

Telekommunikation

Sommersemester 2000

1. Literatur, ergänzende Lehrveranstaltungen

2. Allgemeine Grundlagen

- Aufgaben der Telekommunikation, Nachrichtenübertragungssysteme
- Maße für Information
- Aufgaben der Codierung
- Kriterien für den Transport von Information

3. Grundlagen der Informationsübertragung

- Informationstransport / Signalübertragung
- Analog-Digital-Umsetzung
- Quantisierung und Quantisierungsverzerrungen, nichtlineare Q.
- Modulationsverfahren
- Übertragungstechnische Anwendungen: xDSL, Powerline Communications

4. Multiplexierungsverfahren

- Informationsarten
- Raum-, Frequenz-, Zeit-, Codemultiplex
- Anwendungsbeispiele: ZMPX-Rahmen PCM30, PDH, Grundstruktur SDH, Synchronisationsverfahren

5. Vermittlungs- und Übermittlungsverfahren

- Durchschaltvermittlung
- Speichervermittlung
- Zellenvermittlung (ATM)

6. Kommunikationsprotokolle

- Schichtenmodell der ISO: OSI-Referenzmodell, Aufbau einer Kommunikationsschicht, Kommunikationsdienste, Arbeitsweise einer Instanz
- Beschreibungsverfahren für Protokolle

7. Verkehrsmodelle

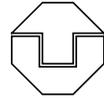
- Quellen- und Systemmodelle
- Grundfragen der Nachrichtenverkehrstheorie, Erlang-B-Formel

8. Aspekte der Realisierung von Telekommunikationsnetzen

- Topologien, Signalisierung
- Entwurfsmethoden von TK-Systemen und -Netzen
- Überlastabwehrverfahren
- Medienzugriffsverfahren
- Audio- und Videocodierung

9. Realisierte Netze und Dienste

- (Analoges) Fernsprechnet



- Integriertes Datennetz: Telex, DATEX-L, Teletex, DATEX-P
- Dienstintegrierendes digitales Netz ISDN
- Mobilfunknetze: Paging-Netze, analoge u. digitale Netze
- Breitbandverteilnetze
- B-ISDN, ATM-Netze
- IP-Netze, Internet

1 Literatur

1.1 Bücher

- BOCK90 Bocker, P.: *ISDN*. Springer-Verlag, Berlin, 2. Aufl. 1997
- CLAR92 Clark, M.P.: *Networks and Telecommunications. Design and Operation*. B.G. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1992
- FETT96 Fettweis, A.: *Elemente Nachrichtentechnischer Systeme*. B.G. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1996, ISBN 3-519-16131-1
- FISH78 Fishman, G.S.: *Principles of Discrete Event Simulation*. John Wiley & Sons, New York, 1978, ISBN 0-471-04395-8
- GEKR94 Gerdson, P.; Kröger, P.: *Kommunikationssysteme 1 & 2*. (2 Bände) Springer-Verlag, Berlin, 1994, ISBN 3-540-57004-7
- GERK91 Gerke, P.: *Digitale Kommunikationsnetze*. Springer-Verlag, Berlin, 1991
- JUWA98 Jung, V.; Warnecke, H.-J.: *Handbuch für die Telekommunikation*. Springer-Verlag, Berlin, 1998, ISBN 3-540-62631-X
- KADE91 Kaderali, F.: *Digitale Kommunikationstechnik I + II*. Vieweg-Verlag, Braunschweig, 1991, 1995
- KAMM92 Kammeyer, K.D.: *Nachrichtenübertragung*. B.G. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1992
- KLEI75 Kleinrock, L.: *Queueing Systems. Vol. 1: Theory, Vol. 2: Computer Applications*. John Wiley, New York, 1975, 1976
- RAWA97 Rathgeb, E.; Wallmeier, E.: *ATM - Infrastruktur für die Hochleistungskommunikation*. Springer-Verlag, 1997, ISBN 3-540-60370-0
- SIEM90 NN: *Digitale Nachrichtenübertragung. Teil 2: Crossconnect- und Multiplextechnik*. Siemens AG, München, 1990, ISBN 3-8009-1555-3
- SOHL90 Sohl, J.: *Meßtechnik für synchrone Übertragungssysteme*. Taschenlexikon, Wandel & Goltermann, Eningen, 10.90
- WÖHL90 Wöhlbier, G. (Hrsg.): *Planung von Telekommunikationsnetzen, Bd.1+2*. R.v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1990

1.2 Aufsätze und Web-Adressen

- ALLM92 Allmis, S.; et al.: *Das Konzept Synchrones Netz, Teil 1 & 2*. Der Fernmeldeingenieur, Bd. 46, Hefte 2 + 5, 1992. Verlag für Wissenschaft und Leben, G. Heidecker, Erlangen
- BLMA00 Bluschke, A.; Matthews, M.: *xDSL Netzzugangs- und Übertragungssysteme*. Teleconnect GmbH, Dresden, ständig aktualisierte Unterlagen unter
<http://www.teleconnect.de/publication/xDSL.htm>
- HLMÜ95 Hlavac, W.; Müller, W.: *Das Zeichengabesystem Nr. 7 im ISDN der Deutschen Telekom*. Unterrichtsblätter der Deutschen Telekom, Postfach 301990, Hamburg, 48:5, 290-303, 1995
- ITG97 *Begriffe zur Nachrichtenverkehrstheorie*. ITG-Empfehlung 5.2-03, Stand: 10.97, Text unter

- http://www.comnets.uni-bremen.de/~itg/FG521/home_ger.html (Einstieg über www.vde.de)
- MUPO96 Murkisch, A.; Pohl, M.: *D1 - Das Mobilfunknetz der Deutschen Telekom*. Unterrichtsblätter der Deutschen Telekom, Postfach 301990, Hamburg, 9:6, 288-297, 1996
- ORPO99 Orth, B.; Pollakowski, M.: *ADSL - zukunftssträngige Übertragungstechnologie*. Unterrichtsblätter der Deutschen Telekom, Postfach 301990, Hamburg, 52:5, 276-292, 1999
- VETT95 Vetter, R.J.: *ATM concepts, architectures, and protocols*. Commun. of the ACM 38:2, 1995, 31-38
- WELL95 Wellhausen, H.W.: *Neue Nutzungsmöglichkeiten vorhandener Kupferanschlußnetze*. ntz Bd. 48:4, 1995, 18-27, VDE-Verlag, Berlin

1.3 Ergänzende und fortführende Lehrveranstaltungen

- Gurtler, J. Vorlesungen *Statistik I und II*. (6./7. Semester)
Institut für Nachrichtentechnik, Lehrstuhl Telekommunikation,
SS 2000, WS 2000/01
- Gurtler, J. Vorlesungen *Nachrichtenverkehrstheorie I und II*. (7./8. Sem.)
Institut für Nachrichtentechnik, Lehrstuhl Telekommunikation,
WS 1999/2000, SS 2000
- Gurtler, J. Vorlesung *Übertragungstechnik*. (7. Semester)
Institut für Nachrichtentechnik, Lehrstuhl Telekommunikation,
WS 1999/2000
- Schingnitz, R., Vorlesung *Hochgeschwindigkeitsnetze I*. (7.Sem.)
Institut für Nachrichtentechnik, Lehrstuhl Telekommunikation,
WS 1999/2000,
- Begain , K. Vorlesung *High Speed Networks II*. (8. Sem.) in english
Institut für Nachrichtentechnik, Lehrstuhl Telekommunikation,
SS 2000
- Begain, K. Vorlesung *Modelling and Simulation of Telecommunication Systems*.
(7. Sem.) in english
Institut für Nachrichtentechnik, Lehrstuhl Telekommunikation,
WS 1999/2000
- Lehnert, R. Vorlesung *Planung und Optimierung von Telekommunikationsnetzen*.
(7. Sem.)
Institut für Nachrichtentechnik, Lehrstuhl Telekommunikation,
WS 1999/2000
- Schingnitz, R. Vorlesung *Diensteintegrierende Netze (ISDN)*. (7. Sem.)
Institut für Nachrichtentechnik, Lehrstuhl Telekommunikation,
WS 1999/2000

2 Allgemeine Grundlagen

2.1 Was ist Telekommunikation?

Kommunikation: Vorgang des *Informationsaustausches* von Mensch zu Mensch:

Mensch i. Allg. Erzeuger (Quelle) und Verarbeiter (Senke) der Informationen aber auch:
 Mensch <--> Maschine oder Maschine <--> Maschine

Wenn die Informationen *über räumliche Entfernungen mit technischen Systemen* transportiert werden, nennt man den Informationsaustausch **Telekommunikation**.

2.2 Nachrichtenübertragungssysteme

...sind *technische Systeme*, die dem Informationsaustausch zwischen Quelle Q und Senke S dienen.



Abb. 2-1: Übertragungstrecke eines Nachrichtenübertragungssystems

Aufgaben eines Nachrichtenübertragungssystems:

- Umwandlung der Informationen/Nachrichten in elektrische Signale
- Umformung zur Übertragung
- Steuerung der Übertragung

Quellen-Information in der Form (Nachrichtenart): Sprache, Text, Standbild, Bewegtbild, ... allg. Daten.

Nachrichten: Informationen (begrenzten Umfangs), die von einer Nachrichtenquelle zu einer Senke übermittelt werden (sollen).

Signal: Darstellung einer Nachricht durch eine (geeignete) physikalische Größe

determinierte S.: bekannter Verlauf, durch definierte Funktionen mathematisch beschreibbar

stochastische S.: zufälliger Verlauf, durch ihre Statistik beschreibbar

Ein Nachrichtensignal ist vom Wesen her ein *stochastischer Vorgang*, da die zu übertragende Information vorher nicht bekannt ist. Auch Störungen sind meist stochastischer Natur.

Information: beseitigte Unsicherheit

Informationsgehalt: auf Basis der Symbolwahrscheinlichkeit ermittelter „Neuigkeitswert“ z.B. eines Symbols (Aussage der Informationstheorie)

Informationsmenge: die beim verwendeten Code zur Codierung benötigt wird, z.B. Anzahl

der zu übertragenden Bits

Ziele bei der technischen Realisierung eines Nachrichtenübertragungssystems:

(wechselweiser) Transport von Nachrichten mit dem Ziel:
möglichst **unverfälschte Übermittlung** der Nachrichten bei
niedrigen Kosten, d.h.

gesamte Menge der Informationen unverfälscht übertragen
(hohe Transportqualität)

transportierte Informationsmenge klein halten durch hohen Informationsgehalt der Symbole

(effiziente Quellencodierung)

bei möglichst geringem technischen Aufwand

(niedrige Transportkosten)

2.3 Maße der Information

Informationsgehalt (information content) I_i des Zeichens i :

$$I_i = \text{ld} \frac{1}{p_i} = -\text{ld}(p_i)$$

mit p_i : Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Zeichens i

bei Gleichverteilung von q Zeichen gilt: $p_i = \frac{1}{q} \Rightarrow I_i = \text{ld}(q)$

Informationsgehalt einer Nachricht der Länge N Zeichen (wenn für jedes Zeichen die obige Bedingung gilt):

$$I_N = \sum I_i$$

Entropie:¹

Mittlerer Informationsgehalt (average information content, entropy) einer Nachrichtenquelle:

Erwartungswert (Mittelwert) des Informationsgehalts der einzelnen Ereignisse (Zeichenwerte)

$$H = \sum_{i=1}^q p_i \cdot I_i = - \sum_{i=1}^q p_i \cdot \text{ld}(p_i)$$

für eine binäre Quelle mit $P(0) = p_0$, $P(1) = 1-p_0$ ergibt sich die binäre Entropiefunktion H_b :

1. aber auch „mittlere Unsicherheit über den Ausgang eines Ereignisses“ sowie „die Zufälligkeit eines Ereignisses“

$$H_b(p_0) = -p_0 \cdot \text{ld}(p_0) - (1 - p_0) \cdot \text{ld}(1 - p_0)$$

s. Abb. 2-2:

Sie hat ihren Maximalwert bei $p_0 = 0.5$ mit $H_{\max} = 1$ Bit

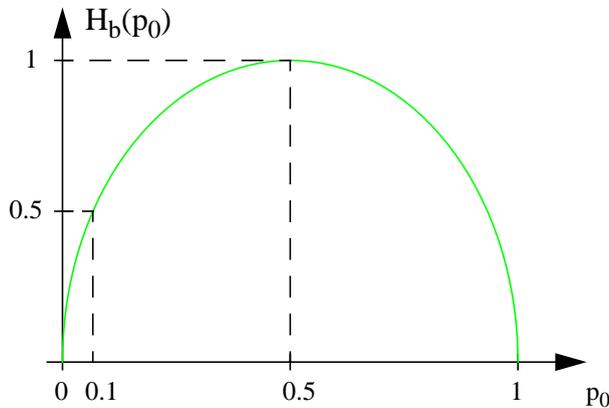


Abb. 2-2: Binäre Entropiefunktion

somit maximale Entropie bei Gleichverteilung von q verschiedenen Zeichenwerten (Zuständen)

$$H_{\max} = I_i = \text{ld}(q)$$

Der *Entscheidungsgehalt* (decision content) von q einander ausschließenden Zuständen ist¹:

$$H_0 = \text{ld}(q)$$

Redundanz: $R = H_0 - H$

Informationsmenge:

Bei der Codierung mit fester Codewortlänge gilt: Für die Codierung von q Zuständen (Zeichenanzahl) werden n Bits benötigt (n integer). Damit sind q_0 Zustände codierbar.

$$q \leq q_0 = 2^n$$

Oder auch Quellencodierungstheorem:

Für eine diskrete, statistisch unabhängige Quelle, die Zufallszeichen x mit den Realisierungen x_i erzeugt, ist es für die Rekonstruktion der Zeichenfolge notwendig und hinreichend, $H(x)$ bit pro Zeichen zur Codierung zu verwenden.

2.4 Codierungsverfahren

Code: Vorschrift für eine *eindeutige* Zuordnung der Elemente eines Zeichenvorrats zu den Elementen eines anderen Zeichenvorrats

1. da man bei Unkenntnis der Zustandswahrscheinlichkeiten von einer Gleichverteilung ausgeht

Quellencodierung:

Ziel: Nachrichtenfluss zwischen Quelle und Senke (bei bestimmter Qualität) klein zu halten!
 Inhalt: Reduktion von Redundanz und Irrelevanz
 Methode: Irrelevanzverminderung (irreversibel) z.B. durch *Quantisierung*:
 Redundanzreduktion (reversibel)
 z.B. durch kurze Codewortlänge für häufige Symbole (Morse-Code)
 allg.: Huffman-Codierung für Quellen, deren Statistik bekannt ist,
 sonst: Lempel-Ziv-Codierung für Quellen mit unbekannter Statistik

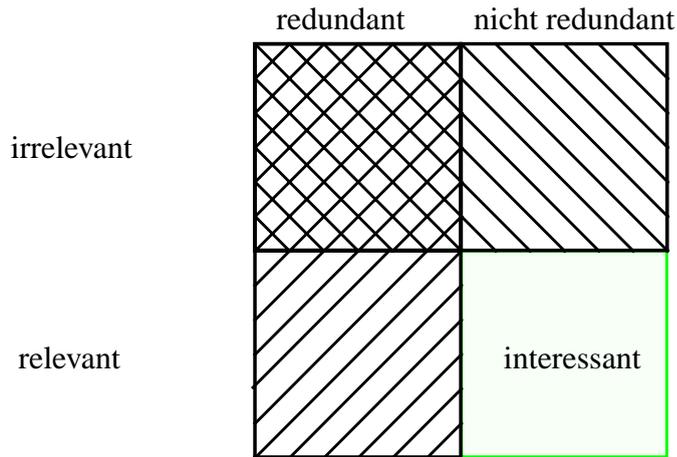


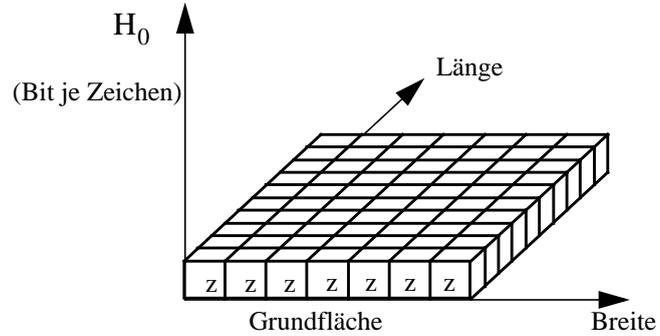
Abb. 2-3: Einteilung des Nachrichtenraums

