Tabelle II: Typische Eigenschaften von optischen Quellen

Optoelektronische Komponenten

In faseroptischen Übertragungssystemen werden lichtemittierende Dioden (LED) und Laserdioden (LD) eingesetzt. In der Tabelle II sind die wesentlichen Eigenschaften einiger Quellen aufgeführt, welche in LAN verwendet werden können. Bei den LED unterscheidet man zwischen Oberflächenemittern (Surface-LED) und Kantenemittern (Edge-LED[1]). Letztere besitzen eine grössere Modulationsbandbreite sowie eine stärker gebündelte Abstrahlcharakteristik, welche weniger Verluste bei der Einkopplung in die Faser ergibt.

Im Gegensatz zu den LED strahlen LD stark kohärentes Licht ab. Fabry-Perot(FP)-LD haben eine einfachere Struktur als Distributed-Feedback (DFB)-LD und sind deshalb besser herstellbar. Sie bestehen im Prinzip aus zwei Spiegeln mit lichtverstärkendem Material dazwischen und besitzen im allgemeinen ein Spektrum mit mehreren Linien, das weniger als 5 nm breit ist. Bei DFB-LD wird anstelle der Spiegel längs des verstärkenden Materials eine periodische Struktur als «verteilte Reflexionsstelle» angebracht. Man erreicht damit ein Spektrum, das nur eine Linie aufweist, welche zudem typisch zwischen 20 MHz und 200 MHz breit ist. Die letzteren sind jedoch höchstens in der weiteren Zukunft im Zusammenhang mit Wellenlängenmultiplex und geringen optischen Kanalabständen von Interesse. Mit einer LD lässt sich wesentlich mehr Licht in eine Glasfaser einkoppeln als mit einer LED, zudem ist die zugehörige Modulationsbandbreite viel grösser. Sie benötigt aber normalerweise eine etwas aufwendigere Betriebsschaltung mit Lichtleistungs- und Temperaturregelung.

Die Vereinigung japanischer Hersteller optoelektronischer Komponenten (OITDA) prognostiziert, dass in den Jahren 1989 bis 1995 die Produktion von Quellen mit 850 nm Wellenlänge um 2400%, diejenige von 1300 nm-Quellen um 200% und jene der 780 nm-Quellen um 100% zunehmen werden. [2]. Die grösste Produktionssteigerung bei den 850 nm-Quellen aus GaAs erwarten sie von den Anwendungen in LAN sowie in Kurzdistanzverbindungen.

Zur Detektion des empfangenen Lichtes werden PIN- und Avalanche-Photodioden (APD) eingesetzt. Obwohl die APD eine grössere Empfindlichkeit hat, verwendet man vorzugsweise PIN-Photodioden mit nachgeschaltetem Vorverstärker, da sie mit einer einfacheren Schaltung betrieben werden können. Die Produktionszahlen der Photodioden dürften mit jenen der Quellen korreliert sein, so dass in den nächsten Jahren voraussichtlich nur die Preise für 850 nm-Detektoren wesentlich sinken werden.

Stecker und Spleisse

Die breitgestreute Anwendung von faseroptischen Systemen in Netzwerken setzt voraus, dass die Verbindungstechnik einfach zu handhaben ist. Allgemein gilt: Je kleiner der Kerndurchmesser der Faser ist, um so teurer sind die entsprechend präziseren Steckerverbindungen. Möglicherweise wird die Verwendung von Kera-

[1] Kantenemitter besitzen wie Laserdioden einen integrierten Wellenleiter, der das Licht zu den Seiten führt, wo es abgestrahlt wird.

mik anstelle von Stahl längerfristig auf preisgünstigere Stecker führen. Bei den Verbindungen ist die Einfügedämpfung, die typischerweise 0,2 dB...0,8 dB beträgt, eine wesentliche Grösse. Die Werte für die Rückstreuung liegen normalerweise zwischen −14 dB und −35 dB. Der zeitliche Aufwand für die Montage eines Stekkers konnte in den letzten Jahren reduziert werden. Es gibt heute Stecker, die sich innerhalb weniger als einer Minute montieren lassen. Nach einer Studie von Corporate Strategic Intelligence verdoppelt sich der US-Markt für Singlemodestecker in den nächsten fünf Jahren, während sich derjenige für Multimodestecker verdreifacht [3].

Eine kleinere Einfügedämpfung und Rückstreuung lassen sich mit Spleissen realisieren. Neben den nicht lösbaren Schmelzspleissen mit einer Einfügedämpfung von weniger als 0,1 dB und nichtmessbarer Rückstreuung gibt es die mechanischen Spleisse, welche trennbare Verbindungen ergeben. Sie haben eine typische Dämpfung von 0,2 dB sowie eine mit den Steckern vergleichbare Rückstreuung. Für die Herstellung eines mechanischen Spleisses benötigt man weniger geschultes Personal, billigere Apparate und weniger Platz als für die Schmelzspleissungen. Hingegen sind die Kosten des Materials für einen mechanischen Spleiss in der Regel höher, so dass man zurzeit ab 200 bis 300 Spleissen pro Jahr mit Vorteil Schmelzspleisse verwendet.

