

Kapitel 7

Datenübertragung zwischen Rechnern

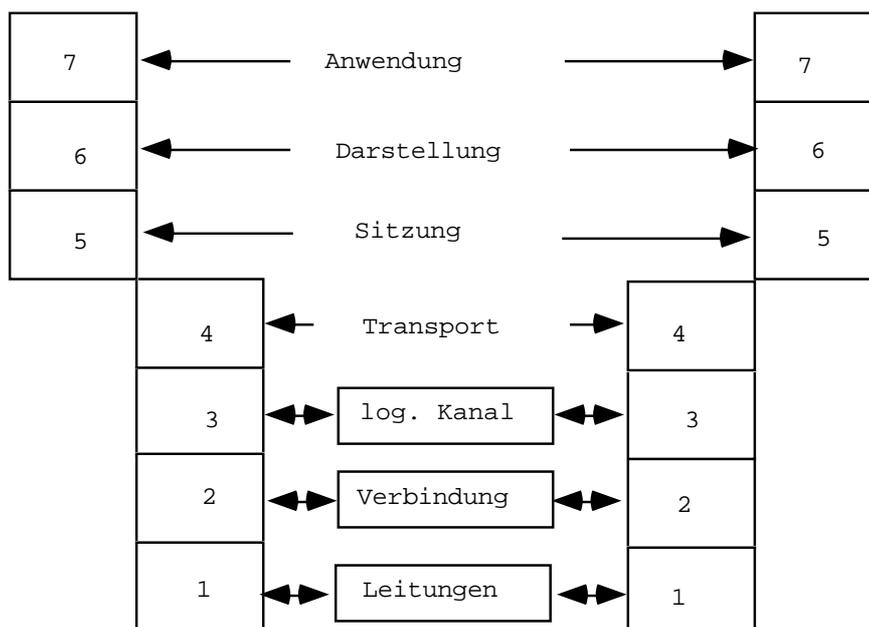
Datenaustausch zwischen Rechnern erfordert nicht nur Hardware in Form von Leitungen und Kommunikationsverbindungen, sondern auch Vereinbarungen (Protokolle) über die Syntax und Semantik der übertragenen Daten.

Das soll diskutiert werden an Hand des 7-Schichtenmodells der ISO (International Standards Organization), wobei wir uns hier auf die hardwarenahen untersten 3 Schichten beschränken.

7.1. ISO-7-Schichtenmodell

Es beschreibt den Datenaustausch zwischen zwei Rechnern als Schichten von Protokollsoftware, die jeweils der nächst höheren Schicht Funktionen zur Verfügung stellen.

Die Schichten 5 - 7 sind anwendungsorientiert, die Schichten 1 - 4 transportorientiert.



Nur die Schichten 1 - 3 sind hardwareabhängig.

In den einzelnen Schichten werden die verschiedenen Aspekte behandelt, die zu einer Nachrichtenverbindung nötig sind.

1. Physikalische Schicht (physical layer)

Verabredung über

- verwendete Kommunikationsmittel (Leitungen, Funkverbindungen, ...)
- Pegel der Signale
- Darstellung von "0" und "1".

2. Datenverbindungsschicht (data link layer)

Verabredung über

- Art der Verbindung
- Zugriffsart auf die Leitungen
- Verpackung der Daten inklusive Sicherung gegen Übertragungsfehler.

3. Netzwerkschicht (network layer)

Verabredung über

- Transport
- Verpackung und Adressierung
- Steuerung der Durchschaltung
- Aufbau logischer Kanäle.

4. Transportschicht (transport layer)

Gesicherter Transport von Nachrichten zwischen Teilnehmern (Netzwerkprotokolle).

5. Sitzungsschicht (session layer)

Auf- und Abbau von Verbindungen, Log-in-Sequenzen, Authentifizierung der Teilnehmer.

6. Darstellungsschicht (presentation layer)

Verabredung über

- Codierung von Zeichen, ggf. mit Umrechnungen
- verwendete Programmiersprachen
- Darstellung von Daten.

7. Anwendungsschicht (application layer)

Hier werden komplette Applikationen zur Verfügung gestellt, z. B. JAVA-Applets im Internet oder Browser oder e-mail-Systeme.

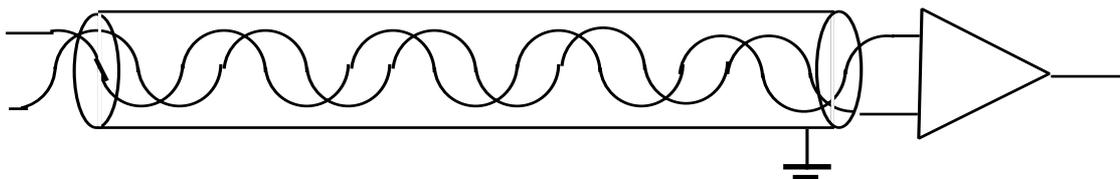
7.2. Physikalische Schicht (physical layer)

Abstimmung über

1. Leitungen
2. Stecker
3. Darstellung von "0" und "1"

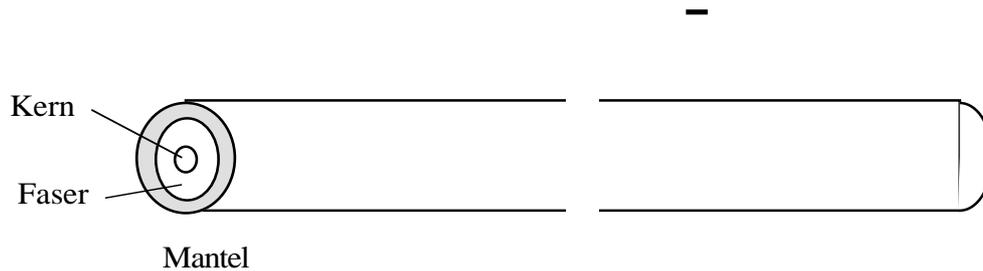
7.2.1. Leitungen

- Postleitungen (Vorteil: weltweite Verbindungen)
 - analoge Technik: Begrenzung auf 4 kHz Bandbreite (Sprache)
 - digitale Technik: Begrenzung auf $2 \times 64 + 1 \times 16$ k Bit/s.
(8000 Samples/s x 8 Bit für eine Richtung; auf analogem Leiter 144 k Bit/s (!))
- Koaxialkabel:
 - 10 M Bit/s (Bandbreite ca. 50 MHz) auf Längen von 0.5 km
 - Grenze bei 500 MHz und 20 m Länge, entspricht 100 M Bit/s.
 - Gegeben durch frequenzabhängige Dämpfung und Dispersion.
 - Heutiger Stand der Technik: Ethernet-Kabel mit Segmentlängen von 0,5 km.
- Twisted-Pair: Vorteil: einfache Technik