"stehende" Information

z



$$H_0 = n = \text{ld}(q)$$


Informationsmenge I

$$I = m \cdot H_0 = m \cdot \text{ld}(q)$$

 H_0 ... Entscheidungsgehalt eines Zeichens

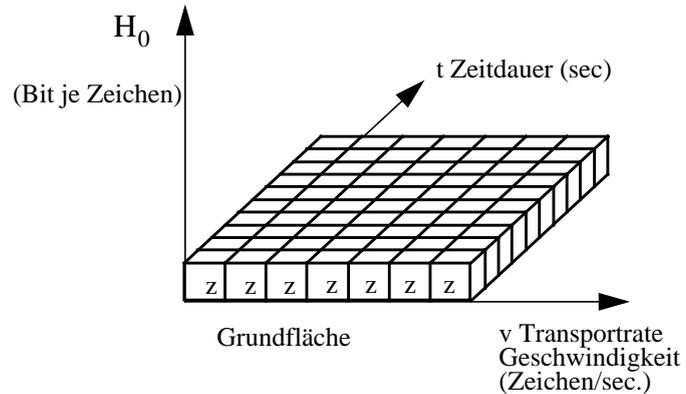
 m ... Anzahl der Zeichen (auf der Fläche)

"transportierte" Information

z



$$H_0 = n = \text{ld}(q)$$


Informationsmenge I

$$I = v \cdot t \cdot H_0 = v \cdot t \cdot \text{ld}(q)$$

 v ... Transportrate (Zeichen/sec.)

 t ... Zeitdauer (z.B. des Senders)

Informationsfluß $\Phi(t)$

$$\Phi = \frac{I}{t} = v \cdot n \text{ (bit/sec)}$$

Abb. 2-4: Informationsmenge, Informationsfluss bei stehender und transportierter Information (auch Übertragungsrate, Übertragungsgeschwindigkeit, Bitrate, Bitfolgefrequenz einer Quelle oder eines Kanals)

2.5 Informationsübertragung

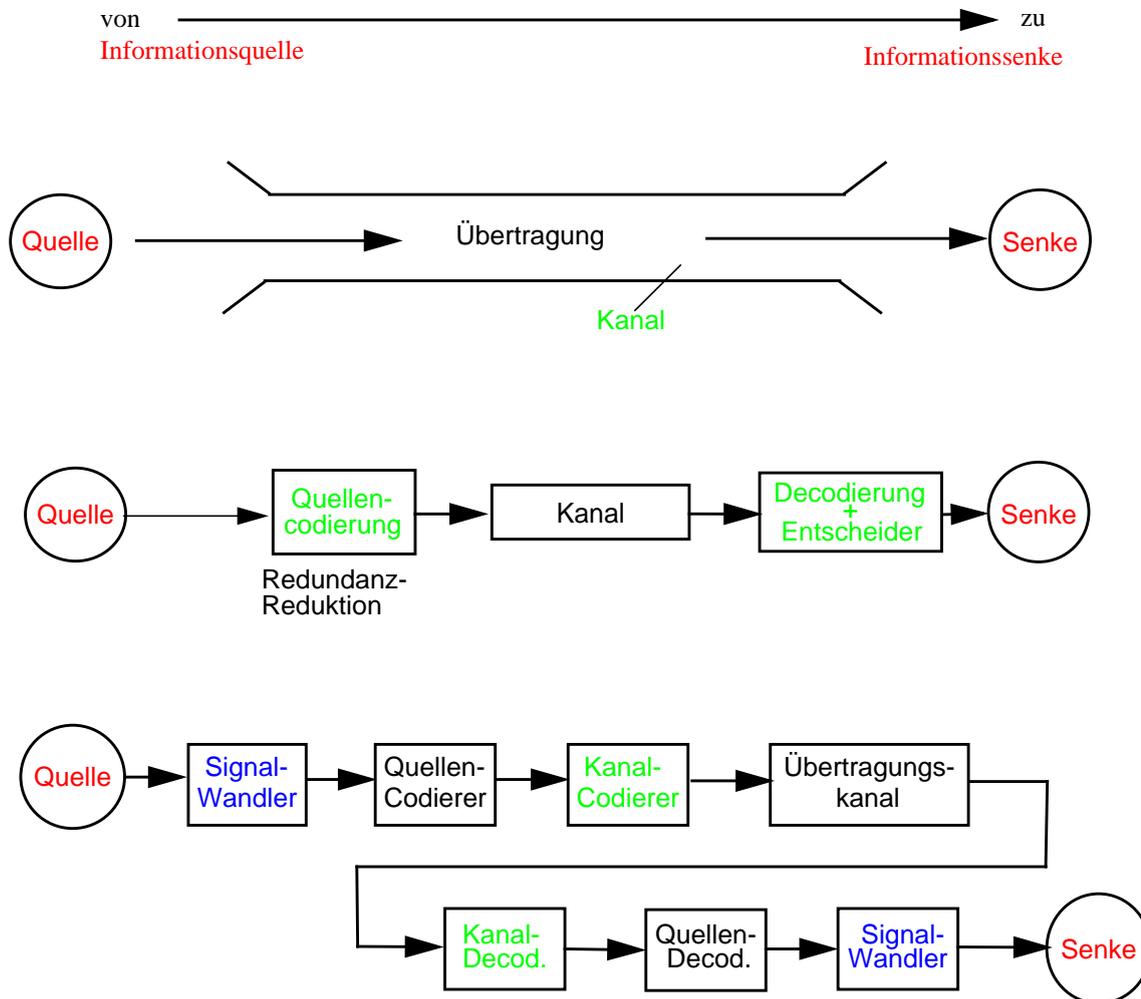


Abb. 2-5: Modellierung eines Nachrichtenübertragungssystems

Aufgaben eines Übertragungssystems

- Signalumformung in den Wandlern (z.B. akustisch → elektrisch)
- ggfs. Analog-Digital-Umsetzung/Digital-Analog-Umsetzung im Quellencodierer/-decodierer
- Redundanz- und Irrelevanzreduktion
- Signalanpassung an die Übertragungseigenschaften des Kanals im Kanalcodierer (Leitungscodierung, Modulation, Störunterdrückung)
- Fehlerkorrektur (Einführen von Redundanz)
- Taktübertragung und Taktrückgewinnung im Kanalcodierer/-decodierer (bei digitaler Übertragung)

2.6 Kriterien für den Transport von Information

Transportgut:	Informationen \Rightarrow Symbole, Zeichen mit oder ohne Einschränkungen „ <i>Bit-Transparenz</i> “
Transportmenge:	Anzahl der Zeichen „ <i>Informationsmenge</i> “ (Einheit: Bit)
Transportzeit:	Summe aus ... <ul style="list-style-type: none"> - Laufzeit (abhängig von Entfernung und Medium) - Bearbeitungszeiten - Zwischenspeicherzeiten (Wartezeiten) \Rightarrow konstante oder variable Verzögerung „ <i>Echtzeitfähigkeit</i> “ einer Kommunikation wird bestimmt durch die Ende-zu-Ende-Laufzeit in Hin- und Rückrichtung, sog. „ <i>Round-Trip-Delay</i> “

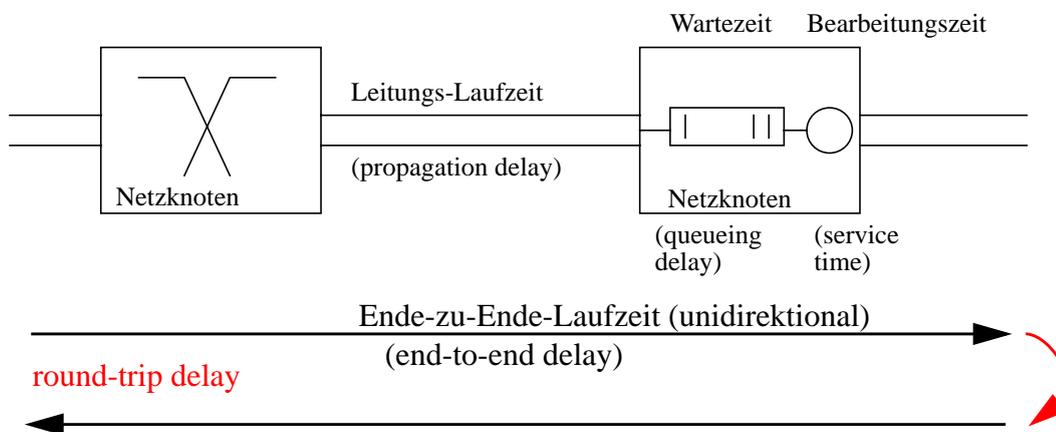


Abb. 2-6: Transportzeit-Anteile in einem Kommunikationsnetz

Transportrate:	absetzbare Informationsmenge pro Zeiteinheit „ <i>Informationsfluss</i> “ (z.B. Bitrate)
Transporte ...	einmalig, wiederholt oder fortlaufend
Transportmenge ...	variabel oder konstant \Rightarrow Bitrate <i>konstant</i> oder <i>variabel</i>
bei variabler Bitrate:	Verhältnis max. Bitrate zu mittlerer Bitrate \Rightarrow „ <i>Burstiness</i> “
Transportqualität:	Fehlerfreiheit, d.h. je nach Dienst „ <i>Bitfehlerrate</i> “, „ <i>Verständlichkeit</i> “, „ <i>Klangtreue</i> “, „ <i>Natürlichkeit</i> “
Qualitätssicherung:	Fehlererkennung, Fehlerbeseitigung <ul style="list-style-type: none"> - „<i>Redundanz</i>“ (vgl. Kanalcodierung) - „<i>Wiederholung der Übertragung von (Teil-)Nachrichten</i>“ - „<i>Verpacken der Information zur gesicherten Übertragung</i>“ allg.: Vorwärtsfehlerkorrektur vs. Rückwärtsfehlerkorrektur
Transportkosten:	Preis-/Leistungsverhältnis des Transportsystems - (Herstellung, Installation, Betrieb, Wartung) Kosten für Nutzer: <i>zeit-, mengen-, entfernungs- und/oder qualitätsabhängig</i>

2.7 Informationsgehalt auf dem Transportweg

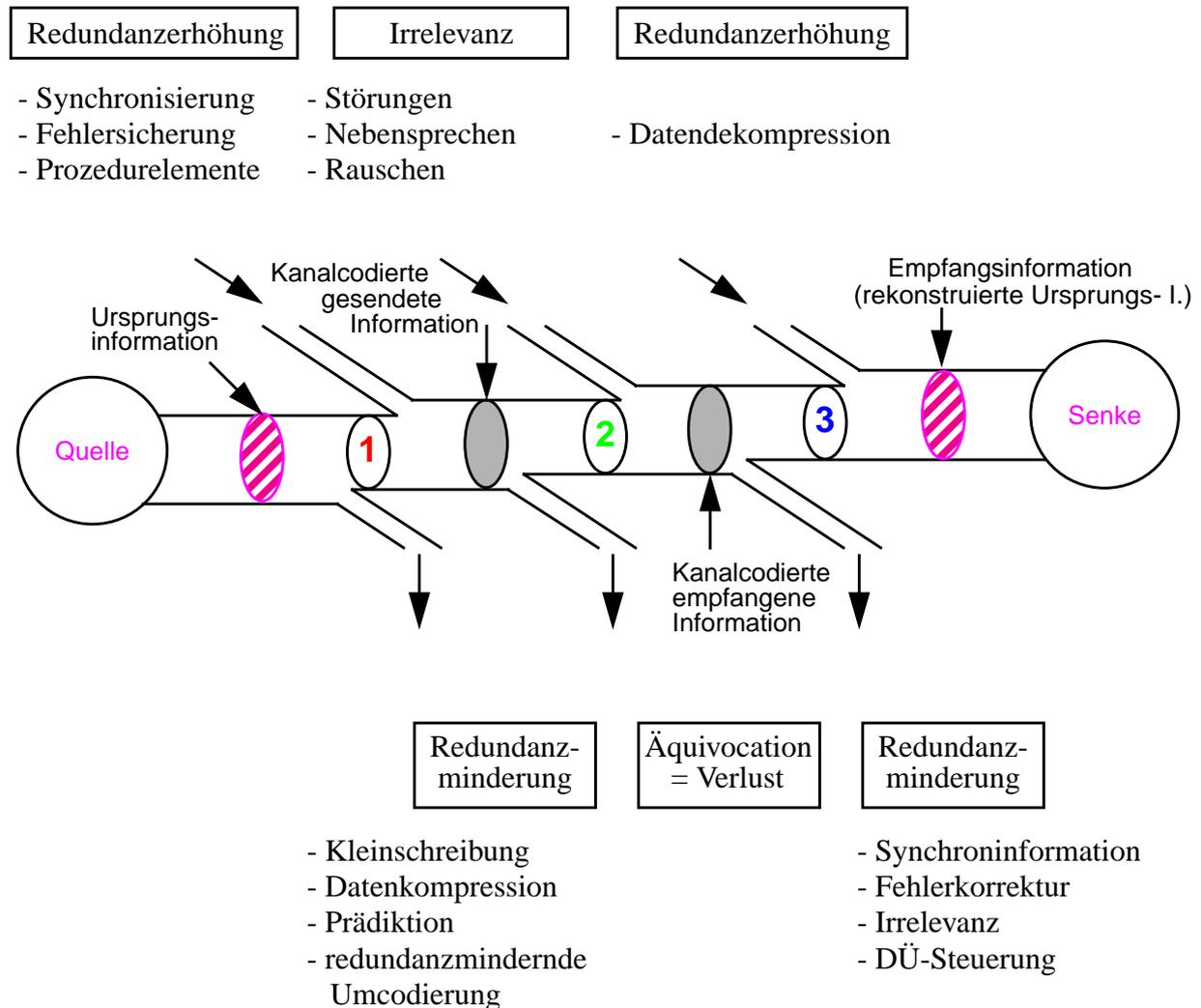


Abb. 2-7: Informationsgehalt einer Nachricht auf dem Transportweg

- 1 Quellencodierte Information
- 2 Transinformation (Information auf dem Transportweg)
- 3 Quellencodierte empfangene Information

Redundanz**erhöhung** durch

- Fehlersicherung,
- Synchronisierinformation,
- Steuerinformation,
- Dekompression.

Redundanz**minderung** durch

- Kompression,
- geeignete Codierung,
- Entfernen von Steuerinformation.

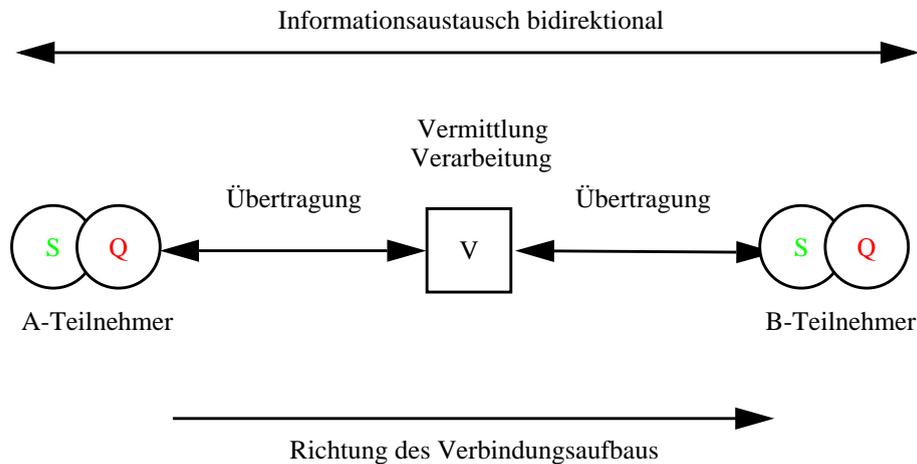


Abb. 2-8: Vermittelter Informationstransport in verbindungsorientierten Diensten

Während ein Informationsaustausch häufig bidirektional (duplex, bzw. halb-duplex in Dialog-Kommunikation) erfolgt, wird ein Verbindungsaufbau i. Allg. von einem Kommunikationspartner initiiert. Der Initiator in verbindungsorientierten Diensten wird „A-Tln“, der gerufene Teilnehmer „B-Tln“ genannt. Auch der Verbindungsabbau wird von einem Partner eingeleitet (derjenige, der zuerst „auflegt“).

2.8 TK-Dienste und Güteparameter

Dienst: Standardisierte Kommunikationsleistung eines Netzes für die Benutzer.