Koppler

Die Vielfalt der Koppler erlaubt an dieser Stelle keine umfassende Zusammenstellung aller Typen. Im folgenden werden deshalb vier Arten von Koppler aufgeführt, die sich in der Bauform unterscheiden. Die typische Zusatzdämpfung (Excess Loss), welche durch Verluste verursacht wird, ist bei den ersten drei kleiner als 1 dB, wobei Werte um 0,1 dB durchaus erreichbar sind.

Der Schmelzkoppler für Multimode-LWL ist bis zu 64 x 64 Toren relativ einfach herzustellen, wellenlängeunabhängig und günstig im Preis. Mit Singlemode-LWL lassen sich Schmelzkoppler mit bis etwa 3x3 Toren herstellen, die eine starke Wellenlängenabhängigkeit aufweisen. Letztere kann jedoch zum Beispiel für den Wellenlängenmultiplex genutzt werden. Der geschliffene Koppler ist sowohl für Multimode- wie auch für Singlemode-LWL mit 2x2 Toren erhältlich, wobei wieder nur die ersteren keine Wellenlängenabhängigkeit aufweisen. Aufgrund der aufwendigeren Fertigung sind sie teurer als Schmelzkoppler. Durch Zusammenschalten von 2x2-Kopplern lässt sich ein Kopplungsnetzwerk mit einer grösseren Anzahl Tore realisieren.

Der diskret aufgebaute Koppler kann, falls er Interferenzfilter enthält, für die Wellenlängenmultiplexierung eingesetzt werden. Er weist meistens grössere Abmessungen als diejenigen der beiden ersten Arten auf. Bei der Herstellung ist eine individuelle Justierarbeit erforderlich, was sich auf den Preis ungünstig auswirkt. Ferner gibt es Koppler, die mit Hilfe der integrierten Optik gebaut werden können. Sie sind vor allem dann von Interesse, wenn ein Koppler für Singlemode-Glasfasern mit vielen Toren realisiert werden muss, weil sich bei einem Netzwerk mit 2x2-Kopplern die Zusatzdämpfungen addieren. Wegen der noch zu hohen Verluste bei der Ankopplung des LWL (typ. 0,8 dB) sowie den Zusatzverlusten (typ. 1,5 dB...3,5 dB) sind sie jedoch für die Anwendung in LAN zurzeit noch nicht geeignet.

Realisierungskonzepte

Lichtwellenleiter in klassischen Netzwerken

Die in den achtziger Jahren installierten lokalen Netzwerke weisen zumeist Datenraten unter 20 Mbit/s auf. Als Übertragungsmedien finden fast ausschliesslich elektrische Leiter in Form von Koaxialkabeln oder verdrillten Leitungen Verwendung. Aus einer Vielzahl von Systemen haben sich gegen Ende der 80er Jahre zwei eindeutige Marktleader herauskristallisiert: der von IEEE und ISO standardisierte CSMA/CD-Bus, besser bekannt unter dem Namen Ethernet sowie der Token Ring. Diese beiden Konkurrenten hielten 1989 zusammen 77% des Weltmarktes von LAN-Adaptern. Für die Anbieter von nicht standardisierten Netzwerken sieht die Zukunft düster aus: bis 1993, so schätzen Marktstrategen, soll ihr Marktanteil bis auf 14% sinken [4].

Die Lichtwellenleitertechnik wird auch in Zukunft keine führende Rolle in Lokalnetzen kleiner und mittlerer Übertragungsleistung (bis 10 Mbit/s) spielen. In diesem Bereich geht der Trend in Richtung möglichst billiger Verkabelungssysteme, vor allem ungeschirmter Telefon-Leitungen (Unshielded Twisted Pair). Faseroptische Übertragung ist überall da angebracht, wo es grössere Distanzen zu überwinden gilt, in Gebieten mit grossen elektromagnetischen Störungen, bei grossen Potentialdifferenzen oder bei erhöhten Sicherheitsanforderungen. Immer häufiger dürften deshalb – je nach örtlichen Gegebenheiten – verschiedenartige Übertragungsmedien innerhalb eines Netzwerkes zur Anwendung kommen.

Optisches Ethernet

Ein Jahrzehnt nach der Markteinführung von Ethernet bestehen Standards, die neben dem bekannten, dicken Ethernetkabel weitere Übertragungsmedien beschreiben (Tab. III) [5]. Obschon seit mehreren Jahren auch Ethernets mit Lichtwellenleitern auf dem Markt sind, existiert dafür noch kein verbindlicher IEEE-Standard. Bereits ausgearbeitet sind die Spezifikationen für sogenannte FOIRL (Fibre Optic Inter-Repeater Links). Mittels zweier Fasern erlauben sie eine 10 Mbit/s-Full Duplex-Verbindung zwischen zwei maximal einen Kilometer voneinander entfernten Ethernet-Segmenten.