Anwendung: kurze Verbindungen

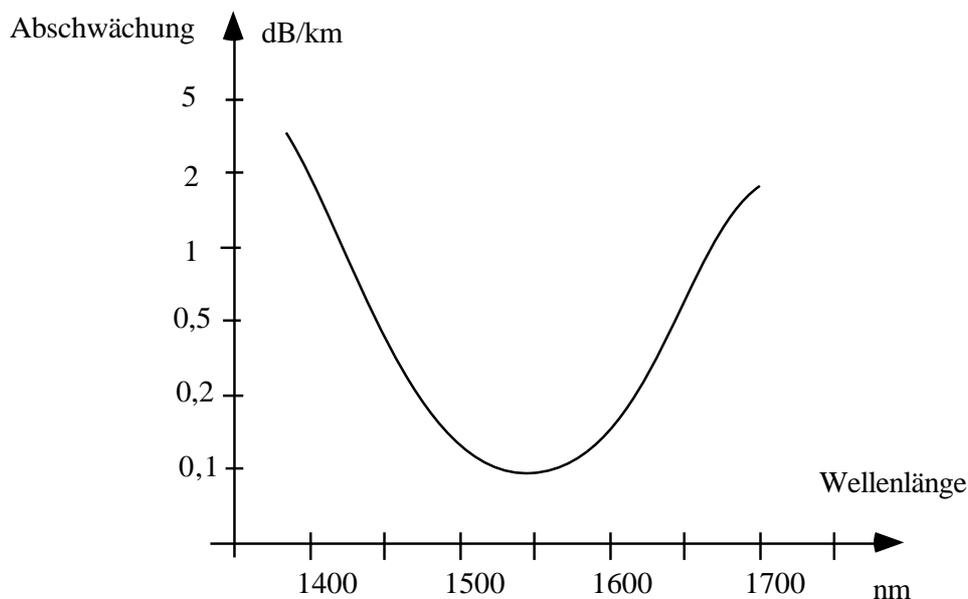
- Lichtwellenleiter (LWL)



Kern und Faser aus hochreinem Glas unterschiedlichen Brechungsindex.

Der Durchmesser des Kerns sind $0,5 - 2 \mu\text{m}$, der Faser $10 - 50 \mu\text{m}$. Durch den höheren Brechungsindex des Kerns wird Licht im Kern an der Grenze Faser - Kern total reflektiert und bleibt damit auf den Kern konzentriert. Man verwendet Glas (oder Kunststoff für geringere Anforderungen) und wählt die verwendete Wellenlänge des Lichtes so, daß

"Fenster" der Durchlässigkeit im nahen IR (z. B. bei 1550 nm) benutzt werden.



Das Abschwächungsmaß wird in Dezibel (dB) angegeben: $10 \times \log$ (Intensität am Eingang / Intensität am Ausgang) bezogen auf die Länge des Lichtwellenleiters:

$0,1 \text{ dB/km} \Rightarrow 10 \text{ dB/100 km}$ oder Abschwächung der Intensität um einen Faktor 3 auf 100 km.

Aus der Wellenlänge folgt als Trägerfrequenz für die Übertragung mit

$$\lambda = 1550 \text{ nm} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$$

$$c = 300.000 \text{ km/s} = 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 1550 \text{ nm} = 1,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

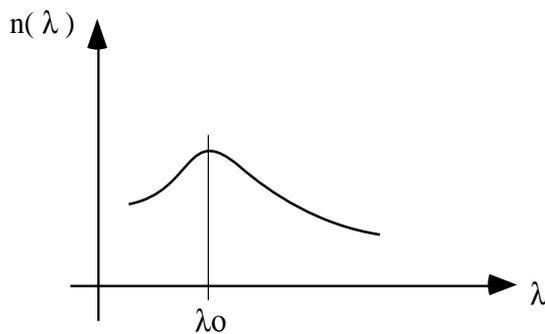
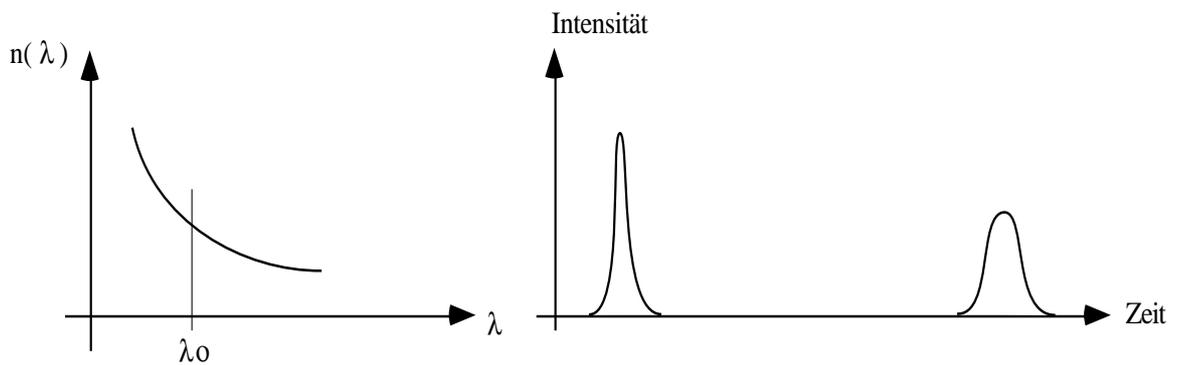
$$\Rightarrow f = 1,92 \cdot 10^{14} \text{ Hz.}$$

Begrenzung der Bandbreite durch Dispersion:

Material der Brechzahl $n(\lambda)$ hat die Ausbreitungsgeschwindigkeit

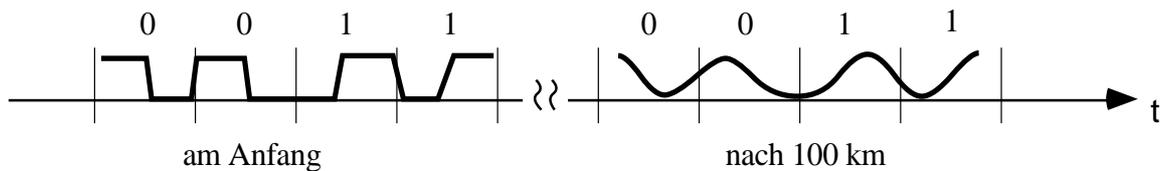
$$c(\lambda) = \frac{c_0}{n(\lambda)}$$

Die Dispersion : $n = n(\lambda)$ bewirkt ein Auseinanderlaufen eines Impulses (Wellenpaket mit Wellenlänge um λ_0 herum) auf dem LWL im Lauf der Zeit



Kleinhalten des Effekts durch Schieben von λ_0 in ein Extremum der Dispersion oder durch nichtlineare Effekte (Solitonen). Man erreicht beides: ein Minimum der Abschwächung und ein Extremum des Brechungsindex bei 1550 nm in speziellen Gläsern.

Erreichbar: 10 G Bit/s über 100 km bei 1550 nm .



Verstärkung mit optischen Mitteln.

Sehr schmalbandiges Signal : $\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = 2,5 \cdot 10^{-4}$.

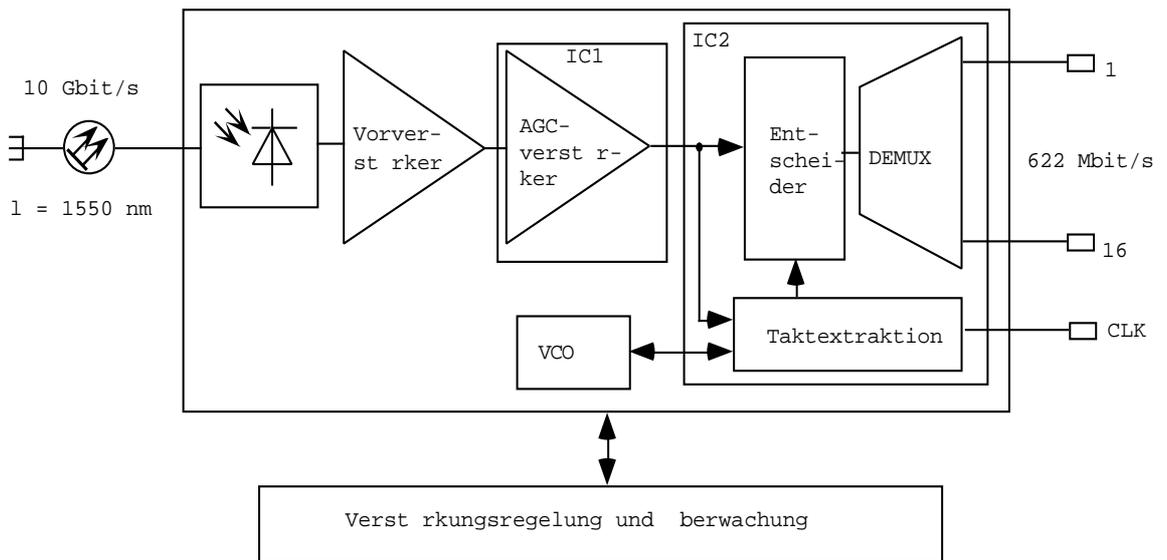
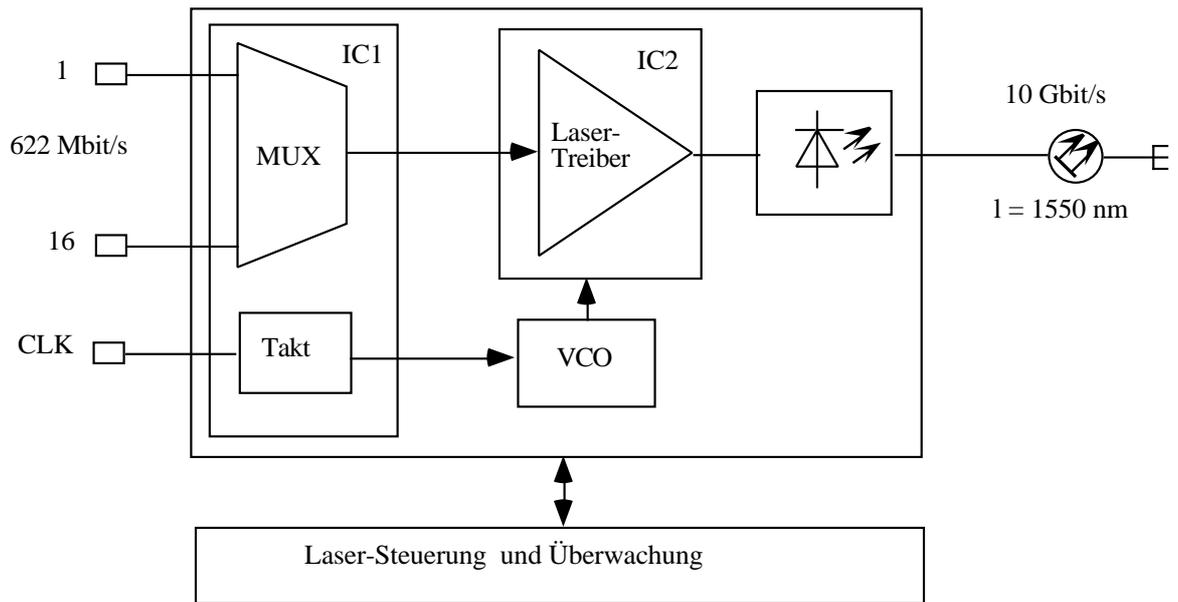
Normale Verstärker problematisch:

10 G Bit/s => Frequenzen von 50 GHz nötig.

50 GHz entspricht einer Periodendauer von 20 ps.

Man faßt 16 Leitungen mit je 622 MBit/s zusammen und überträgt mit Laser 10 GB/s

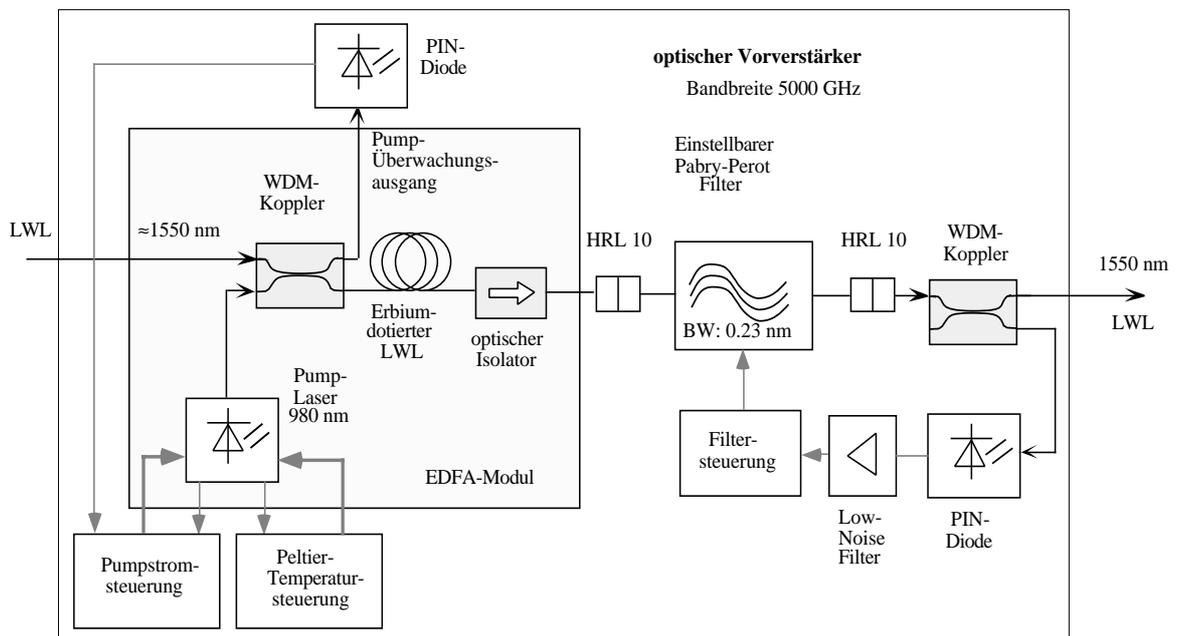
**Multiplexer und Sender
für optische Übertragungstechnik mit 10 Gbit/s**



**Optischer Empfänger und Demultiplexer
für 10 Gbit/s Übertragungstechnik**

Man baut inzwischen rein optische Vorverstärker für Bandbreiten bis 5000 GHz auf der Grundlage spezieller verstärkender Lichtleiterfasern (Erbium-dotierte Fasern mit Konver-

sion Pumplicht bei 980 nm --> Laserlicht bei 1550 nm). Der Trend geht hin zu rein optischen Systemen.



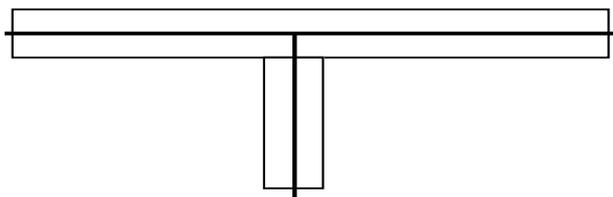
BW Bandwidth
 EDFA Erbium-Doped Fiber Amplifier
 HRL High Return Loss

LWL Lichtwellenleiter
 PIN Positive-Intrinsic-Negative
 WDM Wavelength Division Multiplex

7.2.2. Stecker und Abzweigungen

Koaxialkabel:

Abzweigungen durch "Anstechen" des Kabels



Stecker in spezieller reflexionsarmer Technik, Abschluß der Leitung mit Wellenwiderstand zur Vermeidung von Reflexionen

Lichtwellenleiter:

Abzweigung durch spezielle Koppler: die Kerne von zwei Lichtwellenleitern werden in einem Abstand von weniger als einer Wellenlänge nebeneinander geführt: dann koppelt Energie von einem in den anderen Leiter über.



Stecker müssen die Kerne mit hoher Präzision ($\pm 0.1\mu\text{m}$) zueinander justieren
 Technik für Fernmeldewesen => sehr große Investitionen

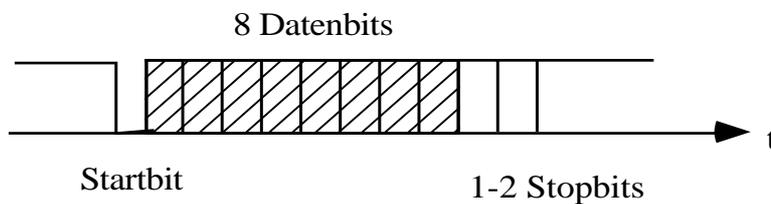
7.2.3. Darstellung von 0 und 1

Spannungen, Ströme, Frequenzen, Phasensprünge, Intensitäten

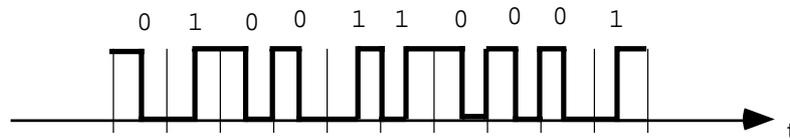
TTL FSK Dibit LWL

Codierungsverfahren:

a) Byte asynchron; serielle Schnittstellen, V24



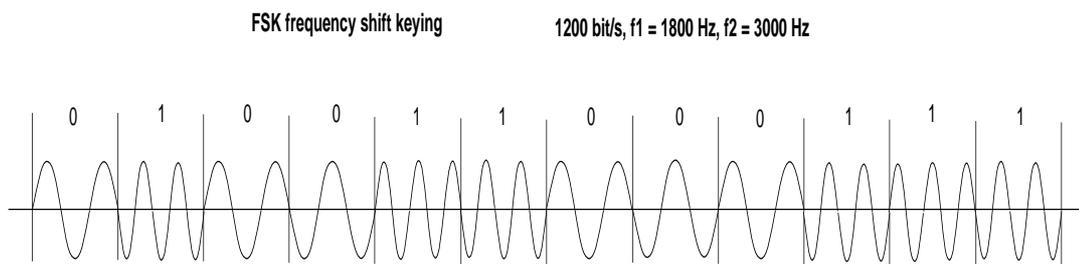
b) Manchestercode: Codierung durch Flanken; Taktrückgewinnung