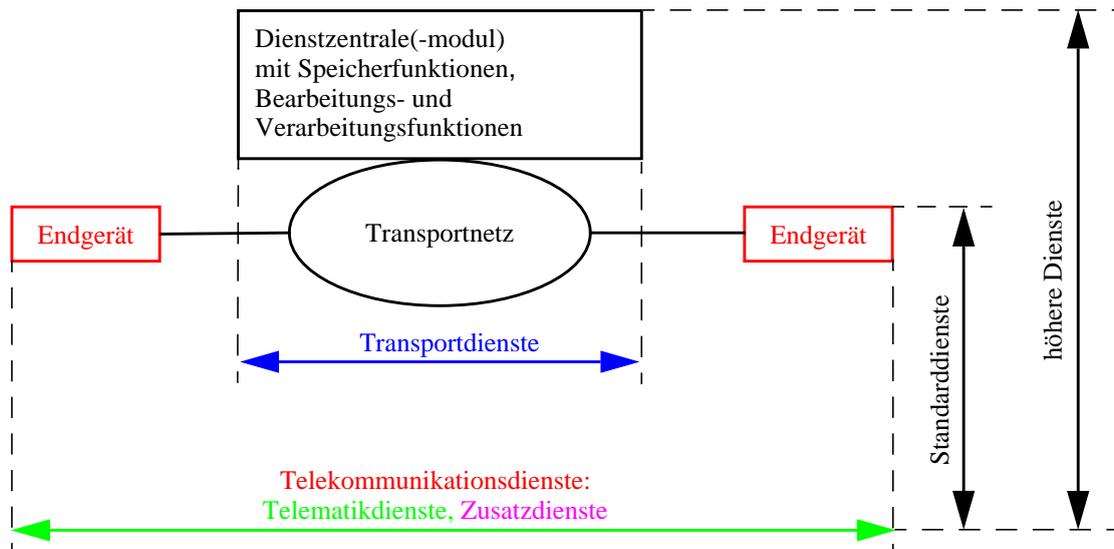


Abb. 2-9: Dienste (services) in einem TK-Netz

Beispiele: **Transportdienste (Bearer Services):** bereitgestellt durch ISDN, Ethernet, ATM, ...

Telekommunikationsdienste bestehend aus:

Telematikdienste (Teleservices): Telefonie, www-Zugriff

Zusatzdienste (Supplementary Services): Rufumleitung, Rückruf bei Besetzt, Anzeige Caller ID, ...

Standardisiert, d.h. Vereinbarung über mechanische, elektrische, funktionale (Protokoll) Schnittstelle

Güteparameter: Festschreibung (Garantie) von Mindesteigenschaften

Unterschiedliche Sichtweisen¹:

1. **Quality of Service (QoS, Dienstgüte)** Gesamtheit der Qualitätsmerkmale eines Kommunikationsdienstes aus der Sicht der Benutzer dieses Dienstes. (Eigenschaft aus der Sicht des Netzbenutzers)
Beispiele: Transferzeit, Durchsatz, Verfügbarkeit
2. **Network Performance (NP, Netzgüte)** Fähigkeit des Kommunikationsnetzes bzw. von Teilen des Netzes, die Kommunikationsaufgaben zu erfüllen. (Eigenschaft aus der Sicht des Netzbetreibers)
Beispiele: (mittlere) globale Transferzeit, Gesamtverfügbarkeit
3. **Grade of Service (GoS, Verkehrsgüte)** Teil des QoS, der von der Bemessung der Netzbetriebsmittel (z.B. Bündelstärken) abhängt.
Beispiel: Netzblockierwahrscheinlichkeit

Die Güteparameter sind i.Allg. Zufallsgrößen, daher werden meist Momente (z.B. Erwartungswert) bzw. Quantile angegeben.

1. s. ITG97, aber uneinheitliche Begriffswelt in der Literatur

3 Grundlagen der Informationsübertragung

3.1 Informationstransport

Nachrichtenübertragung

- Informationen, Nachrichten sind an physikalische Träger gebunden (phys. Leitungen oder auch Funkkanäle). Beim Informations- bzw. Nachrichtentransport wird der **Träger mit aufgeprägter Information** transportiert.
- In der **elektrischen (optischen)** Nachrichtentechnik dient **Elektrizität (Licht)**, also ein physikalisches Signal, als Träger.
- **Signalübertragung:** Einzelne oder mehrere Signalparameter sind Informationsträger.
- Signale dürfen bei der Übertragung nicht so stark verfälscht werden, dass die **aufgeprägte Information** verändert wird.

Zielstellung Signalübertragung

- Optimale Übertragung durch **Modulation, Codierung** und **Filterung** (der informations-tragenden Parameter) der Signale ohne Informationsänderung
- Basisbandsignale (Originalsignale im Zeitbereich) werden dabei z.B. ...
 - modulierte Trägersignale (Basisbandsignale werden auf höhere Frequenz aufmoduliert)
 - Multiplexsignale (Übertragung mehrerer Signale über denselben Kanal) \Rightarrow Frequenz-, Zeit-, Code-Multiplex
 - Differenzsignale (nur die Differenz zum vorhergehenden Signalwert wird transportiert \Rightarrow (Redundanzreduktion): Delta-Modulation, Differenz-Pulscodemodulation)

Signale ...

... sind **Zeitfunktionen** mit Wertebereich (Amplitudenbereich, Frequenz, Phase);

... haben **Dynamikbereich** (Wertevariationsbereich) mit großem Einfluss auf die Qualität;

Zeit- und Wertebereich:	kontinuierlich	analoge Signale
	diskret	digitale Signale
	analoge Signale	großer Dynamikbereich(z.B. 60 dB)
	digitale Signale	kleiner Dynamikbereich (aber meist großer Frequenzumfang)

... haben **Frequenzspektrum** Frequenzgemisch mit Zufallscharakter;
(Ausdehnung bei einer Nachrichtenquelle: „Basisband“)

... sind **Zufallsfunktionen** d.h. stochastische Signale mit Wahrscheinlichkeitsverteilung und Korrelation.

Zeit Wert	zeitkontinuierlich (zk)	zeitdiskret (zd)
wert- kontinuierl. (wk)	analoges Signal	abgetastetes Signal
wert- diskret (wd)	quantisiertes Signal	digitales Signal

→ **Abtastung** **Quantisierung** ↓

Abb. 3-1: Klassifizierung von Zeitsignalen

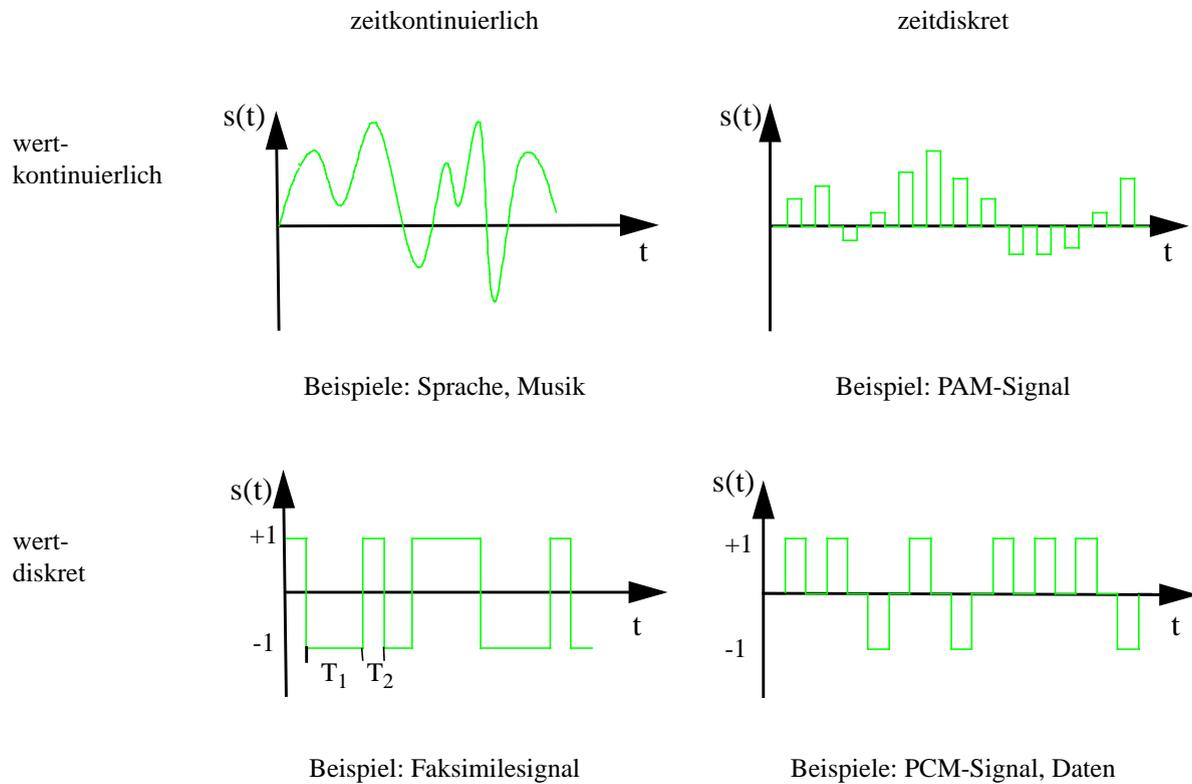
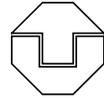


Abb. 3-2: Beispiele für Zeitfunktionen



Kommunikationsdienst	Form der Nachricht	Art des Quellensignals
Telefonie	gesprochenes Wort	zkwk ^a
Telegrafie, Textübertragung	gedruckte Zeichen	zkwd (zdwd)
Rundfunk	Klangübertragung	zkwk
Facsimile	Standbild	zkwd
Fernsehen	Bewegtbild	zkwk
Datenübertragung	(codierte) Zeichen	zdwd
GSM-Mobilfunk	Sprache	zkwk (nach Sprachcodierung: zdwd)

Tab. 3-1: Quellenarten und Zeitsignale verschiedener Kommunikationsdienste

a. zeitkontinuierlich, wertkontinuierlich

Zeitrelationen digitaler (mindestens zeitdiskreter) Signale

isochron	Ein Signal ist	anisochron
Signalfanken im festen Takt folgen, d.h. auch Signalelemente haben feste Länge (Frequenz f_T angebbbar)	wenn	Signalfanken ohne festen Takt folgen <u>oder</u> Signalelemente keine feste Länge haben (auch alle analogen Signale)
Zwei Signale sind zueinander		
synchron	wenn	asynchron
beide Signale isochron sind und $f_{T1} = f_{T2}$		(mindestens) ein Signal anisochron ist <u>oder</u> beide isochron, aber $f_{T1} \neq f_{T2}$
	plesiochron	
	$f_{T1} = f_{T2} \pm \Delta f$	

3.2 Modulation und Codierung

3.2.1 Übertragungsstrecken

a) analoge Übertragung digitaler Signale mittels Modems

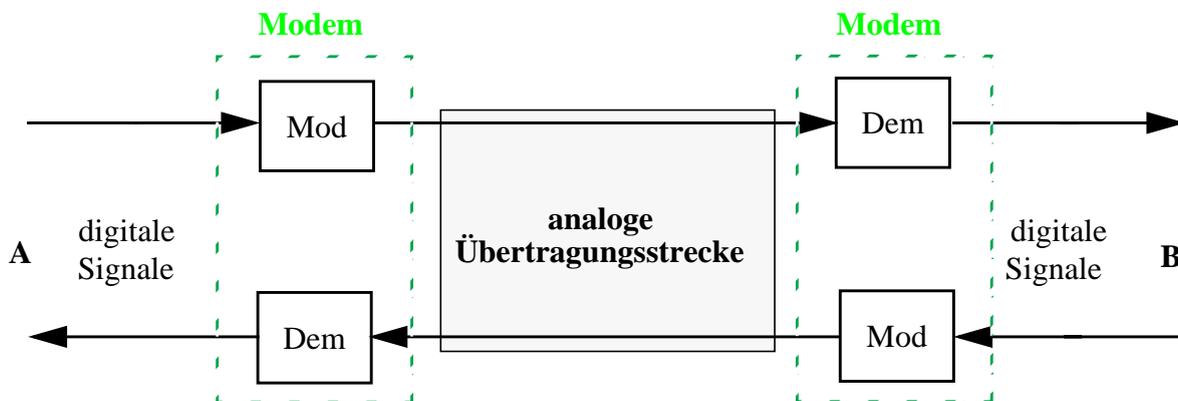


Abb. 3-3: Übertragungsstrecke mit Modems (Modulator-Demodulator)
Hauptanwendung: Datenübertragung über Telefonnetz

b) digitale Basisbandübertragung

Leitungscodierung

Ziel: Physikalische Anpassung an Übertragungsmedium durch Übertragungscode mit:

- aufwandsarmer Realisierung,
- Gleichstromfreiheit,

- hohem Taktgehalt,
- Code-Transparenz,
- effizienter Bandausnutzung,
- geringer Störimpfindlichkeit.

3.2.2 Anwendungsbeispiel: Digitale Übertragung analoger Sprachsignale

Grundprinzip

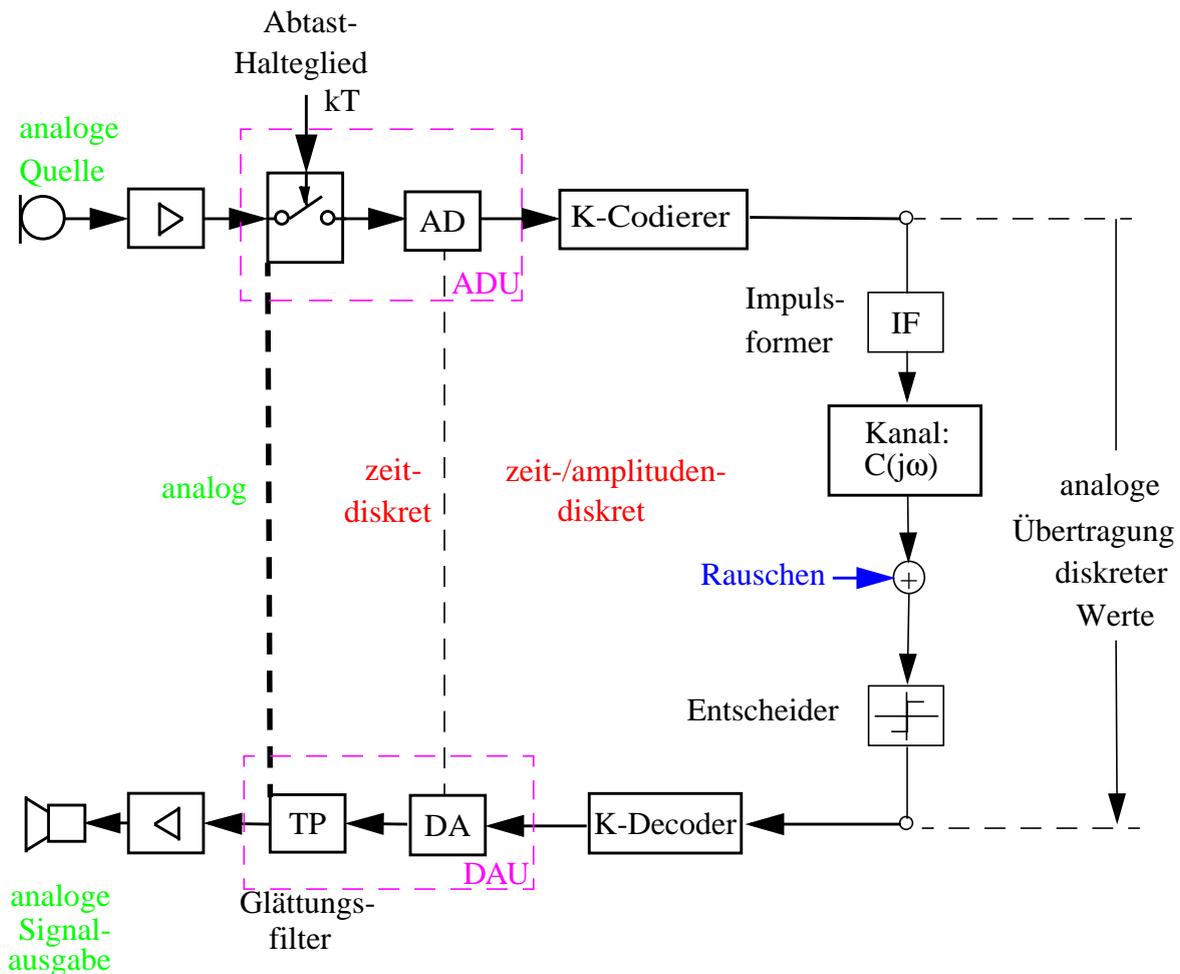


Abb. 3-4: Prinzip der digitalen Übertragung analoger Sprache (im Basisband)

Arbeitsschritte:

- Verstärkung des analogen Signals auf Referenzpegel
- getaktetes Abtast-Halteglied (Erfassung eines Momentanwerts)
- Analog-Digital-Umsetzung mit n Bit Auflösung
- Quellen- und Kanalcodierung
- Aufbereitung für den Kanal: Impulsformung

- Übertragung über den Kanal: Übertragungsfunktion $C(j\omega)$, zusätzliches Rauschen wird eingestreut
- Entscheider (Pegel-Detektor)
- Kanal- und Quellendecodierung
- Digital-Analog-Umsetzer
- Glättungsfilter (Tiefpass), um Flanken durch Abtastung zu verschleifen
- Verstärkung (Anpassung) des analogen Signals auf Ausgabepegel

3.2.3 Analog-Digital-Umsetzung (ADU)

Zweck: Umsetzung eines analogen Signals (Sprache, Video, ...) in ein digitales Signal, um dieses störungsfrei zu übertragen

Methode: PCM (Pulsmodulation)
PCM ist ein Modulationsverfahren zur digitalen Übertragung analoger Quellensignale, insbesondere Sprache (standardisiert, ITU-Empfehlung (engl. Recommendation) G.711)

Das PCM-Signal wird in drei Schritten aus dem analogen Signal erzeugt (Analog-Digital-Umsetzung):

- Abtastung ($z_k \rightarrow z_d$)
- Quantisierung ($w_k \rightarrow w_d$)
- Codierung

Beschreibung der Schritte

1. Abtastung

- Analogsignal wird durch Tiefpass Band-begrenzt (nur „Nutzfrequenzen“ im gewünschten Bereich werden weiterbearbeitet)
- Abtastung durch streng periodisches Abtastsignal der Frequenz f_a ,¹ mit $f_a \geq 2B$;
 B = Bandbreite des Analogsignals
- zeitdiskretes, Amplituden-analoges *PAM-Signal* (Puls-Amplituden-Modulation)

2. Quantisierung

Die Quantisierung bildet eine unendliche Menge analoger Signalwerte auf eine endliche Menge von Intervallen (Amplitudenstufen) ab, d.h. der Dynamikbereich des Signals wird in q Intervalle eingeteilt; die endliche Stufenzahl erfordert i. Allg. eine *Dynamikbegrenzung*.

