

INFORMATIONSTECHNIK UND ARMEE

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1994/1995

Leitung:

Bundesamt für Übermittlungstruppen

Divisionär E. Ebert, Waffenchef der Übermittlungstruppen

Technik und Einsatz der faseroptischen Übertragungssysteme

Referent: Dr. J. Lüthi

8 - 1

Technik und Einsatz der faseroptischen Uebertragungssysteme

Dr. J. Lüthi

Inhalt

1. Einführung
2. Hauptkomponenten
 - 2.1. Lichterzeugung
 - 2.2. Lichtdetektion
 - 2.3. Lichtwellenleiter
 - 2.4. Lichtverstärker
 - 2.5. Lichtwellenleiter-Kabel
 - 2.6. Verbindungstechnik
 - 2.7. Optische Verbinder
3. Uebertragen von Informationen
 - 3.1. Modulation
 - 3.2. Multiplexierverfahren
4. Netzstruktur
 - 4.1. Komponenten
 - 4.2. Trends der Netzstrukturen
 - 4.3. Weitere Anwendungen

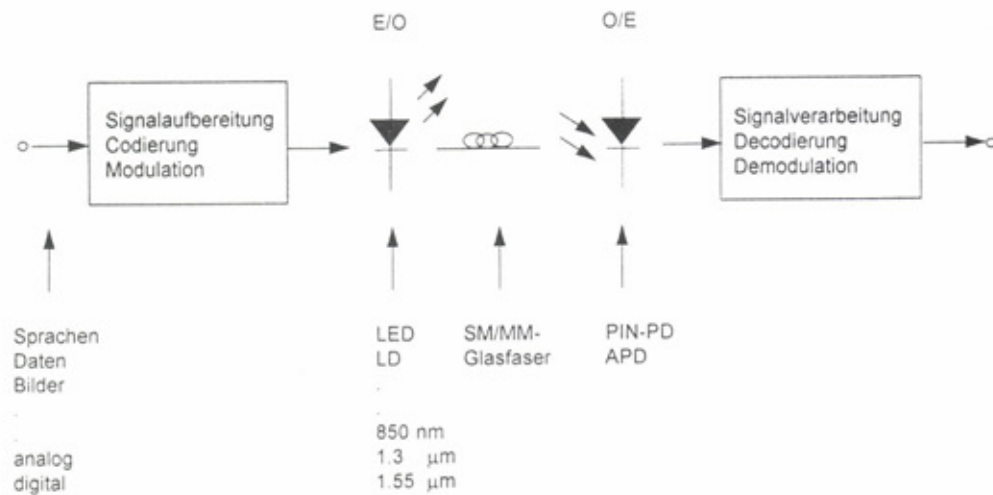
Adresse des Autors:
Huber + Suhner AG
9100 Herisau

Informationstechnik und Armee
34. Folge 1994/95

27653

1. Einführung

- Früheste optische Signalisierung: Feuer, reflektierender Spiegel, Signalisierungslampe.
- Photophone im Jahre 1880 durch A.G. Bell, 4 Jahre nach der Erfindung des elektrischen Telefons.
- Keine grosse Anwendung bis in das 20ste Jahrhundert. Grund: keine geeignete Lichtquelle, Lichtführung im Freiraum durch äussere Faktoren leicht beeinflussbar.
- Erst im Jahre 1966, nach einer Demo der Lichtführung in Glasfaser (Kao, UK) stellt man sich die Frage, ob die FO-Uebertragung wirklich eine Zukunft hat oder sogar eine alternative Technologie zu Koax-Technik sein kann.
 Am Anfang: Glasfaser: 1'000 dB/km <-> Koax: 10 dB/km
 Innert 5 Jahren: Glasfaser < 5 dB/km
 Heute: 0,15 dB/km
- Die wichtigsten Fortschritte bei der FO ereigneten sich zwischen 1960 und 1980.



Figur 1: Hauptteile der FO-Punkt-zu-Punkt-ÜT-Systeme

- Technischer Standard

Frequenz:	digitale Systeme:	im Einsatz	2.5 Gbit/s
		bald	10 Gbit/s
		im Labor	100 Gbit/s
	analoge Systeme:	im Einsatz bis	1 Gbit/s,
		im Labor	15 Gbit/s

10 Gbit/s: 100 km über Standard-SM-Faser, 9000 km über dispersionsverschobene Faser

- für noch längere ÜT-Distanz entweder
 - Repeater auf elektr. Niveau oder
 - optische Verstärker
- Die wichtigsten Bauteile der FO-Uebertragung
 - die Lichtwellenleitung in der Glasfaser
 - die Lichtquelle, die Lichtdetektion
 - die Modulations-/Demodulationsverfahren
 - die Signalaufbereitungsverfahren

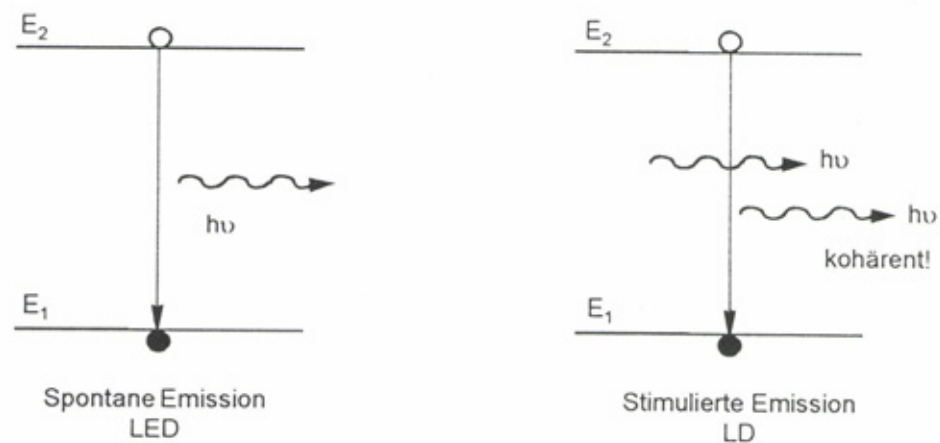
8 - 3

• Vor- und Nachteile faseroptischer Systeme

- | | |
|--|---|
| <p>+</p> <ul style="list-style-type: none"> - enorme Bandbreite - relativ leicht, biegsam - Immunität gegen EM-Störung - fast abhörsicher - kleine Dämpfung - niedrige Kosten - langlebig | <p>-</p> <ul style="list-style-type: none"> - Präzisionskomponenten erfordern entsprechende Behandlung |
|--|---|