(übliche Codierung bei Netzwerken)

c) FSK: frequency shift keying

Darstellung von 0 und 1 durch verschiedene Frequenzen
 z. B. 0 entspricht 1800 Hz ; 1 entspricht 3 kHz



1200 Bit/s ; Fax-Gerät, Akustik-Koppler

d) Dibit-Verfahren; Träger 1800 Hz; Paare von Bits
 codiert in: 00 -> 45° ; 01 -> 135° ; 10 -> 225° ; 11 -> 315° Phasensprung
 => 2400 Bit/s möglich über Postmodems

e) RLL (run-length-limited) Code bei Platten

7.3. Datenverbindungsschicht (data link layer)

Hier werden Verabredungen getroffen über

1. Art der Verbindung
2. Zugriffsart auf die Leitungen
3. Vergabe der Leitungen
4. Verpackung der Daten

7.3.1. Art der Verbindung

Die vorhandenen Übertragungswege können unterschiedlich genutzt sein:

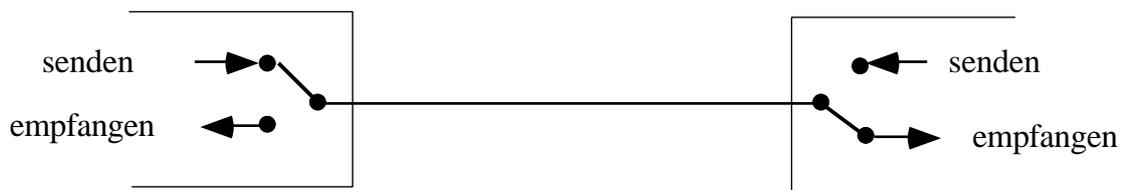
Simplex:

Der Sender sendet zu einem oder mehreren Empfängern; es gibt keine Verbindung in umgekehrter Richtung.

Beispiel: Verteilkommunikation wie Rundfunk und Kabelfernsehen.

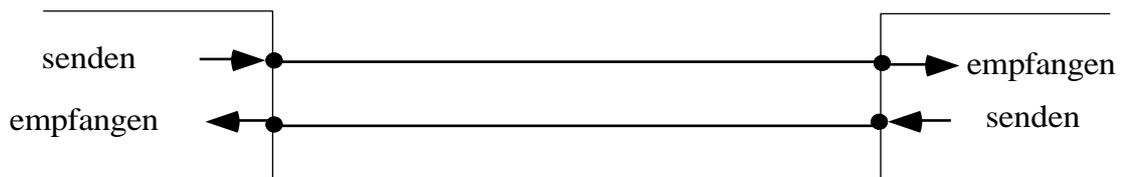
Halbduplex:

Sender und Empfänger können die Rollen tauschen; die Verbindungsleitung wird dazu umgeschaltet von senden -> empfangen bzw. empfangen -> senden.



Vollduplex:

Es gibt gesonderte Leitungen in jede Richtung



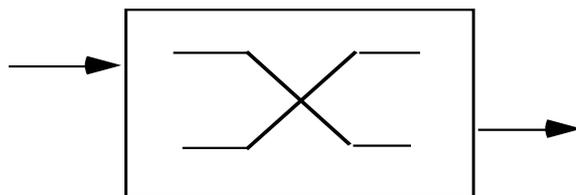
oder ein und die gleiche Leitung kann Signale in beide Richtungen zugleich transportieren (Telefonleitungen).

Die Auftrennung erfolgt am Ort von Sender/Empfänger durch eine "Gabelschaltung".

7.3.2. Zugriffsart auf die Leitungen

Der Zugriff auf die Leitung kann geschehen

- im **Raumvielfach (space division multiplex)**

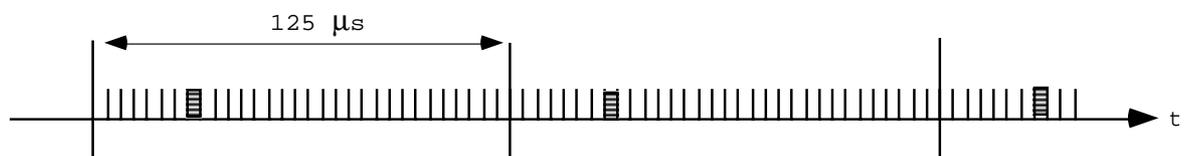


Es wird eine Leitung physikalisch über Kreuzschienenverteiler zwischen den Teilnehmern durchgeschaltet. Das geschieht parallel für viele Eingänge und Ausgänge

- im **Zeitvielfach (time division multiplex)**

Einer Verbindung zwischen zwei Teilnehmern wird ein Zeitschlitz zugewiesen.

Z. B. im ISDN (integrated services digital network) alle 125 μ s ein Zeitschlitz, in dem 8 Bit übertragen werden (64 k Bit/s).



- im **Frequenzvielfach (frequency division multiplex)**

Einer Verbindung zwischen zwei Teilnehmern wird ein Frequenzband (Kanal) zugewiesen; auf den Träger in diesem Band wird das Signal aufmoduliert.



7.3.3. Vergabe der Leitungen

Zugriff auf das gemeinsam genutzte Betriebsmittel "Nachrichtenverbindingssystem" (medium access control, **MAC**)

- Telefon: Anrufsuche: zentrale Suche freier Leitungen, Zeitschlitz, Kanäle.
- Bussystem: die Teilnehmer hängen an einem Bus

dezentrale Zugriffsverfahren:

- CSMA/CD: carrier sense, multiple access, collision detection
 - carrier sense: Abhören der Leitung, wenn kein Verkehr
 - multiple access: Senden einer Präambel (eigene Kennung; eindeutig)
 - collision detection: Abhören der Leitung; Kollision wird entdeckt.

Keine Kollision nach $t = \frac{2s}{c}$;

=> Nachricht senden.

Kollision: statistische Zeit warten, erneut versuchen.