1. Beispiel Telefonie-Sprache: $B = 3.1$ kHz (300Hz ... 3.4 kHz), $f_a = 8$ kHz, $T_a = 1/f_a = 125$ μ s

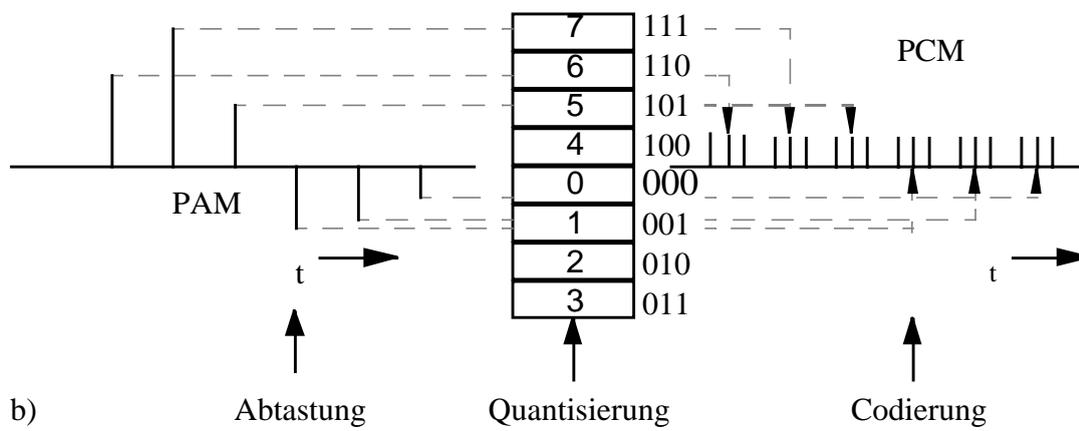
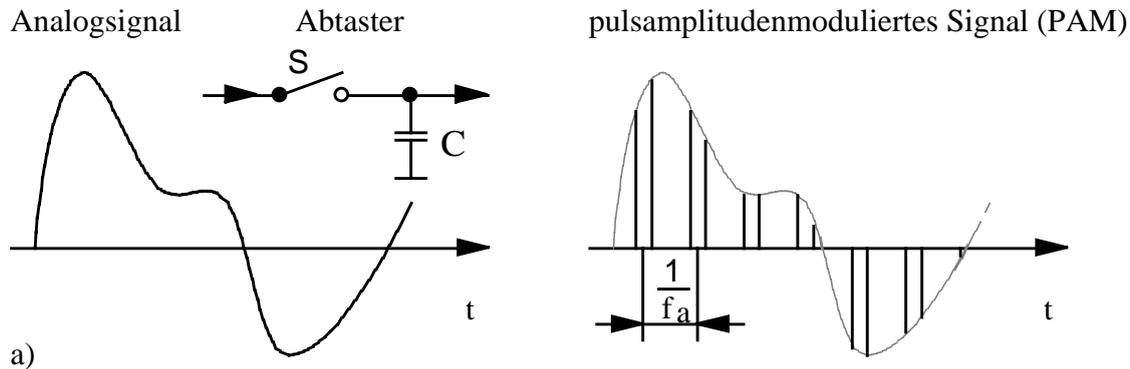


Abb. 3-5: Grundfunktionen eines Analog-Digital-Umsetzers

Quantisierungsverzerrungen sind Qualitätsverluste durch Diskretisierung (bedingt durch die Intervalleinteilung)

kleine Intervallbreiten (Stufengröße)

- verbessern die Qualität
- vergrößern die Anzahl der Intervalle ...und damit Wortlänge zur Codierung der Nummer des Intervalls.

Ziel: geringe Quantisierungsverzerrungen bei geringer Stufenzahl q
 \Rightarrow **nichtlineare Quantisierung**, d.h.

- feinere Auflösung bei geringem Signalpegel, gröber bei großen Pegeln
- Anpassung an die Empfindlichkeitskurve des Empfängers (z.B. menschliches Gehör)

3. Codierung

Durch binäre Verschlüsselung der Intervallnummer wird ein n -stelliges Codewort für $q = 2^n$ Amplitudenstufen erzeugt.

Beispiel:¹ $n = 8$, d.h. $q = 2^8 = 256$ Intervalle

1. Telefonie-Sprache

⇒ Informationsfluss φ (bzw. Übertragungsrate $r_{\ddot{u}}$ für einen Sprachkanal mit PCM) mit Abtastfrequenz $f_a = 8000$ Samples/s

(unter Verwendung des Abtasttheorems von Nyquist¹:
Abtastfrequenz größer als zweimal obere Grenzfrequenz)
hier: 3.4 kHz \bullet (≥ 2), gewählt $f_{an} = 8000$ Hz

$$r_{\ddot{u}} = f_a \cdot n$$

somit

$$r_{\ddot{u}} = 8000 \frac{\text{Samples}}{\text{s}} \cdot 8 \frac{\text{bit}}{\text{Sample}} = 64 \text{ kbit/s}$$

3.2.4 Digital-Analog-Umsetzung (DAU)

Hierzu sind zwei Schritte erforderlich:

1. PCM-PAM Umsetzung

Das Puls-Code-modulierte Binärsignal steuert die Höhe der Ausgangsimpulse. Alle Impulse haben die gleiche Breite und einen festen zeitlichen Abstand.

Damit erhalten wir ein Puls-Amplituden-moduliertes Signal (PAM), welches durch die Werte-Diskretisierung in der ADU allerdings nicht mehr exakt dem Originalsignal entspricht.

2. Tiefpaß-Filterung

Zur „Glättung“ des Signals, d.h. „Verschmelzung“ der Stufen zum Originalsignal, also zur Begrenzung auf das Basisband und Aufhebung der Abtastung, wird ein Tiefpass zur Filterung eingesetzt. Bandbreite: Basisband + Sicherheitsabstand wegen der endlichen Filtersteilheit.

3.2.5 Grundlagen zur technischen Realisierung der Verfahren ADU/DAU

a) Abtastung

Quellensignal hat

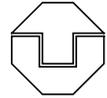
- Zeitfunktion $s(t)$
- Frequenzspektrum $S(\omega)$ bandbegrenzt, Grenzfrequenz ω_g

Abtastsignal hat

- Zeitfunktion $a(t)$ mit
- Abtastkreisfrequenz ω_a

ideal: Diracimpulsfolge $\delta(t)$, Periodendauer T

1. Harry Nyquist, Bell Laboratories, USA: Ein Signal muß mit mindestens der doppelten oberen Grenzfrequenz abgetastet werden, um beim Empfänger eindeutig reproduziert werden zu können. 1948 durch Claude Shannon bewiesen.



1. Zeitbereich:

$$a(t) = \delta(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT)$$

Ergebnis: PAM-Signal: $s_a(t)$ mit Spektrum $G(\omega)$

$$s_a(t) = s(t) \cdot a(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} s(t - nT)$$

2. Frequenzbereich:

Da die Fouriertransformierte F einer periodischen Folge von Dirac-Stößen wieder eine periodische Stoßfolge ist (mit $\omega_a = 2\pi/T$),

$$\text{und Abtastsignal-Spektrum } S_\delta(\omega) = \omega_a \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(\omega - n\omega_a)$$

folgt somit

$$\begin{aligned} G(\omega) = F\{s_a(t)\} &= \frac{1}{T} \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S(\omega - n\omega_a) \\ &= \frac{1}{T} \cdot [S(\omega) + S(\omega + \omega_a) + S(\omega - \omega_a) + S(\omega + 2\omega_a) + S(\omega - 2\omega_a) + S(\omega + 3\omega_a) + \dots] \end{aligned}$$

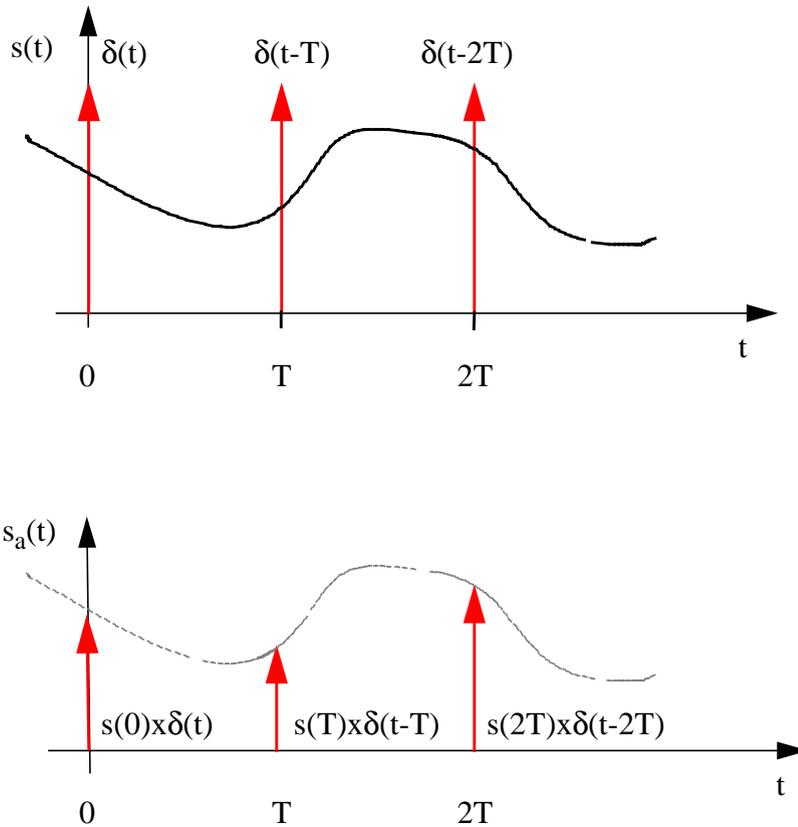


Abb. 3-6: Ausblenden einer Zeitfunktion (Abtasten)

b) Rückgewinnung Quellsignal aus PAM-Signal

... über Tiefpass mit konstantem, reellen Übertragungsfaktor möglich

mit $|\omega| \leq \omega_g$

falls $\omega_g \leq \omega_a - \omega_g$

d.h. $2\omega_g \leq \omega_a$ oder $\omega_a \geq 2\omega_g$; $\frac{1}{T} = f_a \geq 2B$ **Abtasttheorem**

Überabtastung
(Oversampling)

$f_a > 2B$ nötig - wegen endlicher Steilheit der Filter
aber:
 $f_a \gg 2B$ Verschwendung von Bandbreite bei der Übertragung

Unterabtastung

$f_a < 2B$ keine fehlerfreie Tiefpass-Funktion möglich
(vergleichbar mit fehlender Bandbegrenzung¹ des Signals)

1. Überlappungsfehler (Aliasing); Behebung durch Eingangstiefpaß vor dem ADU: „Anti-Aliasing-Filter“

Zeitbereich

Frequenzbereich

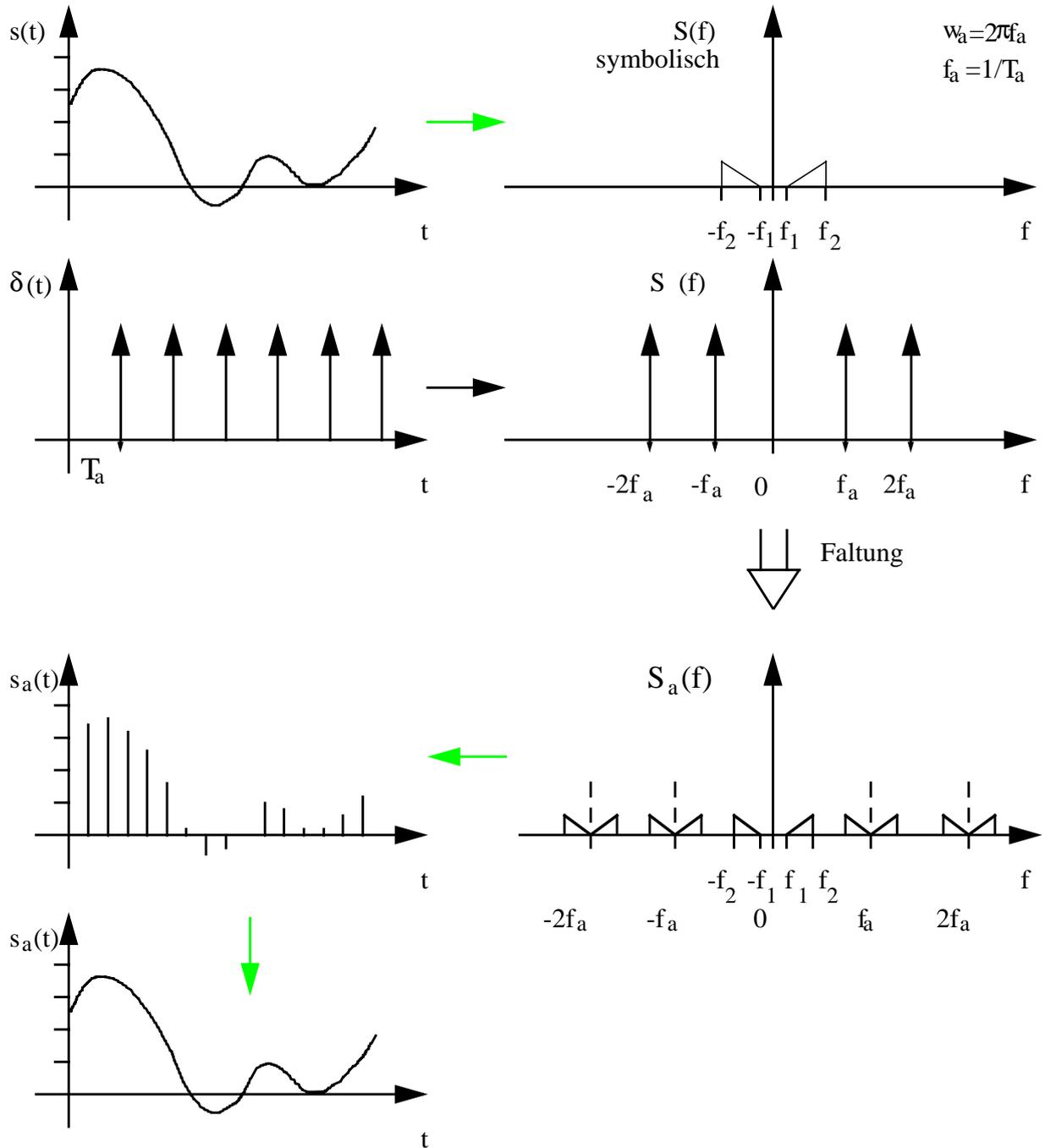
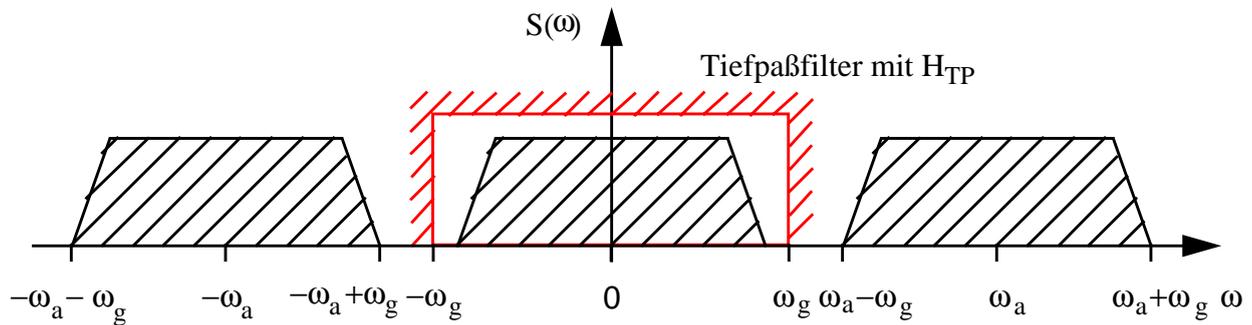