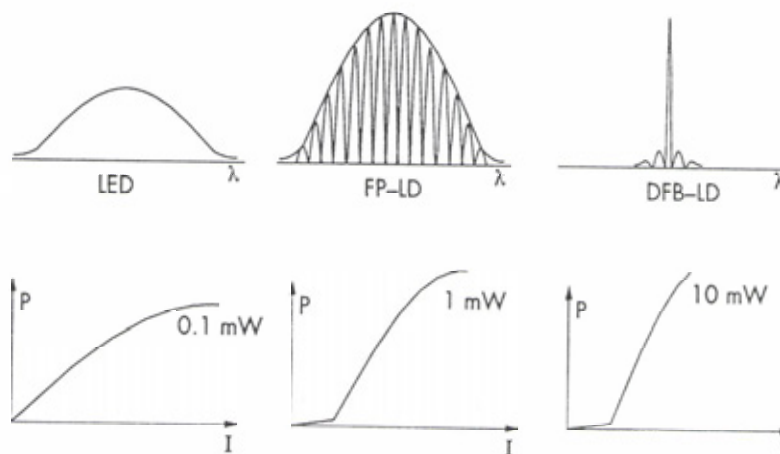
2. Hauptkomponenten

2.1. Lichterzeugung



Figur 2: Lichterzeugung im Halbleiter; LED, LD

- LED: Light Emitting Diode, nicht kohärentes Licht, schwache Leistung
- Laser: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, kohärentes Licht, höhere Leistung
- LED: bis wenige Mbit/s
- LD: Fabry-Perrot-Struktur: bis 565 Mbit/s
DFB-Struktur: ab 565 Mbit/s notwendig
- Material: 850 nm: AlGaAs
1.3, 1.55 μm: InGaAsP

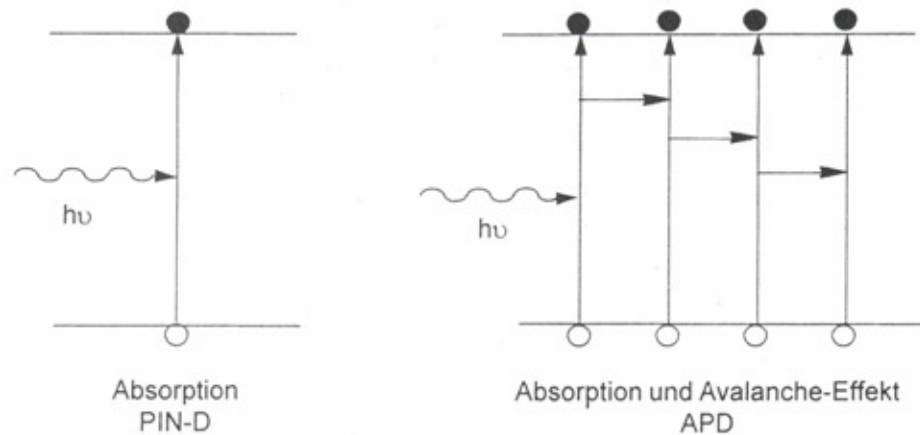


Figur 3: Eigenschaften von Lichtquellen

8 - 4

- LED emittiert nicht-kohärentes Licht, deshalb ist das Spektrum kontinuierlich. FP-LD emittiert zwar kohärentes Licht, diese besitzt aber mehrere Resonanzmoden. Mit einem zusätzlichen wellenlängenselektiven Mechanismus wie den DFB kann eine sehr enge Spektralbreite realisiert werden.
- Ausser dem Halbleiterlaser werden in Zukunft auch andere Laser zum Einsatz gelangen wie z.B. LED-gepumpte Nd/YAG Laser (Neodymium doped yttrium-aluminium-garnet). Solche Laser haben:
 - a) sehr kohärentes Licht ($\Delta f < 1 \text{ MHz}$)
 - b) hohe Emissionsleistung (bis $>100 \text{ mW}$)
 - c) niedrigere Rauschleistung ($\text{RIN} < -160 \text{ dB/Hz}$)
 Sie sind aber nicht direkt modulierbar. Deshalb werden dazu externe Modulatoren benötigt.
- Emissionsleistung der LED ist typisch 0.1 mW , die von DFB 10 mW .
- Heute sind bereits DFB-LD mit einer einkoppelbaren Lichtleistung bis 25 mW erhältlich.