=> bei Auslastung > 50 % steiles Ansteigen der Kollisionen.

- Token Bus:

Es gibt ein Token (Sendeerechtigung in Form eines speziellen Telegramms). Der Teilnehmer i , der das Token hat, sendet seine Nachricht. Danach sendet er das Token an seinen nächsten (logischen) Nachbarn $(i+1) \bmod N$ weiter.

- Ring: die Teilnehmer sind in einem Ring verkettet

- Token Ring:

Durchschleifen des Bus durch alle Teilnehmer. Es kreist ein Token (= Sendeerlaubnis). Sender wartet auf Token; sendet bei Empfang des Token seine Nachricht und leitet danach das Token an seinen Nachbarn weiter. Empfänger sieht sich adressiert, liest die Nachricht.

Nachrichtenlänge beliebig.

Problem: Verlust des Tokens.

- Slotted Ring:
 Telegramme in Zeitschlitzen (slots) gleicher Länge, Kennzeichnung eines Slots als belegt/frei. Senden in freien Slots.
 Nachrichten in Brocken von mindestens Slotlänge; ggf. eine Nachricht in mehrere Slots verteilt; aber Overhead durch Adressierung und Verschnitt durch nicht gefüllte Slots.

7.3.4. Verpackung der Daten und Datensicherung

Hier wird die Art der Sicherung von Datenpaketen und ihre Kennung festgelegt.

Die Übertragung von Blöcken kann geschehen synchron-seriell, synchron-parallel oder asynchron-seriell.

7.3.4.1. Synchron-seriell

Nutzdaten werden zusammen mit Steuerdaten und einer Checksumme zu einem Block zusammengefaßt, einem **HDLC-Block** (higher data link control), eingerahmt durch zwei **Flags**.

Beispiel: Ethernet

flag	Steuerungsdaten	Nutzdaten	FCS	flag
------	-----------------	-----------	-----	------

Damit das Bitpattern eines Flag 0 111 111 0 eindeutig ist, wird vor der Übertragung im HDLC-Block ein **Bit-stuffing** vorgenommen: nach je 5 Eins-Bits wird eine Null eingefügt und beim Empfang entsprechend wieder entfernt.

Um Übertragungsfehler zu erkennen, wird zu Adressen- und Steuerungsinformation und den Daten eine Sicherungssumme (frame check sequence, **FCS**) berechnet und mitgeführt. (Meist als CRC-Check ausgeführt: cyclic redundancy check; Rest bei der Division des Bitpatterns durch ein irreduzibles Polynom im GF (2).)

Neben dem Flag treten noch zwei Sonderzeichen auf:

- Flag: 0 111 111 0
- Abort: 0 111 111 1 (7 - 14 Einsen)
- Idle: 111 ... 1 (15 oder mehr Einsen; Ruhezustand)

Das Zusammenwirken der Schichten bezüglich der Verpackung der Daten sieht so aus:



Die 3. und 4. Schicht packen den HDLC-Block schrittweise ein/aus.

7.3.4.2. Asynchron-seriell

Es werden Strings fester Länge mit vereinbarten Bitraten übertragen:

z. B. in einer RS 232 - Schnittstelle Daten byteweise im Start-Stop-Verfahren.

z. B. im **Asynchronous Transfer Mode (ATM)**

Zellen von 53 Byte mit typ. 100 M Bit/s.

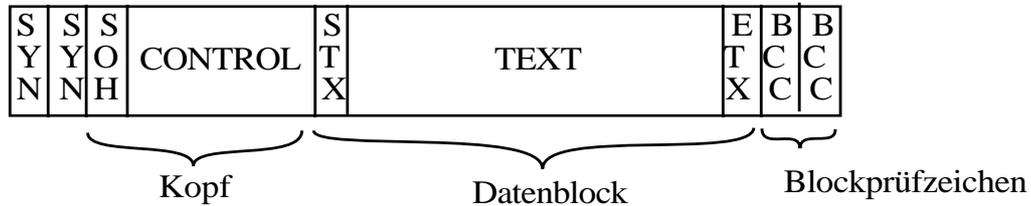
1	wählbare Flusssteuerung	Virtueller Pfad ID		
2	virtueller Pfad ID	VCI		
3	Virtuelle Kanalkennung (16 Bit) virtual channel identifier VCI			ATM - Kopfdaten
4	VCI	Nutzdatentyp payload type PT	CLP	Zellverlust Prior
5	Kontrolle von Kopfdatenfehlern			
6	ST Segment Typ	Sequenznummer SN	MID	
7	Nachrichtenkennung (10 Bit) message identifier MID			
8. bis 51	Nutzdaten (44 Oktette)			ATM - Nutzdaten
52	Füllänge		CRC	
53	Cyclic Redundancy Check CRC			

Damit lassen sich Fernsehbilder über digitale Netze übertragen; durch die Pakete gleicher Länge (Telegramme) kann zyklische Datenübertragung einfacher realisiert werden als durch HDLC-Blöcke unbestimmter Länge, die zeitlichen Jitter erzeugen.

7.3.4.3. Synchron-parallel

Beispiel: Bisync-Protokoll

Ein zeichenorientiertes Protokoll für Strings von ASCII-Zeichen.

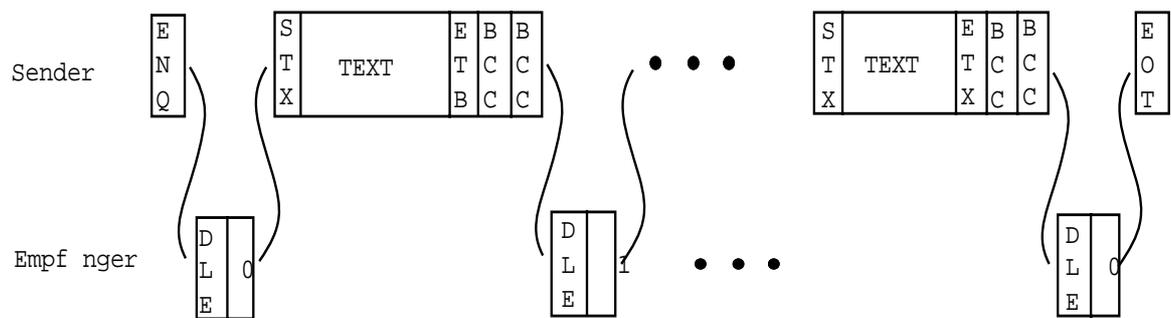


Dabei bedeuten

SYN	Synchronisationssignal	0010 110
SOH	Start of Header	0000 001
STX	Start of Text	0000 010
ETX	End of Text	0000 011
BCC	Block check character	(errechnet aus den Bits des Textes)