Abb. 3-7: Schritte bei der Abtastung/Decodierung



Rückgewinnung des NF-Signals $s(t)$ der Bandbreite $B = \frac{\omega_g}{2\pi}$ durch ein Tiefpaßfilter

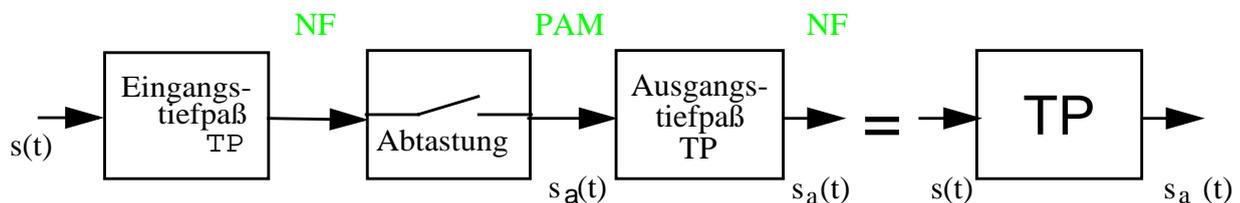


Abb. 3-8: Prinzip einer (störungsfreien) PAM-Übertragung

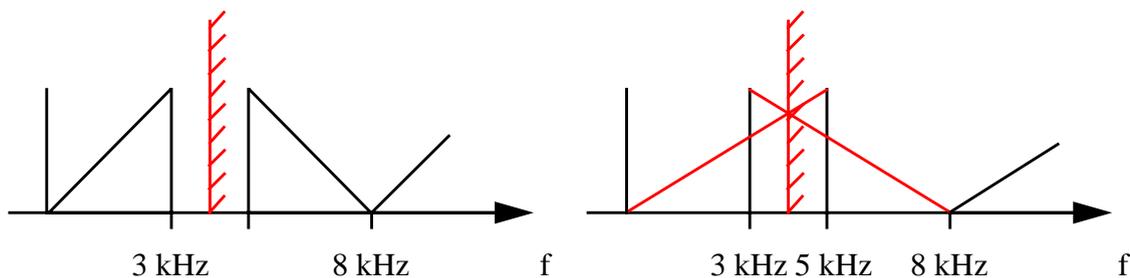


Abb. 3-9: Beispiel für „Aliasing“: Zwei einfrequente Signale mit 3 kHz bzw. 5 kHz, mit $f_a = 8$ kHz abgetastet, ergeben nach der Demodulation jeweils 3 kHz

c) Quantisierung

Prinzip: Ein unendlicher Wertebereich des Signals wird durch Begrenzung und Quantisierung auf einen abzählbar endlichen Wertebereich abgebildet.

Signal $s_x(t)$ mit begrenztem Dynamikbereich S

$$-S \leq s_x(t) \leq +S$$

wird in q Intervalle (Amplitudenstufen) unterteilt:

S : max. Amplitude, Aussteuerungsgrenze
 \Rightarrow quantisiertes Signal $s_y(t)$ mit Intervallbreiten Δs

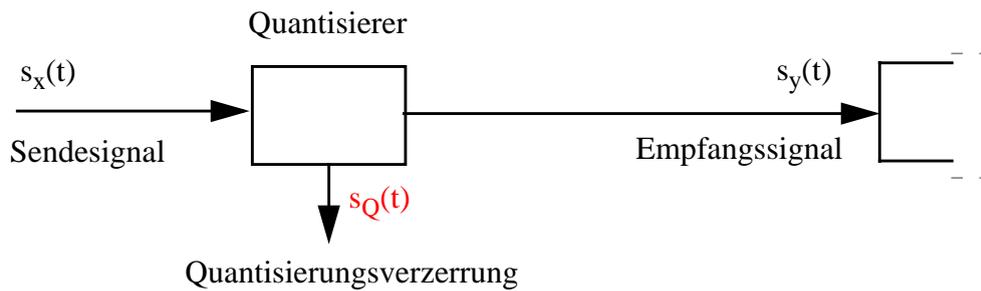


Abb. 3-10: Entstehende Signale bei der Quantisierung

Ziel: optimale Quantisierung:

minimale Verzerrungsleistung durch Berücksichtigung der Dichtefunktion (Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung) von s_x zur Festlegung von s_y ¹

Beispiel: Quantisierung auf Mittelwert je Intervall:

einfache Realisierung;

optimal bei Gleichverteilung der Werte, bzw. kleinem Δs

Anwendung z.B. bei der Telefonie

werteabhängige Quantisierungsabweichung:

$$s_Q = s_x - s_y$$

1. Zeitabhängigkeit der Funktionen $s_x(t)$, $s_y(t)$ im folgenden in der Darstellung weggelassen

1. Lineare Quantisierung

q Intervalle mit konstanter Intervallbreite $\Delta s = 2S/q$ im Aussteuerbereich $\pm S$

s_y hat die Werte: $s_y(i) = \pm \frac{\Delta s}{2} \cdot i$ mit $i = 1, 3, \dots, q$

somit Quantisierungsabweichung im Intervall i , s. Abb. 3-11.

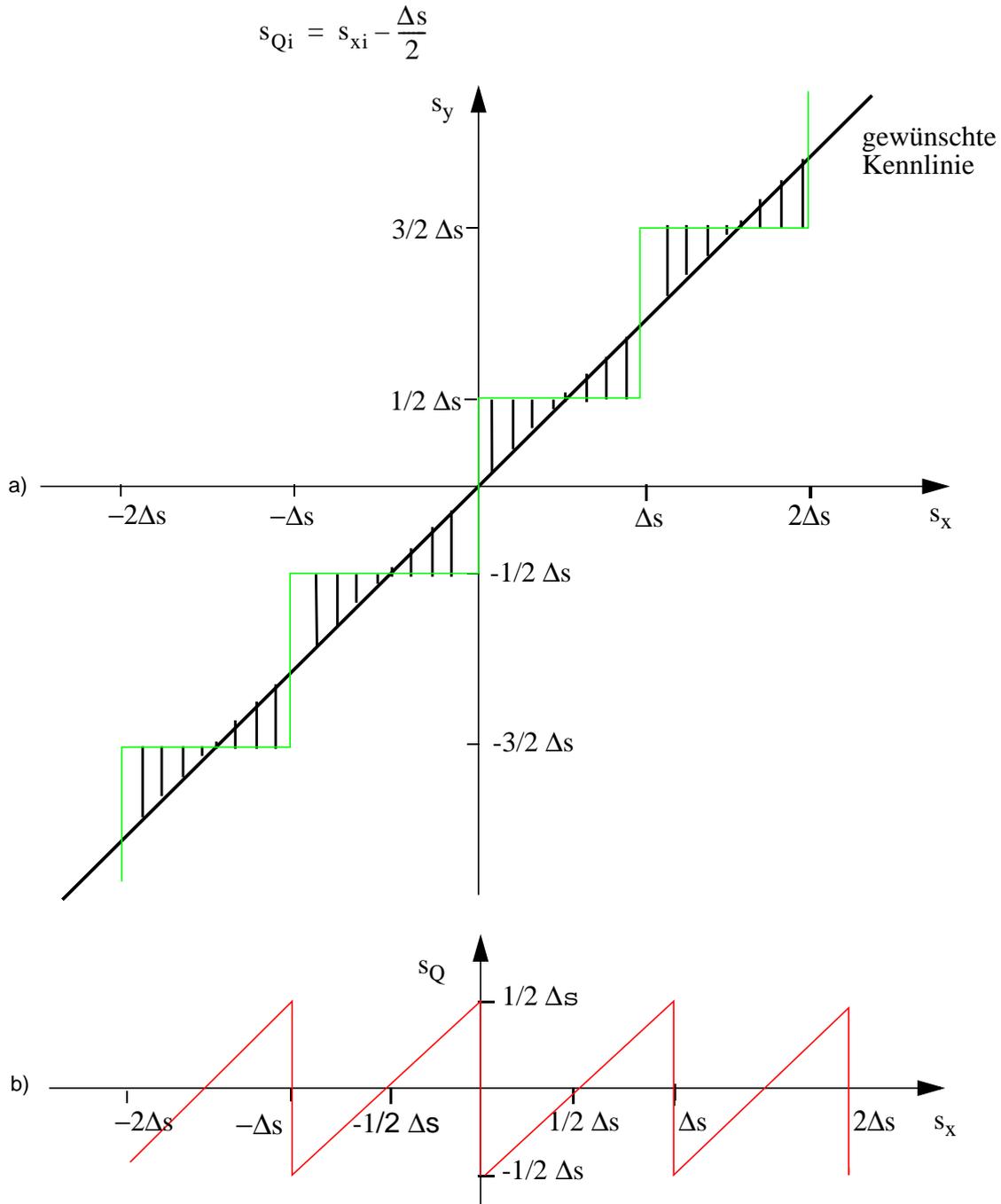


Abb. 3-11: Lineare Quantisierung

a) quantisiertes Signal $s_y = f(s_x)$

b) Quantisierungsabweichung $s_Q = f(s_x) = s_x - s_y$

Die **Quantisierungsverzerrungsleistung** P_Q (auch QD-Leistung = Quantisation-Distortion-Leistung) ist ein "griffigeres" Maß für die hörbaren Verzerrungen bei der Quantisierung.

Für die lineare Quantisierung berechnet sich die QD-Leistung in folgenden Schritten:

Annahme: $s_x(t)$ und damit $s_y(t)$, $s_Q(t)$ seien Zufallsvariable.

Für die mittlere **Leistung** einer Zufallsfunktion mit der Dichtefunktion $p(x)$ gilt:

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 p(x) dx$$

Für eine **gleichverteilte Zufallsfunktion** $p(x) = p(s_x)$ gilt (s. Abb. 3-11, ein Intervall):

$$P_Q = \int_0^{\Delta s} \left(s_x - \frac{\Delta s}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{\Delta s} ds_x = \frac{(\Delta s)^2}{12}$$

Daraus folgt: Die Quantisierungsverzerrungsleistung ist in allen Intervallen gleich groß.

Bei Gleichverteilung $p(s_x) = \frac{1}{q \cdot \Delta s}$ wird die Signalleistung P_x des Quellsignals s_x

$$P_x = \frac{1}{q \cdot \Delta s} \cdot \int_{-q \frac{\Delta s}{2}}^{q \frac{\Delta s}{2}} s_x^2 ds_x = \frac{q^2}{12} \cdot (\Delta s)^2$$

Mit $P_y = P_x - P_Q$

$$P_y = \frac{1}{12} \cdot (\Delta s)^2 \cdot (q^2 - 1) \quad \text{Mittelwert über gesamten Dynamikbereich}$$

Störabstand¹:

Definition:

$$r = 10 \cdot \log \frac{P_y}{P_Q} \approx 10 \cdot \log \frac{P_x}{P_Q}$$

somit $r = 10 \cdot \log(q^2 - 1)$; für $q \gg 1$ gilt: $r \approx 10 \cdot \log(q^2) = 20 \cdot \log q$

Das (Pegel-)Verhältnis zweier Größen wird häufig in Dezibel (dB)² angegeben. Für Leistungsverhältnisse nimmt man den Wert $10 \log_{10}(P_2/P_1)$; für Spannungsverhältnisse den Wert

1. engl.: Signal to noise ratio (abgek. S/N oder SNR)

2. B benannt nach Alexander Graham Bell

$20 \log_{10}(U_2/U_1)$. Ein Audioverstärker mit 20 dB Verstärkung entspricht also einer Spannungsverstärkung um den Faktor 10. Störabstände werden in Decibel angegeben.

Beispiele:

PCM, Telefonie	$q = 256$	$r = 48.2 \text{ dB}$
HiFi, Audio CD	$q = 65536$	$r = 96.3 \text{ dB}$

2. Nichtlineare Quantisierung

Ziel: Klirrfaktor für kleine Signalspannungswerte verringern, d.h. **Störabstand konstant halten** über den gesamten Dynamikbereich (Anpassung an die subjektive Empfindlichkeitskurve des menschlichen Gehörs)

Klirrfaktor:

Def. allgemein: $k = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_{\text{ges}}}$ (Anteil der harmonischen Oberwellen)

für quantisierte Signale: s.o. $k = \frac{P_Q}{P_y} \approx \frac{P_Q}{P_x}$

Rechenansatz für einen konstanten Störabstand r:

$$r = 10 \cdot \log \frac{P_y}{P_Q} = \text{const} \quad \text{mit } y = \frac{s_y}{S} \text{ normiert}$$

$$\Delta s \neq \text{const}, \quad \Delta s(x) = c_0 \cdot x \quad \text{mit } x = \frac{s_x}{S} \text{ normiert}$$

$$q = \text{const}, \text{ z.B. } q = 256$$

$$\sum_q \Delta s(x) = 2 = \text{const} \quad y = f(x)$$

Prinzip:

Kompander: Kompressor auf der Sendeseite und Expander auf der Empfangsseite

Kompression (Kompressor der Verstärkung)

$$v = dy/dx = v(x) = c/x$$

mit normierten Signalen x, y

$$-1 \leq x \leq +1$$

$$-1 \leq y \leq +1$$

Ergebnis:

$$y = y_0 + c \cdot \ln x$$

logarithmische Kennlinie; läuft nicht durch den Nullpunkt, deshalb dort Festlegung als Gerade: $y = mx$

Gerade tangiert beide logarithmische Kennlinienteile $\ln(Ax)$ in den

$$\text{Punkten } \pm x_0 = \pm \frac{1}{A}$$

Weitere, komplexere Kompandermechanismen (pegel- und zusätzlich frequenzabhängig) werden u.a. in der HiFi-Technik angewandt, z.B. DNR[®], Dolby-B[®], -C[®], HighCom[®], ...

A-Kennlinie¹

stetige Funktion, durch **drei Bereiche** für x beschrieben:

$$1 \quad y = -\frac{1 + \ln(A|x|)}{1 + \ln A} \quad -1 \leq x < -\frac{1}{A}$$

$$2 \quad y = \frac{Ax}{1 + \ln A} \quad \text{für} \quad -\frac{1}{A} \leq x < \frac{1}{A} \quad \text{linearer Bereich}$$

$$3 \quad y = \frac{1 + \ln(Ax)}{1 + \ln A} \quad +\frac{1}{A} \leq x \leq +1$$

Mit einem Kompressionsfaktor K , d.h. einer Steigung von $K=16$ im mittleren Bereich $|x| \leq x_0 = \frac{1}{A}$ ergibt sich eine Anhebung kleiner Eingangssignale um K .

Def.: $A = 87.56$ genau so, dass sich mit $K = \frac{A}{1 + \ln A} = 16$ ergibt.

Die A-Kennlinie ist in Europa in genäherter Form (13-Segment-Kennlinie, s.u.) gebräuchlich.