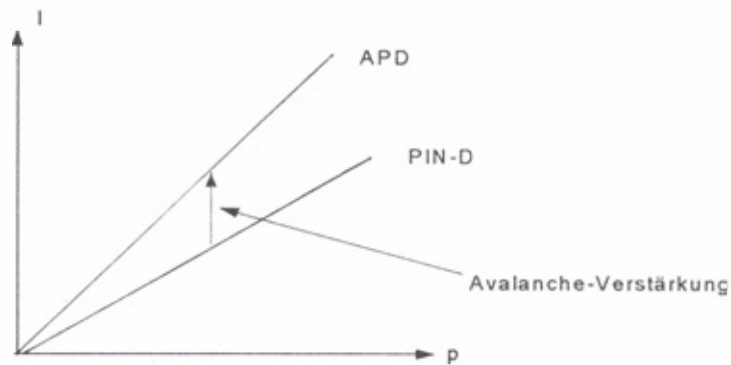
2.2. Lichtdetektion



Figur 4: Lichtdetektion; PIN-D, APD

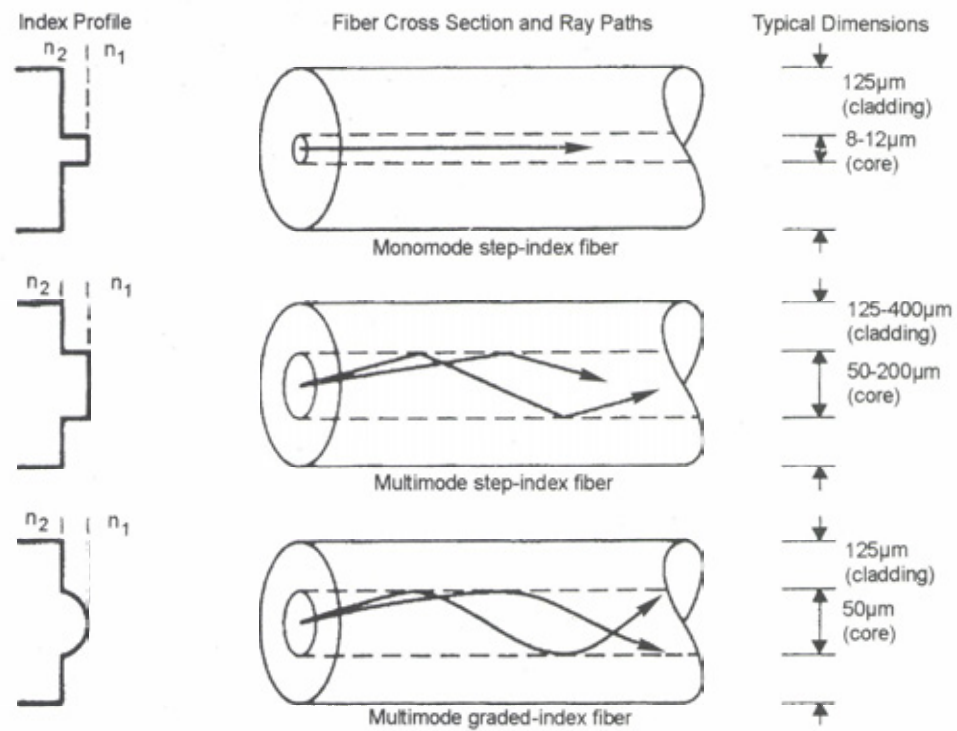
- 850 nm Lichtdetektoren: mit Silizium einfach herstellbar, Entwicklung abgeschlossen.
- $1.0 - 1.6 \mu\text{m}$ Lichtdetektoren: Ge für Datenrate $<565 \text{ Mbit/s}$ oder InGaAs(P) für Datenrate $>565 \text{ Mbit/s}$
- Im allgemeinen ist die Herstellung von optischen Detektoren weniger problematisch als diejenige von optischen Lichtquellen: Systemrauschen und Systemlinearität sind in der Regel durch die Sendeseite bestimmt.
- Ein APD-Vorverstärker-Frontend weist zwar bei kleiner Avalanche-Verstärkung einen geringeren Rauschpegel auf, jedoch verschlechtert sich die Linearität der APD sowohl bei wachsender Avalanche-Verstärkung als auch bei höheren optischen Leistungsebenen sehr markant.
 --> PIN-D wird in den meisten Fällen vorgezogen!

8 - 5



Figur 5: Eigenschaften von Lichtdetektoren

2.3. Lichtwellenleiter

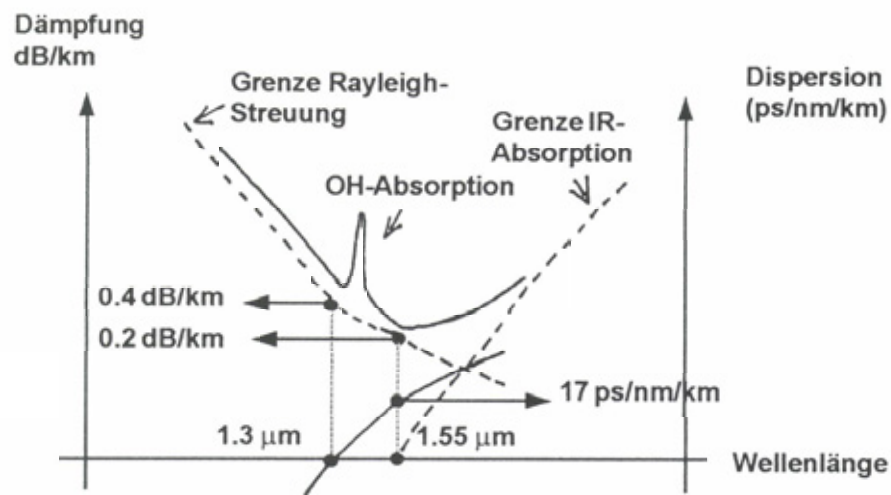


Figur 6: Lichtführung, SM- und MM-Faser

- Licht wird im Glaskern gehalten dadurch, dass der Brechungsindex im Kern leicht grösser ist als im Mantel.
- Multimodeausbreitung bringt Laufzeitunterschiede auf grösseren Distanzen.
- Wenn der Kern 8 - 12 μm Durchmesser hat, kann sich bei der verwendeten Wellenlänge nur noch ein Schwingungsmodus ausbreiten.
- Beispiele standardisierter Fasertypen:

	GI 50/125:	CCITT G 651, IEC 793.2
MM	GI 62.5/125:	IEC 793.2
	GI 100/140:	IEC 793.2
SM	SI 10/125:	CCITT G 652, IEC 793.2 (Nulldispersion bei 1310 nm)
	SI 10/125:	CCITT G 653, IEC 793.2 (Nulldispersion bei 1550 nm)