In einem zweiten Teil des Standards sollen unter der Bezeichnung 10Base-F zwei Varianten von optischen

Bezeichnung	Übertragungsmedium	Datenrate	max. Segmentlänge
10Base5	50 Ω Koax	10 Mbit/s	500 m
10Base2	50 Ω Koax RG-58	10 Mbit/s	185 m
10Broad36	75 Ω Koax	10 Mbit/s	3600 m
			max. Distanz zum Sternpunkt
1Base5	85...115 Ω 4-Draht	1 Mbit/s	250 m
10Base-T	85...115 Ω 4-Draht	10 Mbit/s	100 m

Tabelle III: Übersicht über die IEEE-Standards 802.3

Parameter	passiver Stern	aktiver Stern
Stationen pro Stern:	33	>100
max. Distanz zum Sternpunkt:	500 m	2 km
Kollisionsdetektion:	Code-Verletzungen	Vergleich Sende/Empfangsdaten
Idle-Signal:	—	Rechteck 1 MHz ±10 %
Paket-Präambel:	modifiziert	original
Kaskadierung von Sternpunkten:	über Repeater	direkt
Faser:	62.5/125 μm GI-Faser, andere möglich	
Lichtquelle:	850 nm LED	
Verbindungstechnik:	ST-Stecker	

Tabelle IV: Vergleich von Ethernets mit passiven und aktiven Sternpunkten im künftigen 10Base-F Standard [6]

Ethernets definiert werden (Tab. IV) [6]. Gemeinsame Eigenschaft beider Implementationen sind 10 Mbit/s-Datenrate, Kompatibilität zu Standard-Ethernet auf dem Link-Layer und ihre physikalische Topologie; anstelle des passiven Busses tritt eine Sternstruktur mit wahlweise passiven oder aktiven Sternpunkt. Grund dafür ist die schwierige Realisierung von optischen passiven Bussen mit vielen Ein- und Auskoppelpunkten.

Mit beiden optischen Ethernet-Varianten lassen sich durch Kaskadierung mehrerer Sternpunkte auch grosse Netzwerke realisieren. Passive Sternkoppler können nur über Repeater verbunden werden. Aktive Sternkoppler lassen sich direkt verbinden; sie führen eine Signalregeneration durch und sind in der Lage, Netzwerkmanagementaufgaben wie Abschalten einzelner Links vorzunehmen.

Optischer Token Ring

Da nur Punkt-Punkt-Verbindungen vorliegen, lassen sich einzelne Segmente vergleichsweise einfach mittels Fiber Optic Converters in bestehende Token Ring-Netzwerke einfügen. Die geringe Dämpfung und Dispersion des optischen Mediums bewirkt einen vergleichsweise kleinen Phasenjitter, was die zulässige Distanz zwischen zwei Ringleitungsverteilern von 120 m bei ungeschirmtem Telefonkabel auf 2 km vergrössert. Unter der Bezeichnung 802.5J ist beim IEEE ein Addendum zum Token Ring-Standard in Arbeit, das die Verwendung von Fasern zwischen Ringleitungsverteilern und Stationen beschreibt.

FDDI

FDDI (Fiber Distributed Data Interface) ist der erste LAN-Standard, der die Vorteile der Lichtwellenleiter – hohe Bandbreite und sehr geringe Dämpfung – wirklich ausnützt (Tab. V). Ursprünglich vor allem als schnelle Verbindung zwischen Rechnern und Diskstationen konzipiert, wird FDDI vorerst hauptsächlich als Verbindung zu Ethernets und Token Ringen, also im LAN-Backbone-Bereich, eingesetzt. Die rasante Leistungssteigerung bei Workstations (heute sind 10...50 MIPS die Regel) führt nun aber zu vermehrtem (noch teuren) Direktanschluss solcher Stationen an FDDI. Typischerweise sind heute nur wenige zehn Stationen an einem FDDI-Ring angeschlossen. Im Hinblick auf hohe Verfügbarkeit und aus organisatorischen Gründen möchten die meisten Netzwerkbetreiber den Benutzern keinen direkten Zugriff zum Backbone-FDDI gewähren. Die Arbeitsstationen werden somit an separaten FDDI-Ringen angeschlossen und über Bridges oder Routers mit dem Backbone verbunden.

FDDI verwendet zwei in gegenläufiger Richtung betriebene Ringe aus Lichtwellenleitern, von denen im Normalfall nur einer Nutzdaten überträgt (Bild 2). Der zweite, redundante Pfad dient dazu, im Falle eines Unterbruches oder eines Defektes einer angeschlossenen Station den Ring wieder zu schliessen. FDDI-Stationen sind entweder mit beiden Ringen verbunden (Dual Attachment Stations, DAS) oder über spezielle Konzentratoren mit nur einem Ring (Single Attachment Stations, SAS). Der Konzentrator dient dabei als aktiver lokaler Sternpunkt.