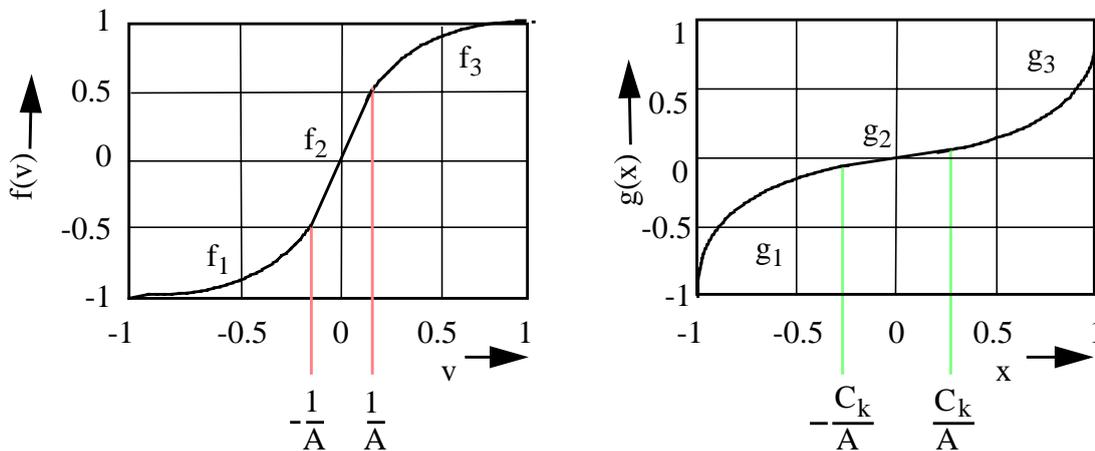


Abb. 3-12: Kompressionsfunktion $f(v)$ und Expansionsfunktion $g(x)$ der A-Kennlinie

Folgerungen aus der A-Kennlinie

QD-Leistung:

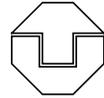
mit $q \gg 1$: $y'(x) = \frac{dy}{dx} = \frac{\Delta y}{\Delta s(x)}$ normiert, d.h. $q \cdot \Delta y = 2$

ergibt sich abhängig von der Intervallgröße im Intervall x

$$P_Q(x) = \frac{1}{12} \cdot (\Delta s(x))^2 = \frac{1}{12} \cdot \frac{(\Delta y)^2}{[y'(x)]^2} = \frac{1}{3 \cdot q^2 \cdot [y'(x)]^2}$$

damit ergibt sich der Störabstand r

1. standardisiert in ITU recommendation G.711



... im linearen Bereich (Bereich 2: $y' = K$)

$$P_Q(x) = \frac{1}{3 \cdot q^2 \cdot K^2}$$

mit $P_x = x^2$

somit $\frac{P_x}{P_Q} = 3q^2 \cdot K^2 \cdot x^2$

folgt $r_2 = 10 \cdot \log \frac{P_x}{P_Q} = 10 \cdot \log(3q^2 \cdot K^2 \cdot x^2) = 20 \log(\sqrt{3} \cdot q \cdot x) + 20 \cdot \log K$

\Rightarrow Kompondergewinn $R_K = 20 \cdot \log K = 20 \log 16 = 20 \cdot 1.2 = 24 \text{ dB}$

... im logarithmischen Bereich (1&3)

$$y' = \frac{1}{1 + \ln A} \cdot \frac{A}{Ax} = \frac{K}{Ax}$$

$$P_Q(x) = \frac{A^2 \cdot x^2}{3q^2 \cdot K^2}$$

mit $P_x = x^2$

folgt $r_{1,3} = 20 \log \left(\frac{\sqrt{3} \cdot q \cdot K}{A} \right) = \text{const} = 38, 2 \text{ dB}$ $q = 256, A = 87, 56$

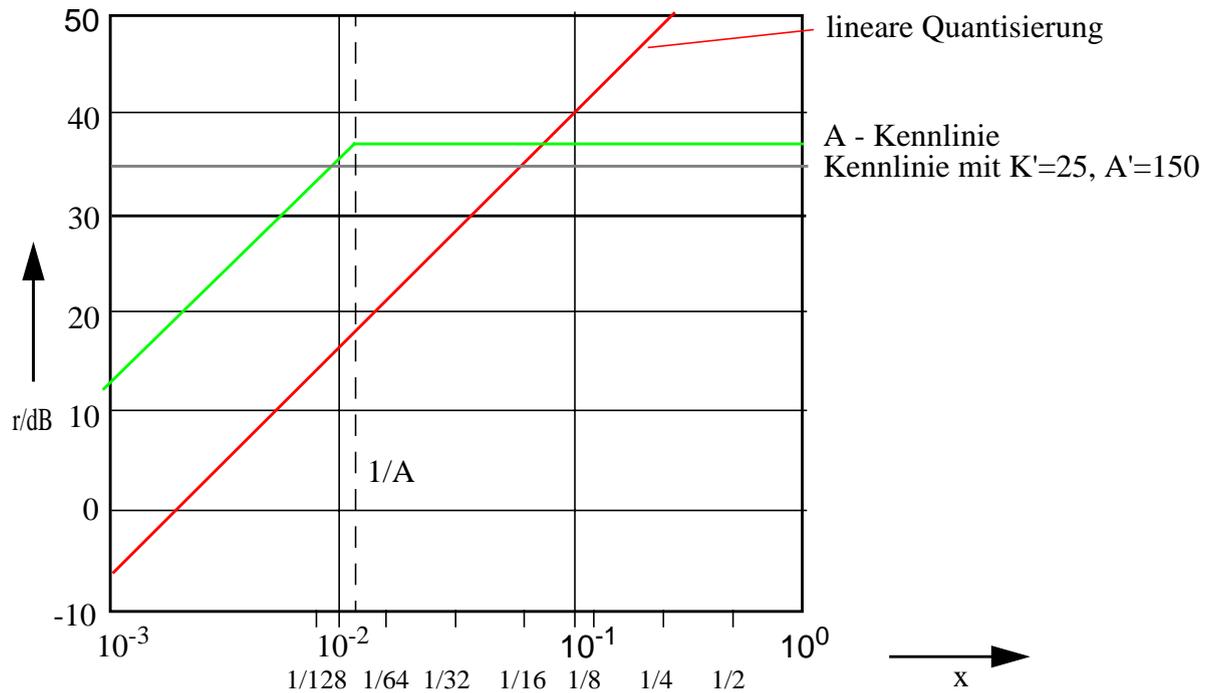


Abb. 3-13: A-Kennlinie: Störabstand r als Funktion des normierten Signalwerts x

13-Segment-Kennlinie¹

Die A-Kennlinie steigt mit Verdopplung der x -Werte (für $|x| \geq \frac{1}{A}$) jeweils nur noch halb so schnell an; technisch schwierig ist jedoch die Realisierung dieser nichtlinearen, stetigen Kennlinie. Daher:

Technischer Kompromiss

Unterteilung des normierten Wertebereichs $-1 \leq y \leq +1$ in 13 Geradenstücke (Segmente): Segment I ... VII je nach Polarität.

Segment I1	aus A-Kennlinie übernommenes Geradenstück durch Nullpunkt
	$0 \leq x < 1/128$ mit Steigung $y' = K = 16$
Segment I2	Verlängerung des Geradenstücks I1
	$1/128 \leq x < 1/64$ mit Steigung $y' = K = 16$
Segment II	$1/64 \leq x < 1/32$ mit Steigung $y' = K/2 = 8$
Segment III	$1/32 \leq x < 1/16$ mit Steigung $y' = K/4 = 4$
..	
Segment VII	$1/2 \leq x < 1$ mit Steigung $y' = K/64 = 1/4$

1. ITU recommendation G.711

Allgemein: Steigung: $y' = 2^{5-n}$

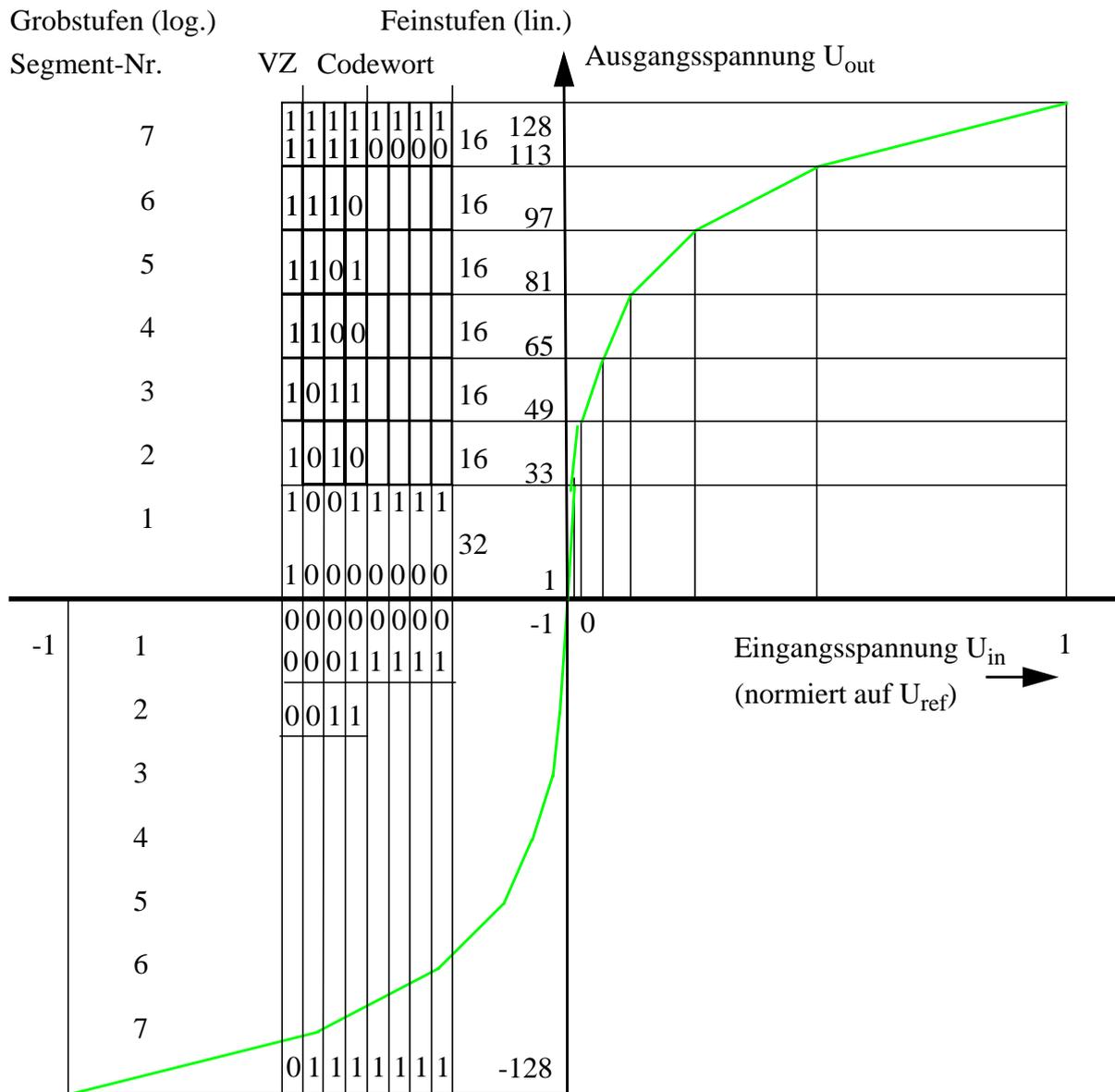
n Segmentnummer I .. VII

Codierung: (8 bit, $q=256$), s. Abb. 3-14:

Bit 7: v Vorzeichen, (Polarität)

Bit 6..4: a,b,c Segmentnummer (I1 = 0)

Bit 3..0: w,x,y,z Intervallnummer (lineare Teilung innerhalb eines Segments)



Darstellung ohne Invertierung der geradzahigen Bits

Abb. 3-14: Verlauf und Codierung der 13-Segment-Kennlinie

Auflösung (Intervallbreite) im Segment I (I1+I2):

Intervallbreite in der Ordinate: mit $0 \leq x < 1/64$ und Steigung $K = 16$ folgt $0 \leq y < 1/4$. Hierin befinden sich 2 mal $16 = 32$ Intervalle. Somit beträgt die Auflösung $\Delta s_I = \frac{1}{64} \cdot \frac{1}{32} = \frac{1}{2048}$.

Zusammen mit dem negativen Ast ergibt sich damit eine Auflösung in beiden Segmenten I von $\Delta s = \frac{1}{4096} = 2^{-12}$, was einer linearen 12-Bit-Codierung (mit Vorzeichen) entspricht.

Quantisierungsverzerrungen der 13-Segment-Kennlinie

Aus der QD-Leistung im linearen Bereich der stetigen Kennlinie ($p(x) = \text{const.}$)

$$P_Q(x) = \frac{1}{3 \cdot q^2 \cdot K^2}$$

folgt je Segment der nichtstetigen Kennlinie

$$P_Q(x) = \frac{1}{3 \cdot q^2 \cdot [y'(x)]^2}$$

Segment I: $y'(x) = K$

$$P_{QI} = \frac{1}{3 \cdot q^2 \cdot K^2}$$

Segment II: $y'(x) = K/2$

$$P_{QII} = \frac{2^2}{3 \cdot q^2 \cdot K^2}$$

allgemein: $y' = \frac{K}{2^{n-1}}$

Störleistung im Segment n

$$P_{Qn} = \frac{2^{2(n-1)}}{3 \cdot q^2 \cdot K^2} \quad \text{für } n = 1 \dots 7$$

Störabstand im Segment n:

mit $P_x = x^2$ und $P_y \approx P_x$

$$r = 10 \cdot \log \frac{P_y}{P_Q} = 20 \cdot \log \left(\frac{\sqrt{3} \cdot q \cdot K \cdot x}{2^{(n-1)}} \right)$$

Verlauf identisch linearem Teil der stetigen A-Kennlinie, an den Knickpunkten sprunghafte Verschlechterungen hin zu den größeren Intervallnummern.

zusätzlich „Ruhegeräusch“ bei Eingangssignal 0: alternierendes Bit „z“ (im Segment I)

$$q \cdot \Delta y = 2$$

$$y'_I(x) = \frac{\Delta y}{\Delta x} = K$$

$$P_{Qr} = \left(\frac{\Delta s_I}{2}\right)^2 \text{ mit } \Delta s_I = \frac{2S}{qK}$$

$$r_r = 10 \cdot \log \frac{\hat{P}}{P_{Qr}} = 10 \cdot \log \left(\frac{S^2 \cdot K^2 \cdot q^2}{2 \cdot S^2} \right) = 20 \cdot \log \left(\frac{K \cdot q}{\sqrt{2}} \right)$$

mit $K=16$, $q=256$ wird der „Ruhegeräuschstörabstand“ $r_r = 69.2$ dB

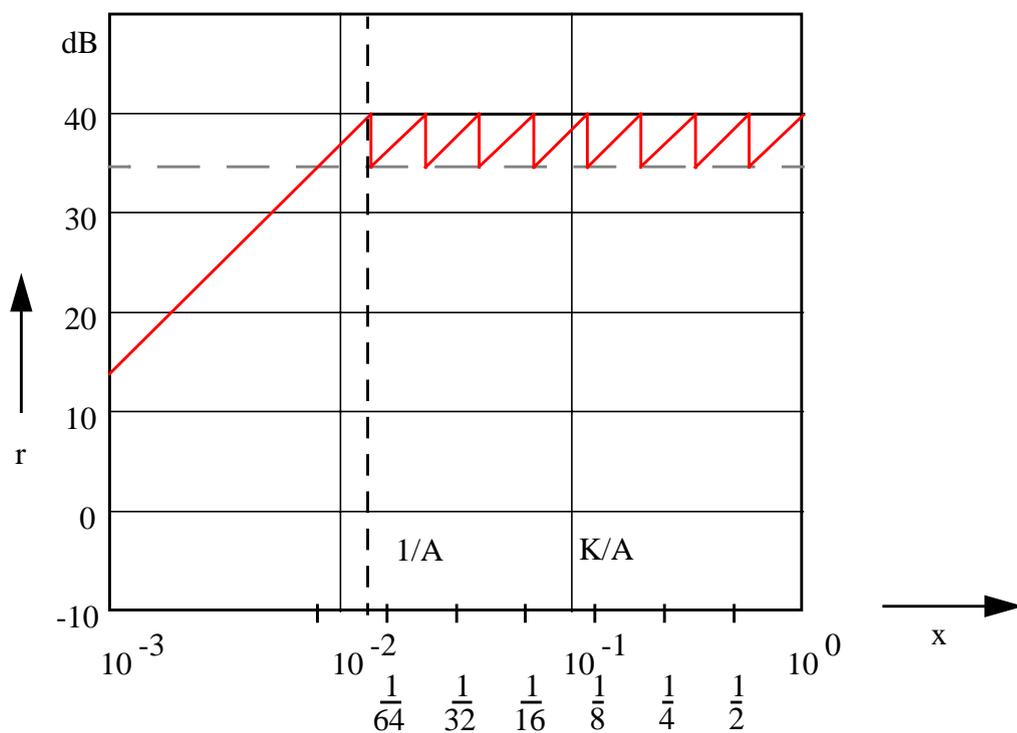


Abb. 3-15: 13-Segment-Kennlinie: Störabstand r als Funktion des Signalwerts x

3.2.6 Kanalkapazität

Kapazität C eines bandbegrenzten, gestörten, kontinuierlichen Kanals (Gauss-Kanal) der Übertragungsbandbreite b mit Störabstand SNR nach C. Shannon:

$$\frac{C}{\text{bit/s}} = \frac{b}{\text{Hz}} \cdot \text{ld} \left(1 + \frac{SNR}{\text{dB}} \right)$$

da häufig $SNR \gg 1$

$$\frac{C}{\text{bit/s}} \approx \frac{b}{\text{Hz}} \cdot \text{ld} \left(\frac{SNR}{\text{dB}} \right) \Rightarrow \text{Austauschbarkeit von Bandbreite und Störabstand.}$$

Kanal	Signalbandbreite b	Störabstand SNR	theor. Kanalkapazität C
Telegraphiekanal (50 Baud ^a)	25 Hz	15 dB	100 bit/s
Fernsprechkanal	3.1 kHz	40 dB	16.6 kbit/s
Rundfunk Mittelwelle (AM)	6 kHz	50 dB	34.0 kbit/s
Rundfunk UKW (FM)	15 kHz	70 dB	92.2 kbit/s
Fernsehskanal Basisband (FBAS)	5 MHz	45 dB	27.6 Mbit/s

Tab. 3-2: Beispiele für benötigte Kanalkapazitäten bei gegebener Bandbreite b und gegebenem Störabstand SNR

a. Schrittgeschwindigkeit: synonym: Symbolrate; Einheit: 1 Baud

Die Werte für C sind theoretische Grenzwerte bei prinzipiell unendlich hohem Codierungsaufwand.