- Anwendungen:
 MM-Faser: LAN, industrielle Anwendung und sonstige Kurzstanz-Applikationen mit kleinerem Bandbreitenbedarf
- SM-Faser: Telecom, CATV, Unterwasser und andere Applikationen mit höherem Anspruch auf Distanz und Bandbreite

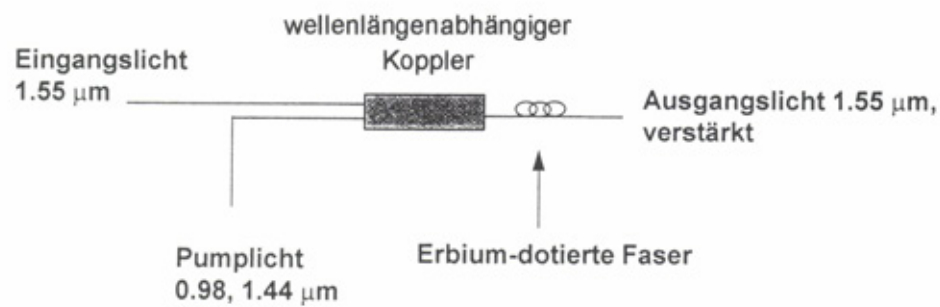


Figur 7: Eigenschaften von LWL, Beispiel SM-Faser 10/125

- Die heutigen Fasern haben die theoretische Grenze der Dämpfung fast erreicht, abgesehen von der OH-Absorptionsspitze. Es ist also keine weitere grosse Verbesserung zu erwarten!
- Die meisten bereits installierten SM-Fasern weltweit weisen eine Nulldispersion bei 1.3 μm auf. Man hat also oft mit dem Problem der Dispersion bei 1.55 μm zu tun.
- Kopplungsverluste Lichtquellen -> Faser

ELED	->	MMF:	13 - 15 dB
LD	->	MMF:	5 - 18 dB
LD	->	SMF:	7 - 11 dB

2.4. Lichtverstärker



- EDFA: NF ~ 3dB, G > 30 dB, P_{out} > +15 dBm

Figur 8: Optische Verstärker

8 - 7

In Langdistanz-Übertragungen müssen alle z.B. 50 oder 100 km Lichtsignale in elektrische Signale umgewandelt werden, bearbeitet und verstärkt werden und erneut Laser moduliert werden.

Der Lichtwellenleiter kann aber selbst zum Laser gestaltet werden, indem mit äusserem Licht höhere Energiezustände angeregt werden, die wiederum von den im LWL passierenden Signalimpulsen ausgelöst werden und somit als stimulierte Emission zur Verstärkung beitragen.

Dazu wurde eine speziell dotierte Faser entwickelt.

2.5. Lichtwellenleiter-Kabel

Nackte LWL Fasern sind sehr empfindlich. Kern und Ummantelung, z.B. 125 μm dick, werden zuerst in ein Primärcoating aus Kunststoff eingepackt, damit eine Handhabung überhaupt möglich wird.

LWL-Fasern dürfen dann im Einsatz nur geringen mechanischen Kräften ausgesetzt werden.

- geringe Zugkräfte
- nur limitierte Biegung
- keine Querdruckkräfte
- kein Feuchtigkeitseintritt.

Die Kabelherstellung ist somit eine Verpackungstechnologie, um die Umwelteinflüsse zu minimieren. LWL-Schutzfunktionen müssen aus kostengünstigen Kunststoffmaterialien herstellbar sein.

Glas und Kunststoffe haben sehr abweichende Wärmeausdehnungskoeffizienten.

LWL-Fasern werden z.B. mit Überlängen mäandrierend in Kunststoffröhrchen eingelegt, damit sich der Kunststoff mehr als die Faser ausdehnen darf.

Die Längenausdehnung des Kunststoffs und die Aufnahme von Zugkräften beim Kabeleinziehen wird z.B. von Kevlar-Fasern als umschliessendes Gewebe oder Faserbündel aufgenommen.

Biegekräfte werden durch Röhrchen, Mäntel und steifere Stützelemente aufgefangen.

Das Wassereindringen wird durch gelartige Substanzen verhindert.

Gegen das Anfressen und Durchbeissen von Ratten können speziell zähe Kunststoffe, Glasgewebe oder Metalleinlagen schützen.

Dort wo viel verbunden und zusammengeführt werden soll, ist die einfache Abisolierbarkeit ein Kriterium.

Kabel müssen somit massgeschneidert auf die Anwendung hin hergestellt werden.

Die Hauptunterschiede der Anforderungen können gegliedert werden:

- innerhalb von Telecom-/EDV-Geräten
- innerhalb von Telecom-/EDV-Anlagen
- innerhalb von Gebäuden
- innerhalb von Maschinen und Fahrzeugen
- Aussenkabel in Rohren
- Aussenkabel im Erdreich
- Aussenkabel in Meeren
- nach dem erwarteten Temperaturbereich
- nach der Anzahl Fasern

2.6. Verbindungstechnik

Jede Faser eines Kabels endet irgendwo an einer Verbindungsstelle:

- als Spleiss (zusammengeschmolzen)
- in einem mechanischen Verbinder

An die aus dem Kabel austretenden Fasern z.B. eines Aussenkabels werden im allgemeinen für die anlageinterne Verteilung geeignete Kabelstücke mit schon vormontiertem Verbinder angespleisst, oder das Kabel erhält vor Ort Verbinder aufgesetzt.

In andern Fällen werden Verbinder schon vor der Installation auf das Kabel montiert und mit speziellen Vorrichtungen als Ganzes eingezogen.