Der Kanalzugriff bei FDDI geschieht über einen Token, dessen Umlaufzeit von jeder Station gemessen wird; seine maximale Umlaufzeit wird bei der Initialisierung des Ringes festgelegt. Stationen dürfen senden, falls sie den Token innerhalb gewisser Zeitlimiten erhalten haben. Den speziellen Bedürfnissen weiträumiger Netzwerke wird durch den Early Token Release Rechnung getragen: Die Zeit, während der der Ring keine Nutzdaten enthält, lässt sich minimieren, indem der Token unmittelbar nach dem Senden und nicht erst beim Entfernen des Paketes vom Ring weitergegeben wird.

FDDI unterscheidet die Verkehrsklassen Synchron und Asynchron, die letztere mit bis zu acht Prioritätsklassen, sowie Asynchron Restricted.

Topologie:	doppelter Ring mit gegenläufiger Übertragung, lokale Sternpunkte (Konzentratoren)
Medium:	62.5/125μm-GI-Faser
Wellenlänge:	1325 nm
Lichtquelle	LED
Zugriffsprotokoll:	Token Passing mit Early Token Release
Signalisierungsrate:	125 Mbaud
Datenrate:	100 Mbit/s
Kanalcodierung:	4B/5B-Code (ca. 10 % DC-Anteil)
max. Paketlänge:	4500 Byte
max. Stationsabstand:	2 km (mit 62.5/125μm GI-Faser)
max. Streckendämpfung:	11 dB (mit 62.5/125μm GI-Faser)
max. Ringlänge[1]:	100 km
max. Anzahl Stationen[1]:	500
Verkehrsklassen:	Synchron Asynchron mit Restricted Token (8 Prioritätsstufen) Asynchron mit Unrestricted Token

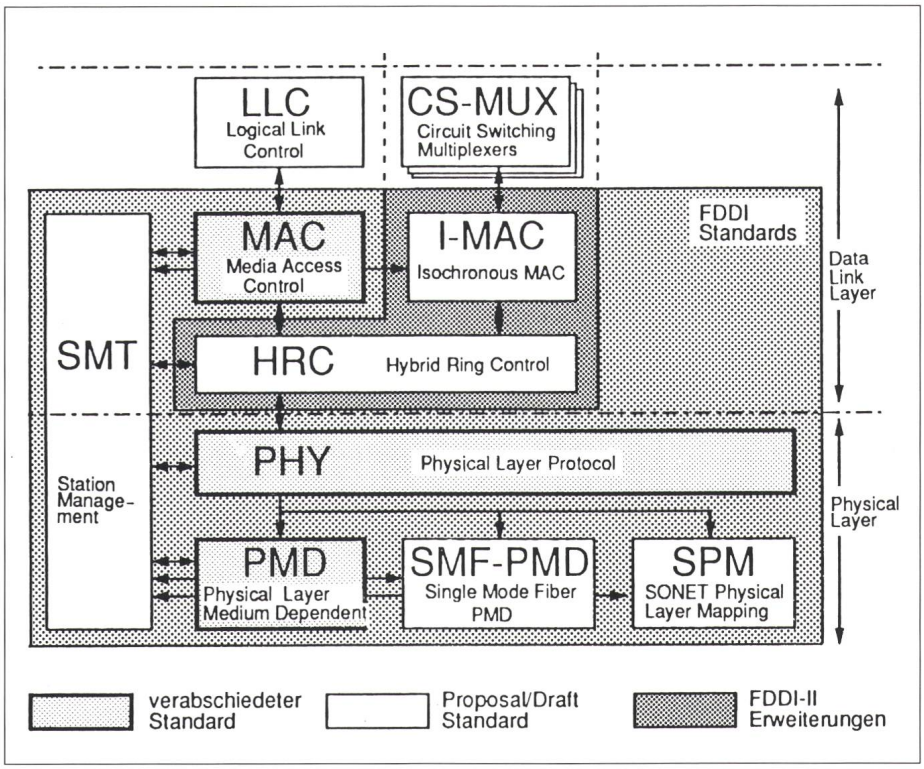
[1] Diese Werte sind keine absoluten Maxima; sie stellen lediglich Planungswerte für die Berechnung von Systemparametern dar.

Tabelle V: Übersicht über den FDDI-Standard ANSI» X3T9.5

Synchronen Diensten ist bei jedem Tokenumlauf eine Sendegelegenheit garantiert. Dienste der asynchronen Verkehrsklasse erhalten das Sendecht nur, wenn die Tokenumlaufzeit ein von der Prioritätsklasse abhängiges Maximum nicht überschritten hat. In der Betriebsart Asynchron Restricted-Token können zwei Stationen für kurze Zeit die ganze für den asynchronen Verkehr zur Verfügung stehende Bandbreite beanspruchen. In der Praxis wird FDDI heute aber fast ausschliesslich zur Übertragung von asynchronem Verkehr ohne Benutzung von Prioritätsklassen eingesetzt.