Der Übertragungssteuerung dienen die Kontrollzeichen

DLE	data link escape
ETB	end of transmission block
EOT	end of text



BISYNC - Protokoll

Zusammengefaßt ist Aufgabe der Sicherungsschicht (data link layer)

- Medienzugriffssteuerung
- Auf- und Abbau von Verbindungen
- Begrenzung der Datenblöcke
- Fehlererkennung und Fehlerbehandlung
- Zeichen- und Datenblocksynchronisation.

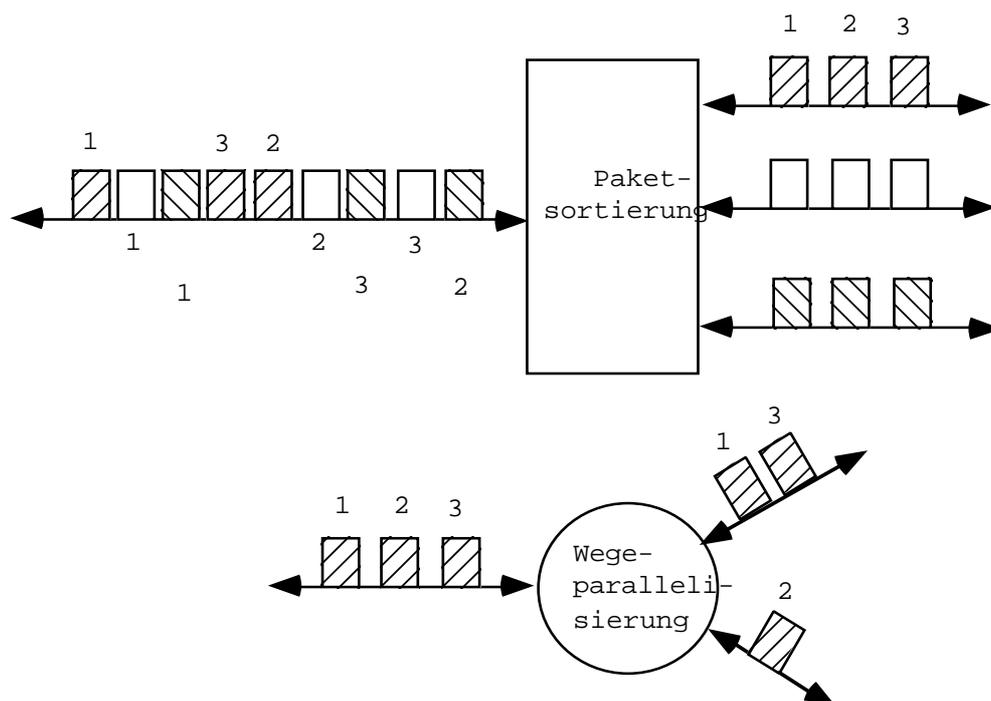
7.4. Netzwerk-Schicht (network layer) oder Vermittlungsschicht

Sie stellt den oberen Schichten **logische Kanäle** zur Verfügung und übernimmt

- den Transport einer Nachricht mit der Steuerung der Durchschaltungen (Routing)
- die Flußkontrolle, d. h. den Quittungsbetrieb.

7.5. Transportschicht (transport layer)

Sie übernimmt die Paketsortierung, Paketwiederholung, Wegeparallelisierung



Aus Sicht der darüberliegenden Schichten ist ein logischer Kanal äquivalent einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung.

Die unteren 4 Schichten sind netzorientiert; darüberliegende Schichten anwendungsorientiert.

Die untersten 3 Schichten haben mit Hardware zu tun, darüber liegen Softwareschichten.

7.6. Netzarten

Abhängig von den Eigenschaften von Netzen unterscheidet man

- Rechnersystembusse
- Feldbereichsnetze
- Nahbereichsnetze
- Weitverkehrsnetze

7.6.1. Rechnersystembusse

Sie verbinden mit vielen parallelen Leitungen Rechner untereinander, die räumlich eng beisammenstehen.

Beispiel: VME-Bus
Reichweite: 50 cm
parallel: 32 Bit Daten, 32 Bit Adressen, Funktions- und Steuerleitungen
Insgesamt 86-poliger Stecker
Datenrate: 34 M Byte/s.

7.6.2. Feldbereichsnetze (field area network, FAN)

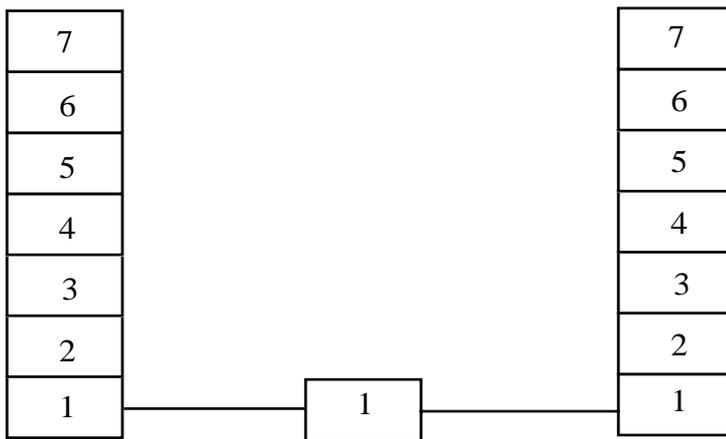
Sie verbinden in technischen Systemen Sensoren, Aktuatoren und Meßgeräte mit Rechnern und Steuerungen.

Beispiel: CAN-Bus
Anwendung in Autos; verdrehte Leitung (twisted pair)
Datenrate 20 k Bit/s - 1 M Bit/s.