2.7. Optische Verbinder

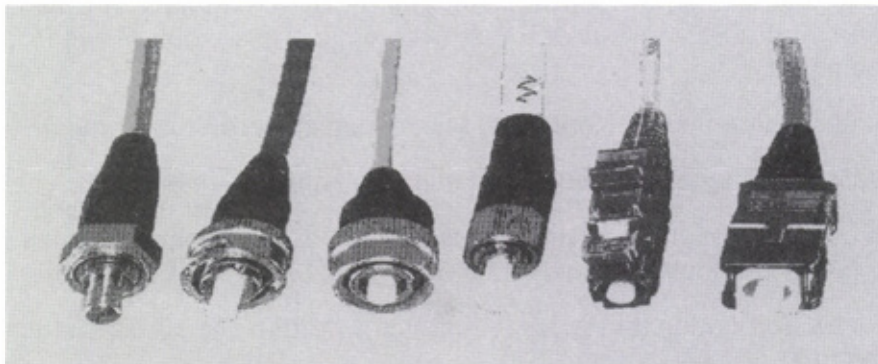
Optische Verbinder ermöglichen:

- das einfachere Zusammenschalten von Anlageteilen auf der Baustelle.
- das Trennen zu Unterhalts-, Prüf-, Reparatur- oder Ausbauzwecken.
- dass einzelne Fasern wechselnd zu verschiedenen Geräten oder Schnittstellen geführt werden können.

Optische Verbinder bestehen aus drei Hauptteilen:

- einer Präzisionsmechanik, die sicherstellt, dass die polierten Endflächen der Glasfasern im richtigen Winkel, axial zentriert, sich z.B. gegenseitig berühren.
- einer Halterungsmechanik, die die Kabelzugkräfte auf z.B. ein Chassis richtig überträgt und den Faserkontakt bei mechanischen Bewegungen nicht beeinträchtigt.
- einer Schraub-, Schnapp- oder anderer Verriegelungstechnik.

Im folgenden sind einige Beispiele dargestellt:



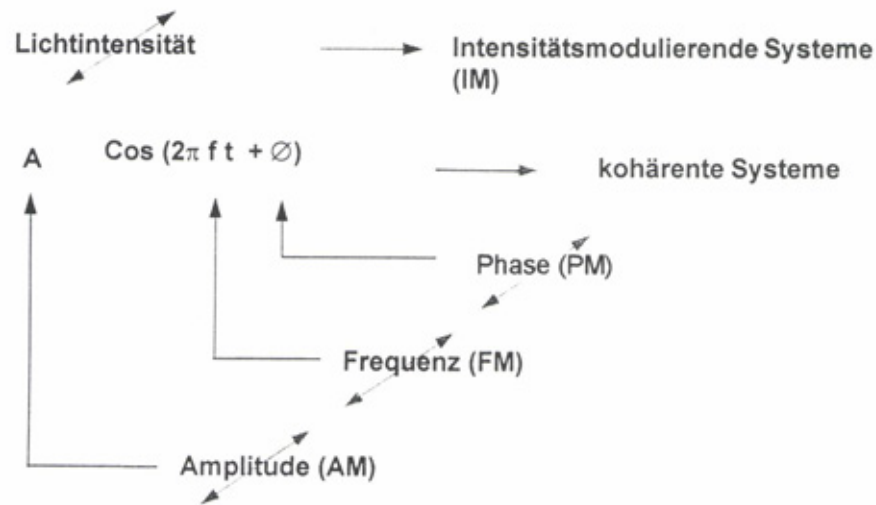
Figur 9: Optische Verbinder

3. Uebertragen von Informationen

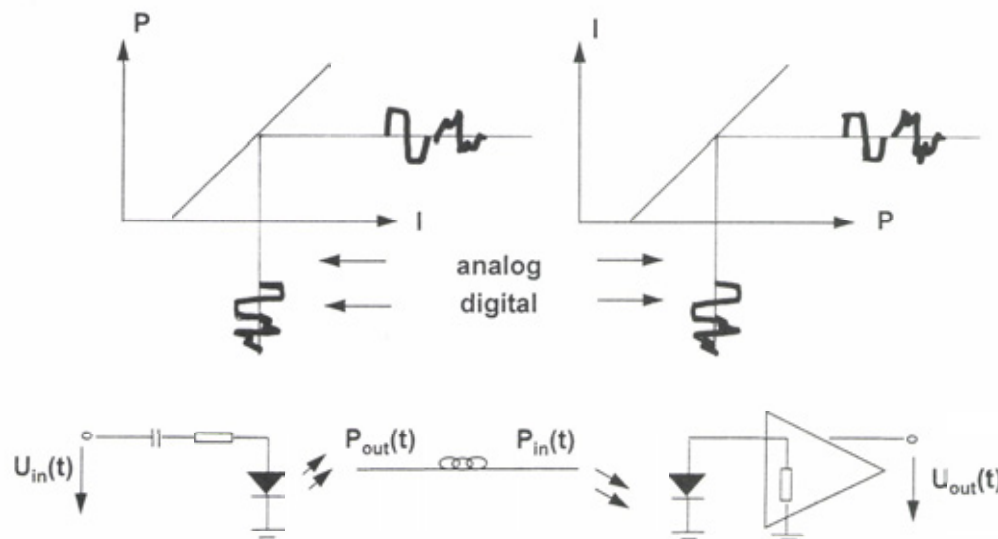
3.1. Modulation

- Intensitätsmodulation: direkte Intensitätsdetektion
kostengünstig und einfach
- kohärente Systeme: Voraussetzung ist die kohärente Detektion
(Ueberlagerungstechnik wie bei der Radio-Technik)
heute kompliziert und teuer