3.2.7 Modulation

... ist die Veränderung von Signalparametern eines Trägers in Abhängigkeit von einem modulierenden Signal.

- Das Modulationsprodukt soll an die technischen Eigenschaften des vorliegenden Übertragungskanals optimal angepasst sein.
- Nach der Übertragung erfolgt die Rückgewinnung des Basisbandes durch einen weiteren Modulationsvorgang, die Demodulation.

- Modulator und Demodulator werden bei bidirektionaler Übertragung jeweils an beiden Endpunkten benötigt. Die gerätetechnische Zusammenfassung nennt man „Modem“, s. Abschnitt 3.2.1.

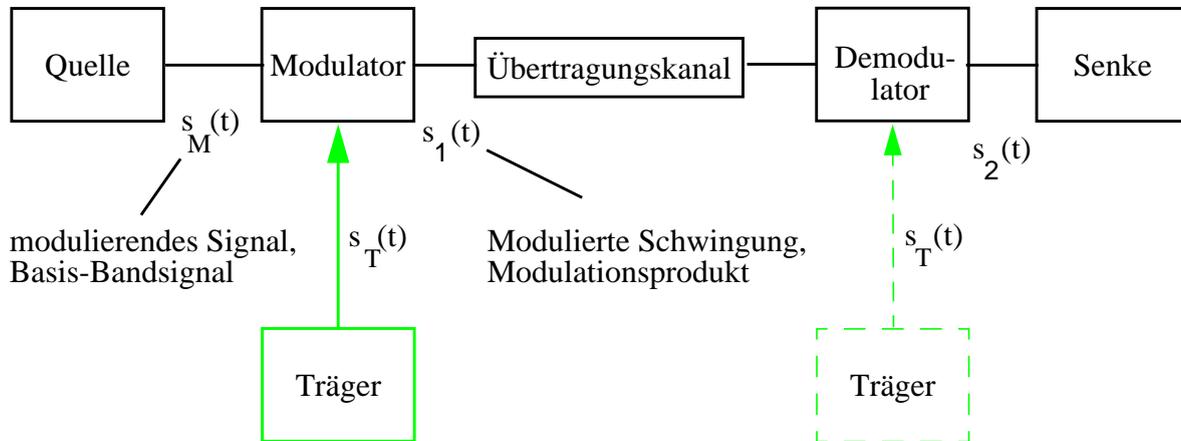


Abb. 3-16: Übertragungsstrecke mit Modulator und Demodulator

Lineare Modulation

Das Modulationsprodukt $s_1(t)$ ist eine lineare Funktion des modulierenden Signals $s_M(t)$.

$$\text{Basisband: } s_M(t) = \hat{s}_M \cdot \cos(\omega_M t + \varphi_M)$$

$$\text{Träger: } s_T(t) = \hat{s}_T \cdot \cos(\omega_T t + \varphi_T)$$

$$\text{Modulation: } s_1(t) = k_1 \cdot s_M(t) \cdot s_T(t) \quad \text{mit } k_1 : \text{Modulatorkonstante}$$

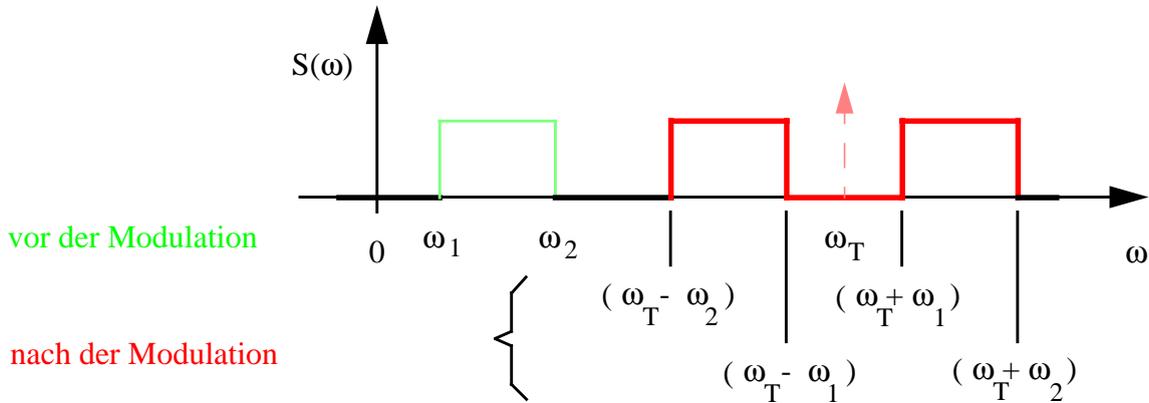
Mit $\cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$ und für $\varphi_M = \varphi_T = 0$ gilt:

$$s_1(t) = \hat{s}_1 \cdot \cos[(\omega_T + \omega_M)t] + \hat{s}_1 \cdot \cos[(\omega_T - \omega_M)t]$$

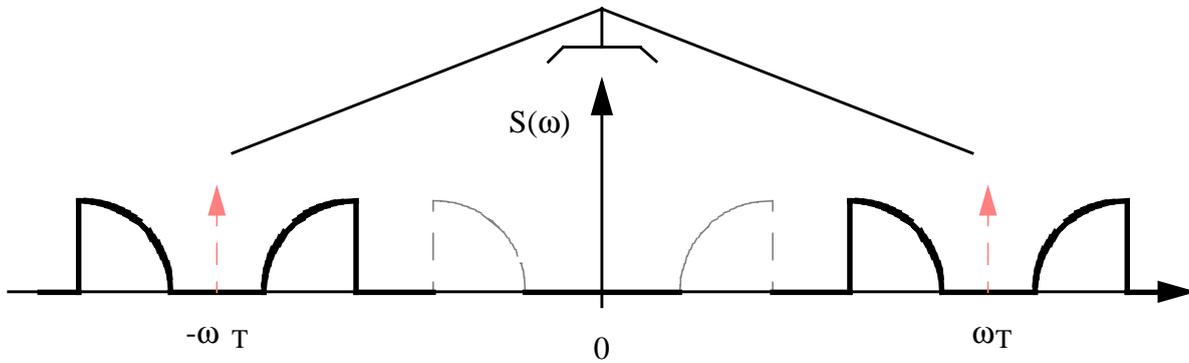
$$\text{mit } \hat{s}_1 = \frac{1}{2} \cdot k_1 \cdot \hat{s}_M \cdot \hat{s}_T \text{ (Amplitude).}$$

Es muß gelten $\omega_T > \omega_M$; meist ist sogar $\omega_T \gg \omega_M$

Physikalische Darstellung der Modulation:



Darstellung mit negativen Frequenzen:



Darstellung mit Symbolen für Regel- und Kehrlage:

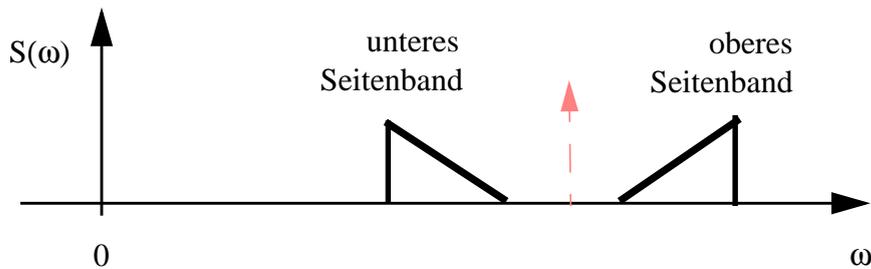


Abb. 3-17: Modulationsdarstellung in der Frequenzebene

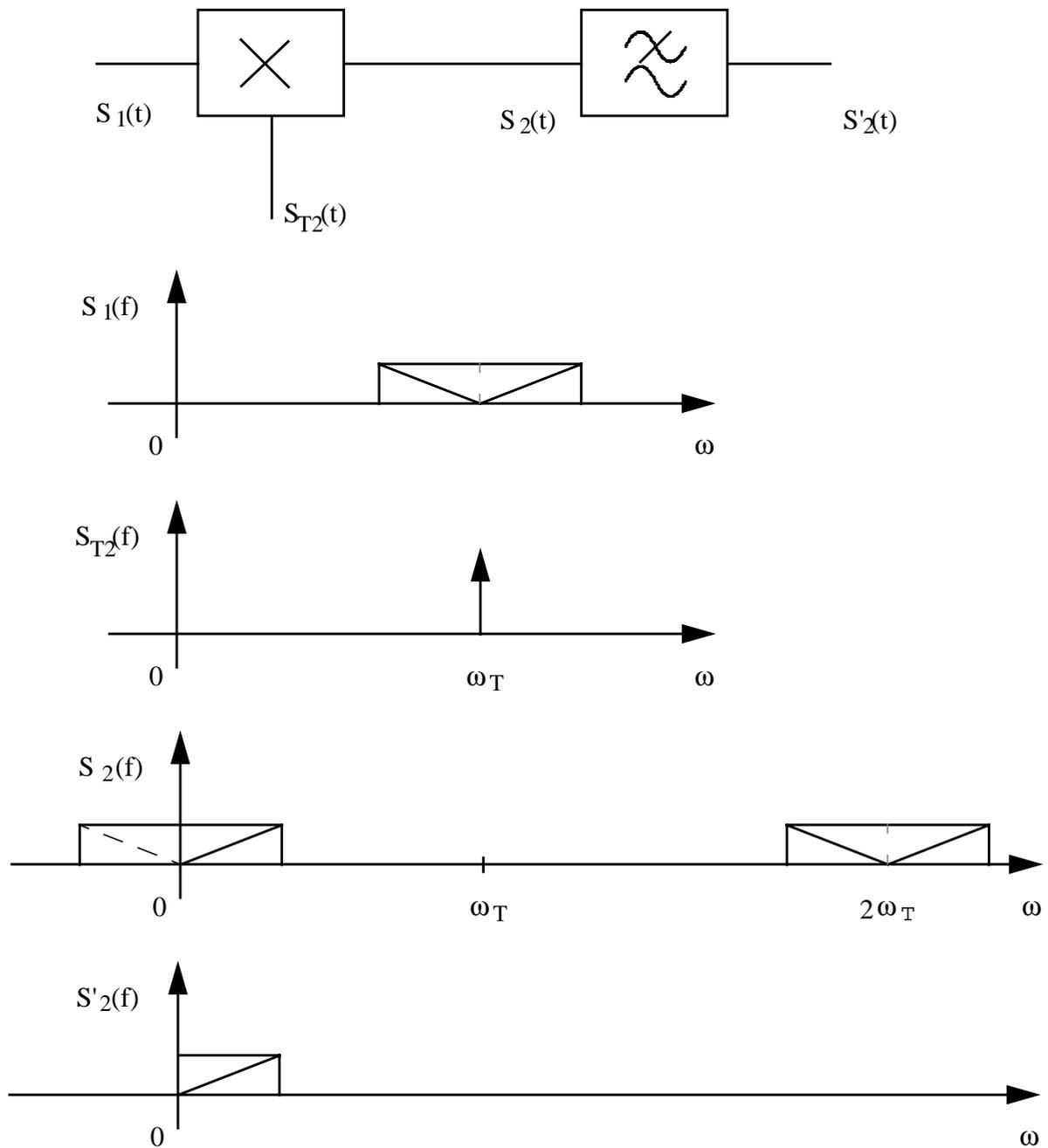
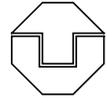


Abb. 3-18: Demodulation des Zweiseitenbandsignals (Frequenzebene)

3.2.8 Frequenz-Multiplex

Werden mehrere Signale zu einem Signal zusammengefasst, spricht man von *Multiplexen* (Bündeln).

Falls *primäre Signale* (Ursprungssignale) mit gleicher Frequenzlage auftreten, werden diese durch Modulation als *sekundäre Signale* auf unterschiedliche Lagen umgesetzt.



Dies kann auch in mehreren Stufen geschehen: *Mehrfachmodulation* - primäre, sekundäre, ternäre, ... Signale.