Zur Überbrückung grosser Distanzen bietet sich das öffentliche digitale Telefonnetz an. Obwohl sich FDDI bzw. FDDI-II mit einer Signalisierrate von 125 Mbaud in keine PTT-Hierarchie genau einfügt (Tab. VI), ist eine Ringerweiterung über das öffentliche Netz möglich. Für die physikalische Schicht ist unter der Bezeichnung SPM ein Standard in Bearbeitung, der die Verlängerung von FDDI-Ringen über faseroptische Sonet-Links zulässt; ein erster Entwurf dürfte anfangs 1991 vorliegen.

In Arbeit ist ein weiterer Standard, SMF-PMD, der die Verwendung von Singlemode-Fasern beschreibt. Mit SM-Fasern und Laserdioden als Sendeelementen steigt die zulässige Distanz benachbarter Stationen von 2 auf 60 km.



Figur 1: Übersicht über die Protokolle von FDDI und FDDI-II

FDDI-II

FDDI-II ist eine Erweiterung des X3T9.5 FDDI-Standards, welche die Übertragung isochroner Dienste wie Telefonie oder Video ermöglichen soll. Daher bezeichnet man FDDI-II als ein hybrides Netzwerk, das sowohl Paket- als auch Leitungsvermittlung unterstützt.

Für leitungsvermittelte, isochrone Dienste muss ein solches Netzwerk in der Lage sein, äquidistante Zeitschlitze zu reservieren. Entsprechend der weltweiten Norm 8 kHz für die Abtastrate von Telefoniesignalen beträgt der Basiszeitrahmen 125 μs. Der nicht für die isochronen Dienste reservierte Zeitraum innerhalb jedes Rahmens steht für synchrone und asynchrone Kommunikation zur Verfügung.

Bei FDDI-II wird die MAC-Schicht durch einen HRC-Block (Hybrid Ring Control) ergänzt (Bild 1) [7], der die Multiplexierung/Demultiplexierung der asynchronen und isochronen Datenströme besorgt. Weiter kann dieser Block die geforderte 125-μs-Rahmenstruktur erzeugen und zusammen mit dem SMT (Station Management) die dynamische Zuteilung von Bandbreite für die isochronen und die nicht-isochronen Verkehrsklassen regeln. Die Aufteilung erfolgt in Schritten von 6,144 MHz, den sogenannten Wide Band Channels, die dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen der europäischen und der amerikanischen Telecom-Geschwindigkeiten entsprechen.

Europäische Normen	US-Normen	künftige gemeinsame Normen
2.048 Mbit/s	1.536 Mbit/s	
8.448 Mbit/s	6.144 Mbit/s	
34.368 Mbit/s	44.736 Mbit/s	
139.264 Mbit/s		155.520 Mbit/s
565.148 Mbit/s		622.080 Mbit/s

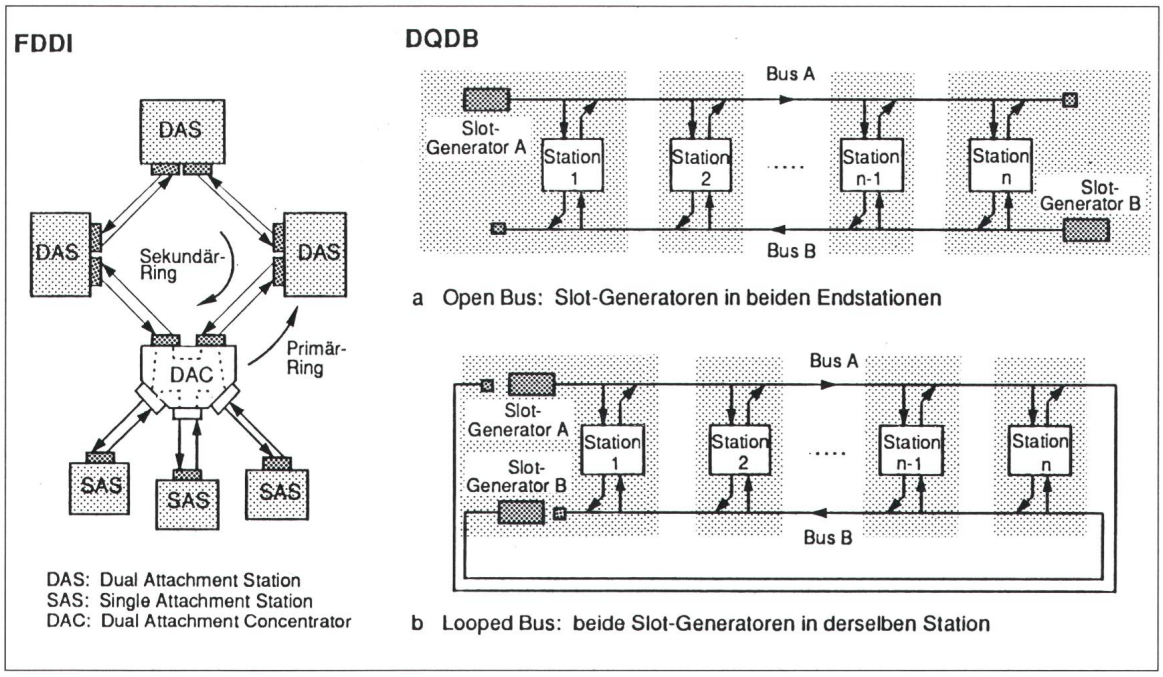
Tabelle VI: Datenraten üblicher PCM-Hierarchiestufen