8 - 9



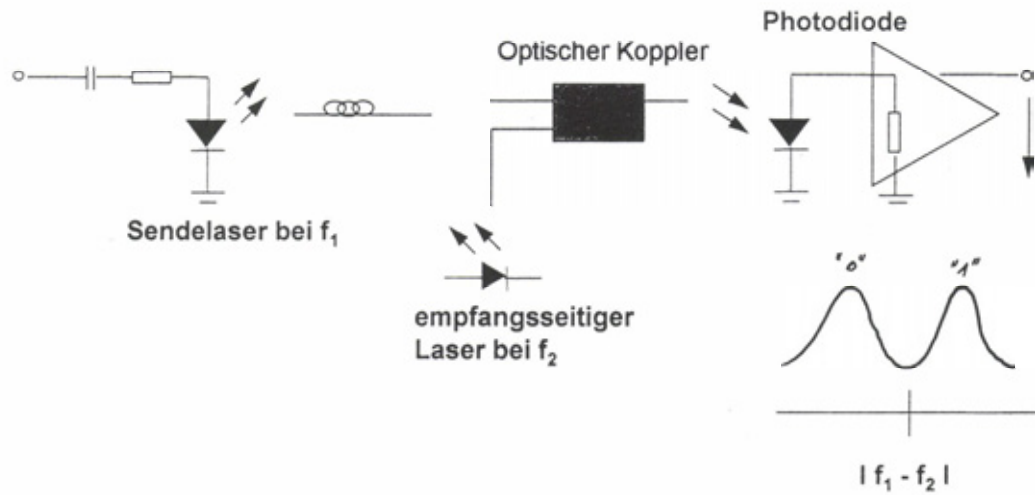
Figur 10: Unterschiedliche Modulationstechniken



Figur 11: Intensitätsmodulation und direkte Detektion

- der Laserstrom wird direkt Amplituden moduliert.
- Heute die fast ausschliesslich eingesetzte Modulations- und Detektionstechnik.
- Stand der Technik 1995: 2,5/10 Gbit/s rückgelagert.
- Fordern den Einsatz von vor-/rückgelegten Multiplex/Demultiplex Einrichtungen zur Ausnutzung der Bandbreitkapazität einer einzigen Faser. Je grösser die Uebertragungsdistanz umso wichtiger die Kapazitätsausnutzung mit Multiplexierung. Bei kurzen Distanzen kann man auch Parallelfasern einsetzen.

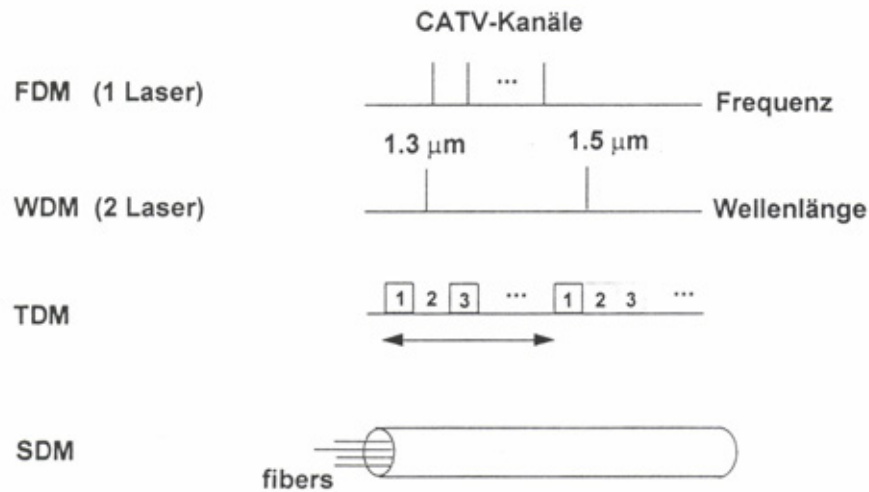
8 - 10



Figur 12: Kohärente Systeme, Beispiel FSK

- Das kohärente System erlaubt eine weitere Vervielfachung der möglichen Uebertragungsbandbreite.
- Diese Bandbreite ist heute noch nicht gefragt, so dass der wesentlich höhere Grad der Komplexität vorläufig keine Berechtigung hat.

3.2. Multiplexierverfahren



Figur 13: Multiplexverfahren

- TDM (time division multiplexing), das am häufigsten angewendete Verfahren im Telecom-Grundnetz mit digitaler Technik

PDH $n \times 64 \text{ kb/s} \dots 2.048 \text{ Mbit/s} \dots \rightarrow 564.992 \text{ Mbit/s}$
 SDH $n \times 64 \text{ kb/s} \dots 155.52 \text{ Mbit/s} \dots 622.08 \text{ Mbit/s} \dots 2.488 \text{ Gbit/s} \dots$

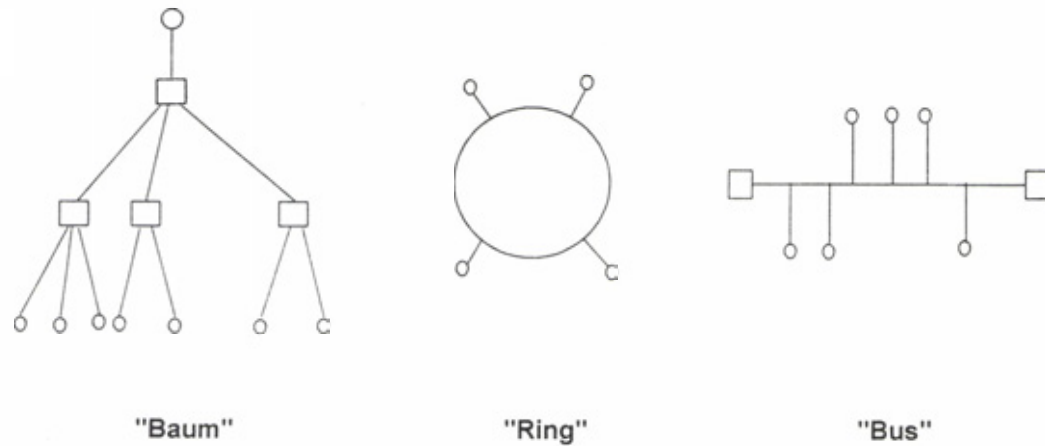
STM-1 STM-4 STM-16

- FDM (frequency division multiplexing), das am häufigsten angewendete Verfahren im CATV-Grundnetz mit analoger Technik