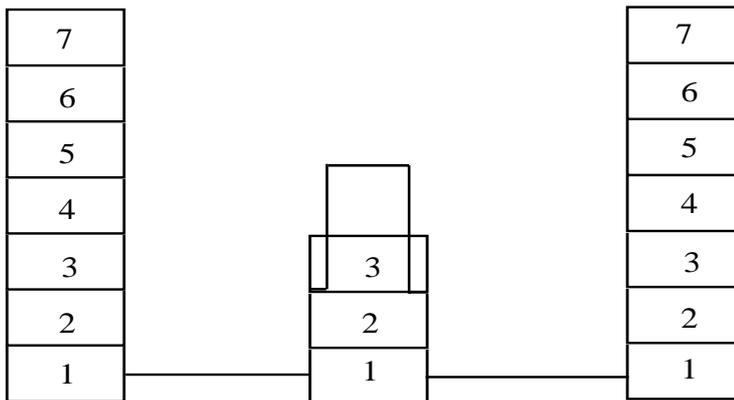
7.6.3. Nahbereichsnetze (local area network, LAN)

Träger sind Koaxialkabel, Lichtwellenleiter (ggf. auch twisted pairs). Typische Topologien sind Token Ring, Slotted Ring oder Busse, wie z. B. das Ethernet.

Die Leitungslängen (Segmente) sind recht begrenzt; will man längere Kommunikationsverbindungen haben, muß man Segmente verbinden.

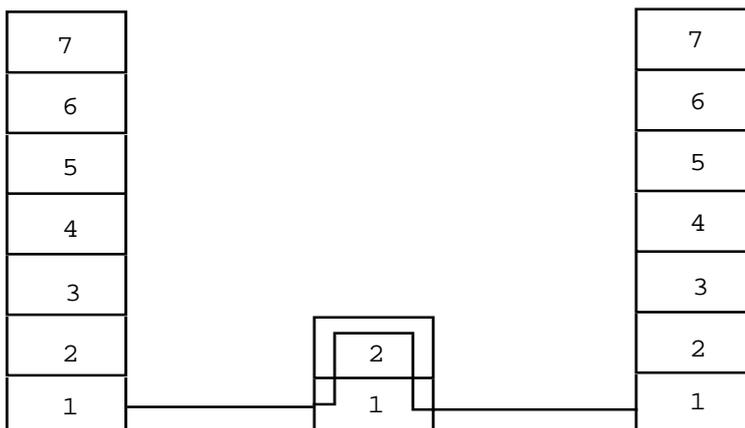


Das geschieht entweder über **Repeater**, die auf Ebene 1 die Signale verstehen, verstärken und weiterleiten

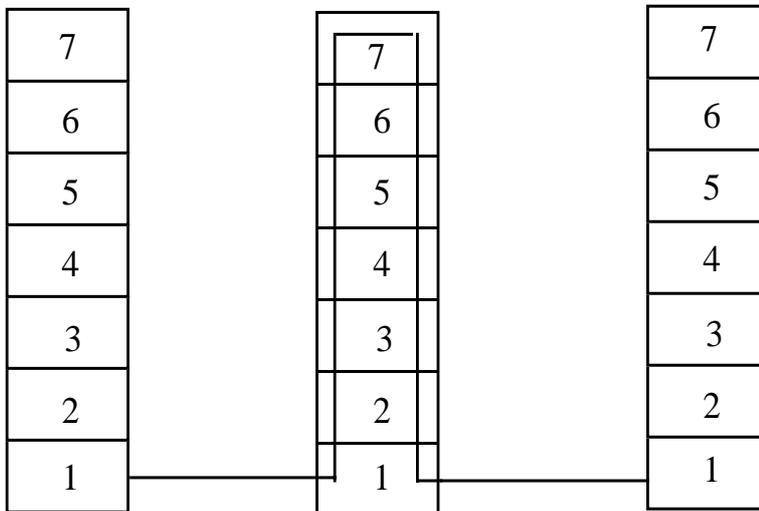


oder durch **Router**, die zusätzlich auf Ebene 3 Protokolle fahren, z. B. nur bestimmte Telegramme überhaupt durchlassen (**firewall**).

Zur Verbindung verschiedenartiger Netze unterschiedlicher Topologien miteinander braucht man eine **Bridge**, die auf Ebene 2 getrennte Zugriffsprotokolle (medium access control, MAC) unter einer gemeinsamen logischen Verbindung (logical link control, LLC) fährt.



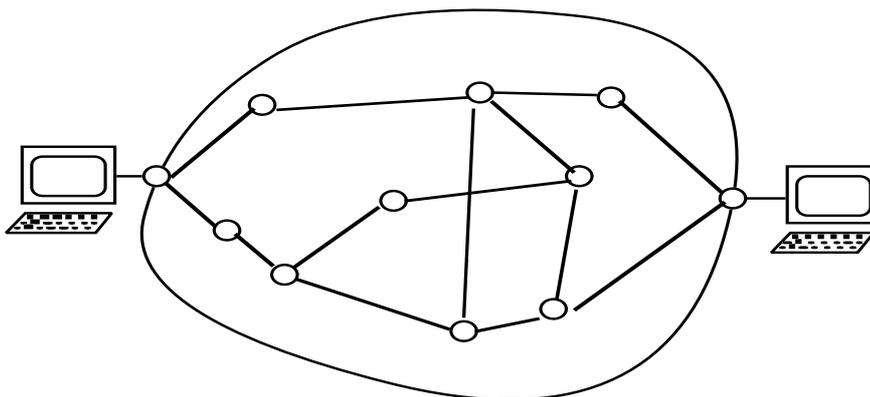
Die Verbindung von Netzen unterschiedlicher Architektur (heterogene Netze) benötigt ein **Gateway**, das alle Schichten nachbildet und die Verbindung auf Ebene 7 macht.



7.6.4. Weitverkehrsnetze (wide area network, WAN)

Sie machen weiträumige Verbindungen, aufgesetzt auf den Wählverbindungen des Telefonsystems (z. B. e-mail).

Es gibt aber inzwischen eigene Paketvermittlungssysteme, die eigene schnellere Leitungen verwenden (z. B. Internet).



In Paketvermittlungssystemen werden Datenpakete auf ggf. verschiedenen Wegen durch das Netz vom Sender zum Empfänger geschleust und müssen dort reihenfolgerichtig wieder zusammengesetzt werden.