FDDI-Folgeprojekte

Es existiert bereits eine Arbeitsgruppe, die sich mit sogenannten FDDI-Follow-On-Projekten (auch als FDDI-III bezeichnet) befasst. Ziel ist eine Erweiterung von FDDI zu höheren Datenraten, eventuell bis in den Gbit/s-Bereich. In diesem Zusammenhang wird auch FDVDI (Fiber Distributed Video/Voice and Data Interface), ein Vorschlag der Firmen Ascom und In-Net, diskutiert. Er soll höhere Geschwindigkeiten, die Integration von isochronen Diensten (Sprach- und Videoübertragung) sowie eine bessere Kompatibilität zu den öffentlichen Netzen, insbesondere zu B-ISDN, gewährleisten.

DQDB

DQDB ist ein ziemlich weit fortgeschrittener Entwurf für den 802.6 MAN-Standard, der vom australischen QPSX-System (Queued Packet and Synchronous Circuit Exchange) abstammt. Der Standard zielt vor allem auf Kompatibilität mit öffentlichen Netzen. So kommen die in der PCM-Hierarchie üblichen Geschwindigkeiten von 34 bzw. 44 Mbit/s bis 155 Mbit/s zur Anwendung und es wird Kompatibilität zum ATM-Verfahren (Asynchronous Transfer Mode) gewährleistet, indem man Slots von 53 Byte Länge verwendet.



Figur 2: Topologie von FDDI und DQDB

DQDB verwendet zwei parallele, unidirektionale Datenbusse mit gegenläufiger Kommunikationsrichtung, die beide Nutzinformation führen (Bild 2). Fasst man beide Enden des Parallelbusses in einer Station zusammen, erhält man eine ringähnliche Struktur; ein solches Netzwerk verkraftet einen Unterbruch beider Leitungen zwischen zwei Stationen durch automatische Rekonfiguration ohne Leistungseinbusse. Die Kopfstation jedes Busses erzeugt 125-μs-Rahmen, die weiter in Slots fixer Länge unterteilt sind. Die Stationen greifen über einen Reservationsmechanismus auf die beiden Übertragungsmedien zu. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist seine inhärente Unfairness, welche bei grossen Datenraten und Distanzen besonders evident wird: Die Lage einer Station auf dem Bus hat dann grossen Einfluss auf die mittleren Wartezeiten [8].

Obwohl DQDB in logischer Hinsicht eine Busstruktur vorsieht, werden die Signale in jeder Station regeneriert, so dass physikalisch betrachtet eine Anreihung von Punkt-Punkt-Verbindungen vorliegt. Der Einsatz von Glasfasern ist deshalb unproblematisch und bedingt keine Modifikation der Topologie. Der 802.6 MAN-Standard legt sich jedoch nicht auf ein bestimmtes Übertragungsmedium fest.

Lichtwellenleiter in den lokalen Netzwerken der ETH Zürich

Seit mehreren Jahren werden an der ETH Lichtwellenleiter für die Datenkommunikation eingesetzt. In den Jahren 1988 bis 1989 wurden durch die Fernheizkanäle des ETH-Zentrums 50/125-μm-GI-Multimode-Fasern zu allen wichtigen Gebäudekomplexen verlegt (Bild 3). Im Winter 1989/90 erhielt auch die ETH auf dem Hönggerberg ein feinmaschiges Glasfasernetz. Zurzeit werden die optischen Übertragungskanäle für drei verschiedene Zwecke benutzt (in Klammer der Hauptgrund für den Einsatz von LWL):

1. schnelle Punkt-Punkt-Verbindungen (Erhöhung der Distanzlimite)
2. optisches Ethernet (Störfestigkeit gegenüber elektromagnetischer Einstrahlung)
3. FDDI (höhere Datenrate, grössere Distanzen)

Für 1991 sind die Verlegung weiterer Multimode-Fasern im Bereich des ETH-Zentrums und der Einzug von 50 Singlemode-Fasern zur ETH-Hönggerberg vorgesehen.

Schnelle Punkt-Punkt-Verbindungen

Erste Anwendung war die Kanalverlängerung (2x24Mbit/s) von einem IBM-3090-Grossrechner im Rechenzentrum über den 450 m entfernten Verkabelungspunkt zu je einem Kontroller im Maschinenlabor und im Hauptgebäude. Von dort führen 2-Mbit/s-Punkt-Punkt-Verbindungen zu zahlreichen graphischen Arbeitsstationen.