8 - 11

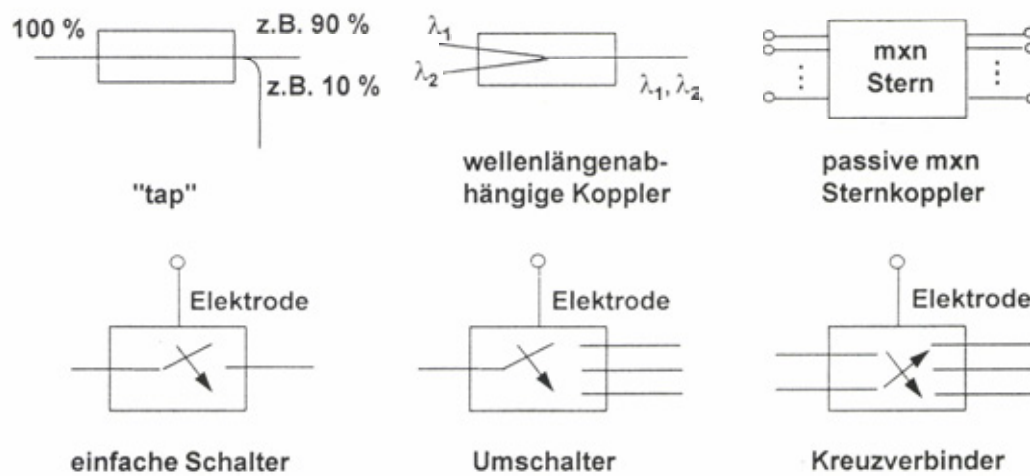
4. Netzstrukturen

4.1. Komponenten



Figur 14: Netztopologie

- Netztopologien werden gewählt, um Kosten zu sparen durch gemeinsames Nutzen von Infrastruktur und um die Redundanz/Sicherheit zu erhöhen.
- Dazu sind weitere wichtige zur LWL Technik gehörende Netzkomponenten notwendig:
 - Koppler (Aufteilen, Zusammenführen, Aus-/Einkoppeln)
 - Fiber Management Systeme, mit welchen Kabel und die Verbindungstechnik ausserhalb und innerhalb der Gebäude geführt werden.
- optische Schalter könnten an Stelle der elektrischen Schalter treten und die Vermittlung auf der optischen Ebene herstellen.

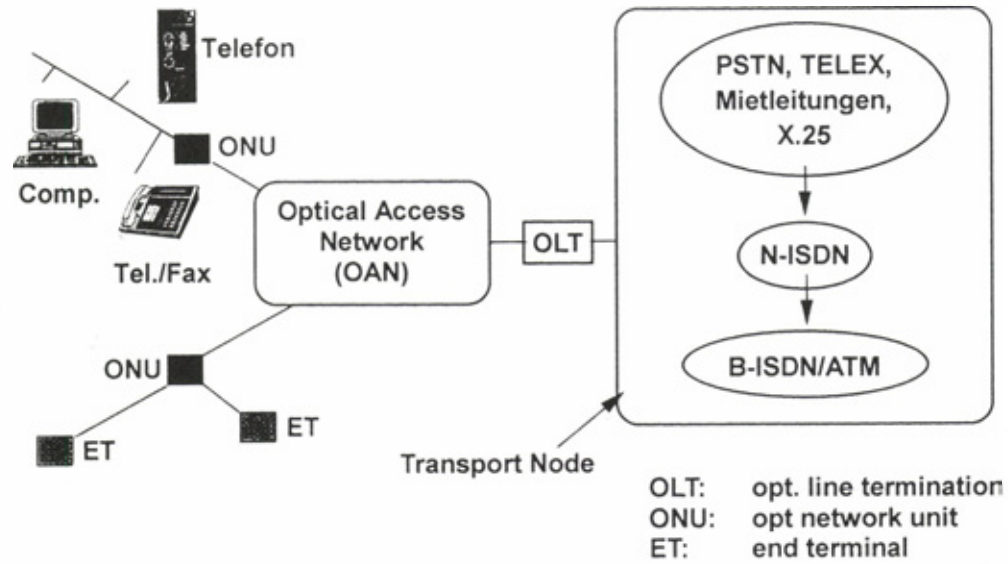


Figur 15: Optische Koppler, Verteiler und Schalter

- Im Verteilnetz hat das Aufspalten der optischen Energie und des gesamten Info-Inhaltes auf verschiedene Teilnehmer Bedeutung. Aufteiler/Splitter sind im Einsatz.
- Sternkoppler haben eine limitierte Bedeutung

- Optische Schalter sind in den Anfängen
- das eigentliche Umschalten, das heute in den Zentralen/Switchers der Telecom geschieht, ist noch nicht einsatzreif.

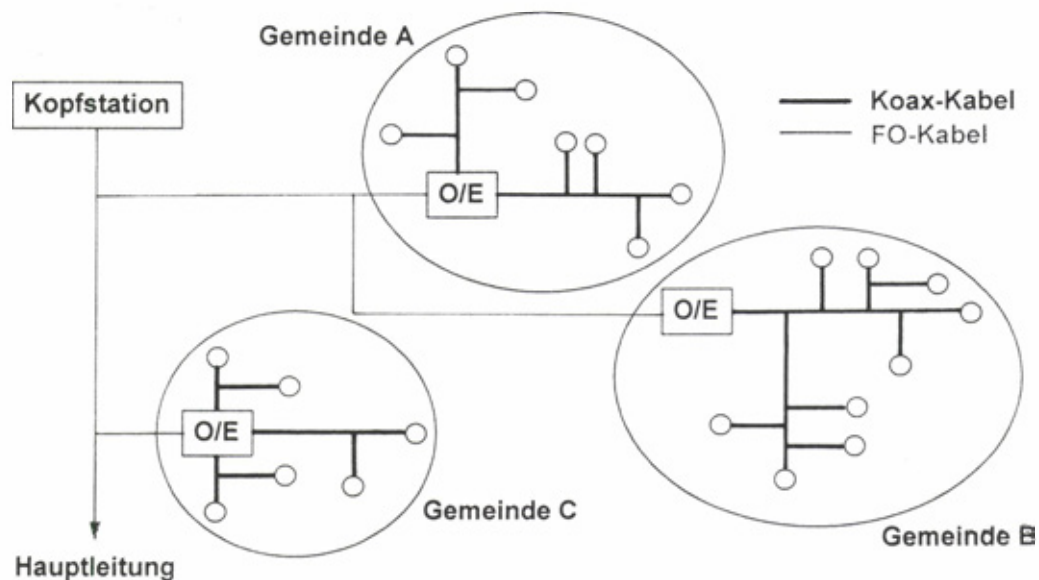
4.2. Trends der Netzstrukturen



Figur 16: Oeffentliche Kommunikationsnetze (PSTN, ISDN, WAN ...)

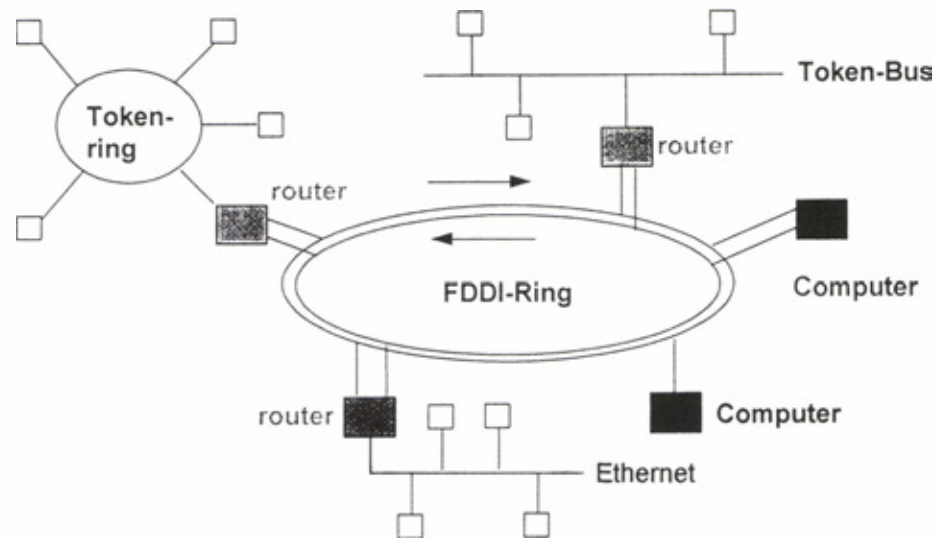
Stand der FO Telecom im Netzausbau:

- FO-Systeme als Hauptleitungen sind auf einer breiten Basis eingesetzt.
- Die sinkenden Kosten der FO Bauelemente ermöglichen ein Vordringen der FO Technologie bis an die Peripherie.
- In den USA, D, UK gibt es laufende Projekte, die Glasfaser bis ins Quartier, an grössere Gebäude, z.T. bis ins Einzelhaus zu bringen.
- Der Telefon oder N-ISDN Anschluss braucht jedoch keinen LWL, eher die TV-Programmverteilung oder die Multimediämöglichkeit.



Figur 17: CATV-Netze

- klassische CATV-Netztopologie mit Koaxkabeln
 - Verstärker-Kaskade bis 50 Verstärker möglich, alle paar 100 m ein Verstärker
 - Übertragungskapazität auf etwa 30 TV-Kanäle beschränkt
 - Koax-Kabelbeispiel: 5/24 mm, 600 MHz, 50 dB/km
- Das Hybrid-Netz ist heute die Lösung
- Trend: verstärkte Zusammenarbeit von CATV und Telecom
- Digitale TV-Signale (werdender Weltstandard: MPEG-2 mit Bildkompression)
 - EDTV (extended def.) 9 Mbit/s/Kanal: Studio-Qualität
 - SDTV (standard def.) 6 Mbit/s/Kanal: heutige Qualität
 - Innerhalb einer 8 MHz (UHF Kanalraster) Bandbreite 38.1 Mbit/s mit 64 QAM möglich!



Figur 18: LAN, MAN (Privat, breitbandig)

- In den Ring- oder Sternnetzen der lokalen Computer-Netzwerke werden heute für die Basisstruktur (Backbone) LWL verwendet.
- FDDI (Fiber Distributed Data Interface)
 - 100 Mbit/s, Faserlänge bis 200 km, bis 1000 Anschlüsse, Multimode Faser, LED als Lichtquelle -> Low Cost
 - > Sicherheit gegenüber dem Auge
- Sternnetz: zentrale Datenbank zu Abteilungsrechnern oder Applikationsservern.
- Andere FO-LAN's:

Fibernet II (Xerox):	Ethernet-kompatibel
S/NET (Bell-Lab):	Fast Switching Star

4.3. Weitere Anwendungen

- Industrielle Anwendungen
 - Sensorik:
 - Verkehrsüberwachung
 - Eingangskontrolle am Eingang der Firmengelände
 - Ölstand-Erfassung in Tanks
 - Automatisierungsanlage, Robotersteuerung/Sensoren
 - EMV-empfindliche Anlagen

8 - 14

- Militärische Anwendung
 - Abgesetzte Antennenanlagen (Radar, Funk)
 - FO-Systeme ermöglichen: Verbindung zu schwer zugänglichen oder weit entfernten Antennenanlagen oder sonstigen Ueberwachungs-, Erfassungsstellen
 - Kabel mit leichterem Gewicht (Verlegbarkeit)
 - Keine Zwischenverstärker wie bei Koax
- Mikrozellen-Technologie für Mobilfunknetze
 - Funkfelderweiterung
 - Abgesetzte Sender/Empfänger oder Antennenanlagen im Mobilfunknetz mit LWL.