Optisches Ethernet

Im Winter 1989/90 erfolgte die Installation eines 10-Mbit/s-Ethernet-Backbones auf dem Hönggerberg. Problematische EMV-Verhältnisse in den Gebieten der Physik-Laboratorien legten eine faseroptische Übertragung nahe. Mehrere aktive Sterne bilden ein optisches Ethernet mit zwölf Anschlusspunkten in zehn Gebäuden. Verwendet wurden durchwegs 62,5/125-μm-GI-Fasern. Die Verkabelung innerhalb der Gebäude basiert auf koaxialen elektrischen Leitern.

FDDI

Seit Mitte der achtziger Jahre besitzt die ETH Zürich mit Kometh ein flächendeckendes Breitbandnetzwerk, das verschiedene Kommunikationsdienste anbietet. Wichtigste Anwendung ist der Terminal-Kommunikationsdienst Local Net, der von jedem Büro aus über 128-kbit/s-Kanäle den Zugriff zu allen Rechnern der ETH gewährleistet. Die rasche Verbreitung

von graphischen Terminals, PCs und Workstations führte aber zu vermehrten Bildübertragungen und File Transfers und damit zu einem wachsenden Bedürfnis nach schnelleren Kommunikationskanälen. In der Folge wurden zahlreiche Ethernets (zumeist 10Base2) installiert, die untereinander über ein Hausnetz (im allg. 10Base5) verbunden sind.

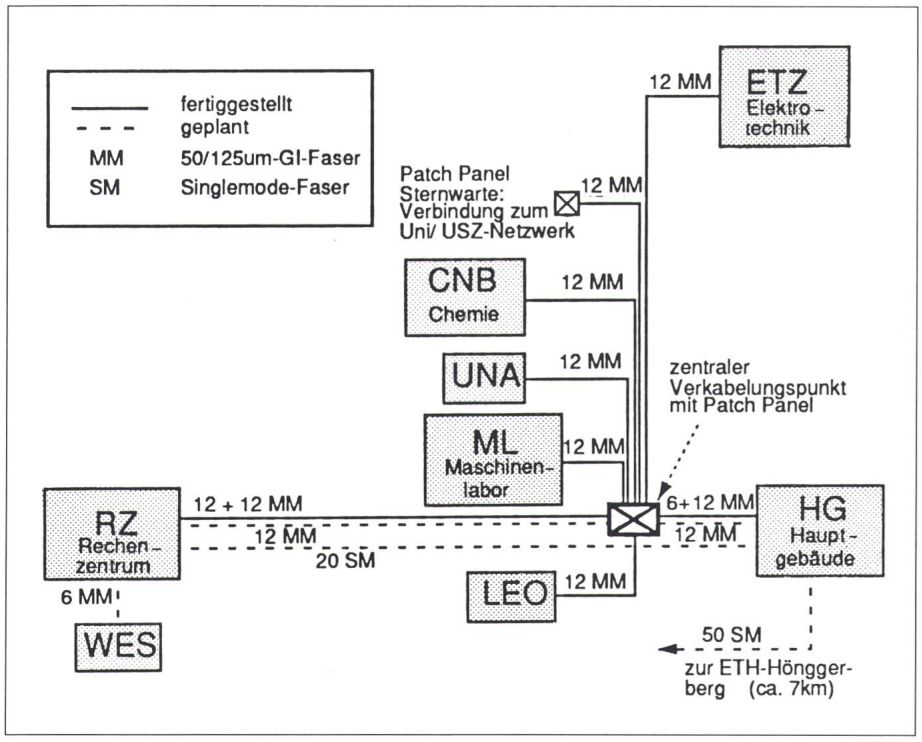
Die Verbindung der dezentralen Ethernet-Inseln geschah seit 1986 über Breitband-Ethernet-Bridges. Eine leistungsfähigere und vor allem zuverlässigere Lösung für diesen Ethernet-Backbone konnte in einem 100-Mbit/s-FDDI-Ring gefunden werden. Ende Oktober 1990 besassen drei Gebäudekomplexe – Rechenzentrum (RZ), Elektrotechnik (ETZ) sowie Chemie (CNB) – einen FDDI-Anschluss; drei weitere Anschlüsse sollen demnächst folgen. An den gegenwärtig eingesetzten FDDI-Routern lassen sich bis zu sechs Ethernets direkt anschliessen.

Ausblick

Für die weitere Entwicklung können folgende Aussagen gemacht werden:

- Der Einsatz von Plastikfasern und bereits verlegten Kabeln (Twisted Pair) für Distanzen von 20...100 m wird FDDI stark verbilligen [9].
- Für LAN-Anwendungen bis 100-Mbit/s wird die Verwendung von Singlemode-Fasern eine Ausnahme bilden.
- Was die Lichtwellenlängen anbetrifft, werden kurze Verbindungen vermehrt bei 850 nm betrieben, wobei aber aus Kostengründen auch der Bereich um 780 nm zusehends interessanter wird. Für leistungsfähige Fernstrecken (> 2 km) wird der Wellenlängenbereich bei 1300 nm dominant sein.
- FDDI wird sich im Bereich der schnellen Datenkommunikation (100 Mbit/s) durchsetzen.
- Da das Bedürfnis nach Integration isochroner Dienste in LAN äusserst gering ist, muss die Zukunft von FDDI-II eher als unsicher bezeichnet werden.
- DQDB ist heute noch nicht ausgereift, obwohl sich Produkte mit eng verwandten Konzepten bereits auf dem Markt befinden. Die Betreiber öffentlicher Netze zeigen aus naheliegenden Gründen ein grosses Interesse für DQDB, dennoch bereitet eine Aussage über die zukünftige Entwicklung Schwierigkeiten.
- Voraussichtlich bevorzugt man in Zukunft kleinere Netzwerke, die untereinander über Router und eventuell serielle Leitungen verbunden sind. Mit Routern lässt sich eine Filterfunktion erreichen, die die Zuverlässigkeit und Datensicherheit wesentlich erhöht und das Netzwerk-Management erleichtert. Die seriellen Verbindungen für die Überbrückung grosser Distanzen können dem erwarteten Verkehrsvolumen angepasst werden, was zu Kosteneinsparungen führt.
- Unübersehbar ist ein wachsendes Bedürfnis nach sehr schnellen Punkt-Punkt-Verbindungen bzw. Netzen mit nur einigen wenigen Stationen. Dafür existieren bereits Lösungen für die parallele Übertragung auf Kupferleitungen (z.B. High Performance Parallel Interface [HIPPI], 800 Mbit/s). In naher Zukunft sind entsprechende Standards für Glasfaserverbindungen zu erwarten.
- Mit grosser Sicherheit ist anzunehmen, das LAN mit Übertragungsgeschwindigkeiten im Gbit/s-Bereich früher oder später zum Einsatz gelangen werden (High Speed LAN, HSLAN). Entsprechende Entwicklungen sind weltweit im Gange.
- In ferner Zukunft sind Netze mit Wellenlängenmultiplex zu erwarten, bei denen jede Station auf jeden Kanal zugreifen kann [10]. In diesem Zusammenhang spricht man von einem Optischen Äther.

Dankwort: Herrn Peter Heinzmann, IBM Rüschlikon, sei für die Diskussionen und für die wertvollen Hinweise herzlich gedankt.



Figur 3: Verkabelung des ETH-Zentrums mit Glasfaser, Stand Oktober 1990. Distanzen ab Verkabelungspunkt: maximal 750 m

Literatur

[1] *M. Fahey*, News, Lightwave July 1990, p. 8...9.
[2] *G. Faas:* Gallium arsenide and III-V materials: The Japanese semiconductor suppliers, Lightwave, Jan. 1990, p. 1...73.
[3] *D. Pandya:* Manufacturers respond to telco connector wish list, Lightwave, June 1990, p. 23...38.
[4] *J. Carr:* Forecast: Growth – The LAN market just keeps getting bigger and bigger, LAN Magazine, May 1990, p. 48...58.
[5] *P. Heinzmann, D. Jäpel*, Standardisierung und lokale Kommunikation, Bulletin SEV/VSE 81 (1990) 11, p. 31...41.
[6] *S. Evitts*, Fibre Optic Ethernet for the Local Area Network, Telecommunications, Jan. 1990, p. 63...65.
[7] *F.E. Ross:* Fiber Distributed Data Interface: An Overview, 15th Conf. on Local Computer Networks, Minneapolis, Sept. 1990, p. 6...11.
[8] *T.I. Băjenesco:* Où en sont les MAN?, Bulletin SEV/VSE 80(1989)17, p. 1077...1082.
[9] *G. Styx:* Telephone Wiring: a conduit for networking standards, IEEE Spectrum, vol. 25, no. 6, June 1988, p. 38...41.
[10] *M.S. Goodman et al.:* The Lambdanet Multiwavelength Network: Architecture, Applications and Demonstrations, IEEE J.-SAC, vol. 8, no. 6, p. 995...1004, Aug. 1990.

Anschluss gesucht.

Passt es, oder passt es nicht? Keine Frage, wir haben den nötigen Link in Sachen Datenübernahme, Satzverarbeitung und Desk-TOP-Publishing. Was wir sonst noch alles in petto haben, um Ihre Werbedrucksache zum gewünschten Erfolg zu bringen, sagt Ihnen gerne einer unserer Berater.

Anschluss gefunden!

vogt-schild druckzentrum

Vogt-Schild AG
Druck und Verlag
CH-4501 Solothurn
Zuchwilerstrasse 21
Telefon 065 247 247
Telefax 065 247 335