⇒ **Doppelcharakter der Modulation:** Multiplexverfahren und Anpassung an den Übertragungskanal

u.U. mehrstufiges Verfahren mit unterschiedlichen Modulationsarten

Ziel:

1. Stufe: optimale Modulation als Multiplexverfahren
2. Stufe: optimale Modulation zur Anpassung an den Übertragungskanal
(⇒ Störuneempfindlichkeit)

Gesamtziel: **Mehrfachausnutzung einer Leitung** (Multiplexen ⇒ Kosteneinsparung)

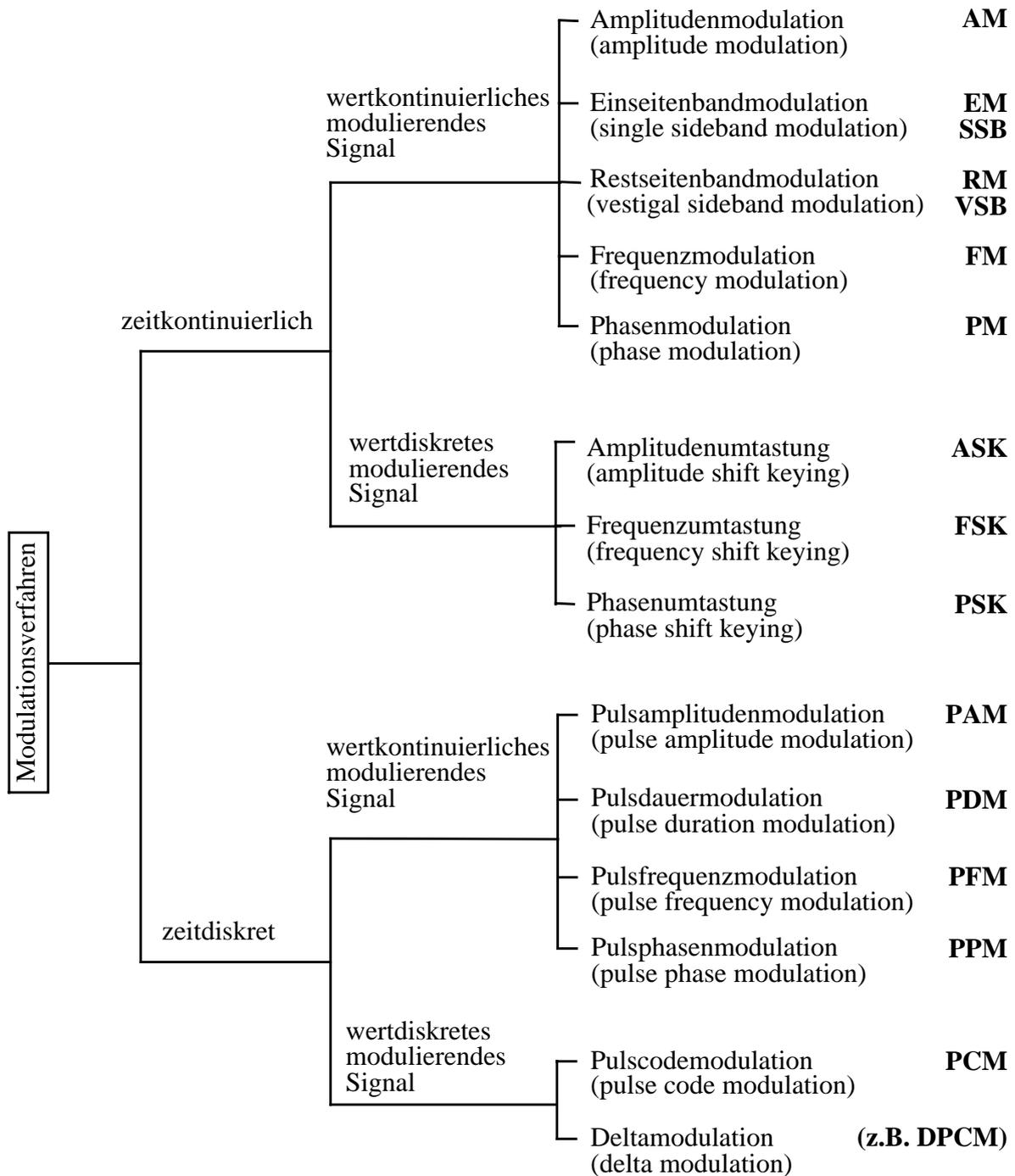


Abb. 3-19: Übersicht: Analoge und digitale Modulationsverfahren

Technische Anwendung des Frequenzmultiplex: Trägerfrequenzsysteme

Historische Entwicklung:

- Technik entwickelt und eingesetzt seit den 30er Jahren
- Neuentwicklungen bis Ende der 60er Jahre

- danach (digitale) Zeitmultiplex-Systeme

Nachteile:

- viele! Filter erforderlich (Schwingkreise)
- eingeschränkte Stabilität, z.B. Temperatureinfluss
- Linearität, Frequenzgang, Bandbreite der Zwischenverstärker
- Einfluss externer Störquellen
- Stabilität der Trägerfrequenzen erreicht durch Synchronisation auf mit dem Nutzsignal übertragene Pilottöne

System	Kabel	Frequenzbereich (kHz)	Verstärkerabstand (km)
Z12	symmetrisch	60 - 108	ca. 30
V60	symmetrisch	312 - 552	18
V300	klein-koax	812-2044	6 .. 8
V900	koax	8516-12388	9
V2700	koax	22812-39884	ca. 4.5
V10800 ^a	koax	4332-59684	ca. 1.6

Tab. 3-3: Grunddaten einiger Trägerfrequenzsysteme

a. nur in Europa realisiert

Heutige Anwendung

- WDM (Wavelength Division Multiplex) auf Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken; erlaubt die Vervielfachung der Übertragungskapazität
- dichte Packung der Frequenzen: DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) erhöht die Kapazität nochmals; Serieneinführung im Gange, im Labor: > 10 Tbit/s @ 130 km

3.2.9 Effizienz von Modulationsverfahren

Variable	Wertebereich	Verfahren	Anwendung
Frequenz		Frequenz- umtastung	Datenübertragung mit 200 bit/s im Fernsprechkanal gemäß ITU V.21
Strom		Amplituden- umtastung	Gleichstromtelegrafie mit Einfachstrom- tastung
Phase		Vierphasen- umtastung	Datenübertragung mit 2400 bit/s im Fernsprechkanal gemäß V.28
Spannung		PCM mit ternärem Leitungscode	digitale Über- tragung

Abb. 3-20: Realisierungsbeispiele für Modulationsverfahren

Modulationsverfahren	theoretische Bandbreiteneffizienz (bit/s pro Hz)	benötigter Störabstand S/N (dB)
BPSK(2-PSK)	1	11
QPSK(4-PSK)	2	14
16-PSK	4	26.5
16-QAM	4	20
64-QAM	6	26
256-QAM	8	32
1024-QAM	10	38

Tab. 3-4: Spektrale Effizienz und Signal/Störabstand-Forderungen für eine Bitfehlerrate (Bit Error Rate - BER) $BER \leq 5 \cdot 10^{-7}$

Übertragungsrate (bit/s)	Modulationsart	Symbolrate (Baud)	ITU-Standard
200	2-FSK	200	V.21
600	2-FSK	600	V.23
1200	4-DPSK	600	V.22
2400	4-DPSK	1200	V.26
4800	8-DPSK	1600	V.27
9600	32-QAM ^a und Trellis-Codierung	2400	V.32
14400	128-QAM/TC	2400	V.33
28800	1024-QAM/TC	2880	V.34
33600	1024-QAM/TC	3360	V34+

Tab. 3-5: Übersicht der Modulationsarten verschiedener Modems für analoge Telefoniekanaäle

a. Quadratur-Amplitudenmodulation

Der Aufwand in der (digitalen) Signalverarbeitung steigt mit der Übertragungsrate \Rightarrow Einsatz von digitalen Signalprozessoren im Modem.

3.3 Digitalübertragungssysteme über vorhandene Kupferdoppeladern (xDSL)

3.3.1 Anwendungen und Verfahren (s.a. WELL95; BLMA00)

Ziel: Bereitstellung von Bitraten $> (>>) 64$ kbit/s am Teilnehmeranschluss unter Weiternutzung der vorhandenen Anschlussleitungen (Kupfer-

doppeladern); hohe Reichweite

Gewünschte Dienste und Bitraten:

- Primärmultiplex-Schnittstelle zum Anschluss einer TK-Anlage, 2Mbit/s bidirektional
- Video-Konferenz, 2Mbit/s bidirektional
- Video on Demand (VOD), 2x64 kbit/s bidirektional für Telefonie + > 4 Mbit/s zum Tln, Video (Standard-TV, MPEGx, ...)
- Internet-Zugriff (Downstream > 1 Mbit/s)

Verfahren:

- Oberbegriff xDSL (Digital Subscriber Line) für eine Vielzahl von Varianten
- HDSL (High bitrate Digital Subscriber Line) 2 Mbit/s bidirektional
- VHDSL (Very High bitrate Digital Subscriber Line) > 2 Mbit/s
- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) 2B+D symmetrisch und 2, 4 oder 6 Mbit/s downstream

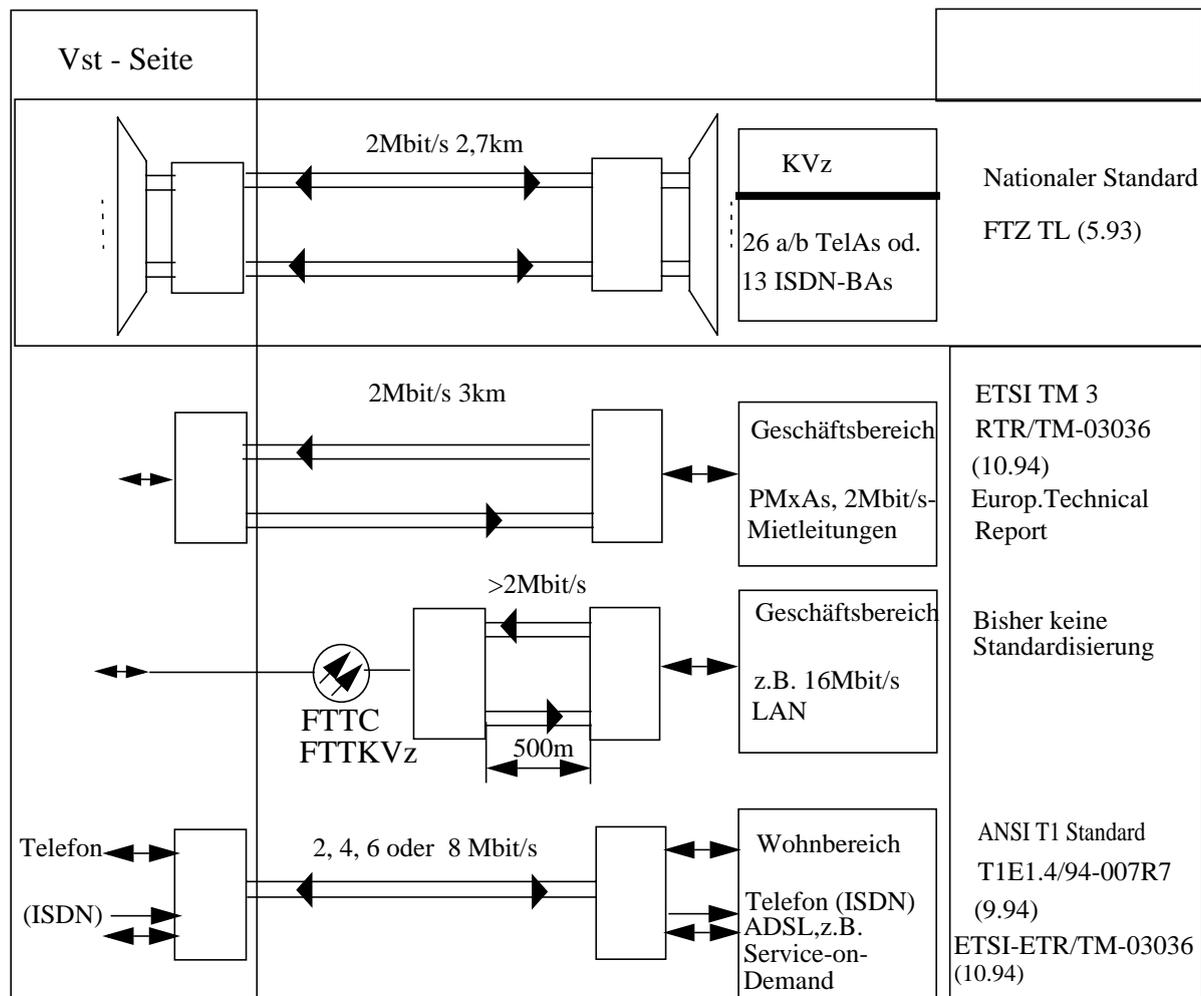


Abb. 3-21: Schnelle Digitalübertragungssysteme im Anschlussbereich

Reichweiten:

- 2 ... 5 km je nach Kabel (Leiterdurchmesser, Verdrillung), Bitrate

3.3.2 Eigenschaften von HDSL (ETSI RTR/TM-03036 10.94)

- Doppel-Duplex-Übertragung über zwei Doppeladern (Vierdraht-Verbindung), Weiterentwicklung auf Einfach-Doppeladernsystem in Arbeit/Standardisierung
- 2B1Q Leitungscodierung
- Symbolrate 1168 kbaud ($> 1/2 \cdot 2048$ kbit/s durch Rahmen-Overhead)
- Multicarrier-System für die PCM30-Kanäle, s. Abb. 3-22
- Taktableitung aus dem Empfangssignal
- Reichweite: 3 km bei 0.4-mm-Kabel
- Anwendung: Leitungssystem für PMX, transparente 2 Mbit/s Übertragung. d.h. Primärmultiplexanschluss S_{2M} über Kupferdoppelader, für Geschäftskunden

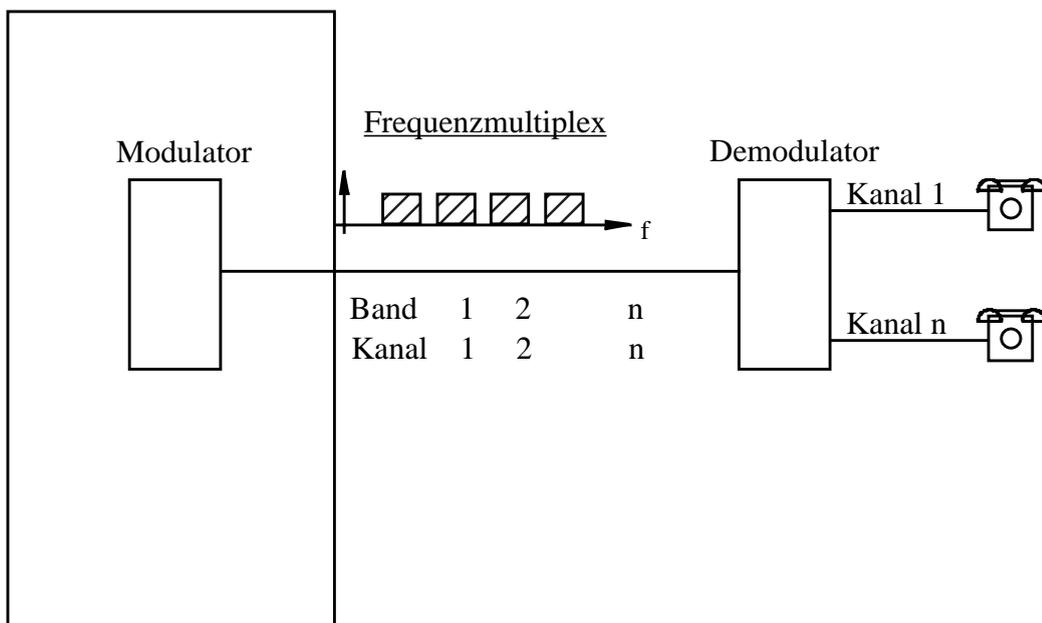


Abb. 3-22: HDSL-Systemstruktur für eine 2 Mbit/s Vierdraht-Doppel-Duplex-Übertragung

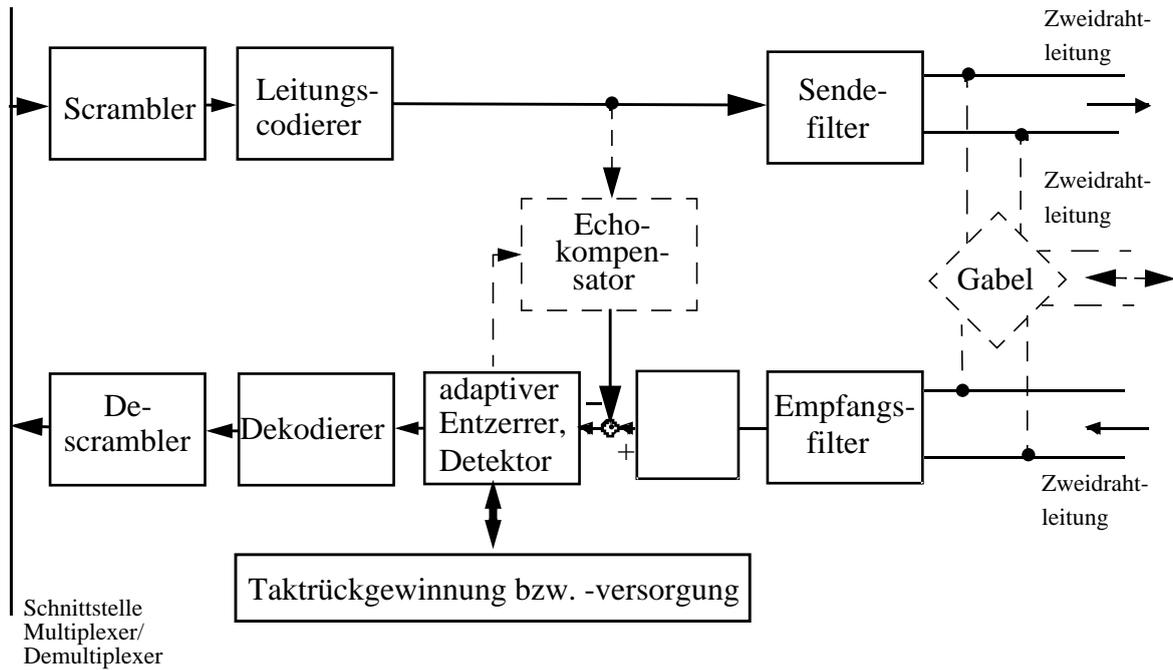


Abb. 3-23: Prinzipieller Aufbau eines Transceivers für Basisbandübertragung

3.3.3 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

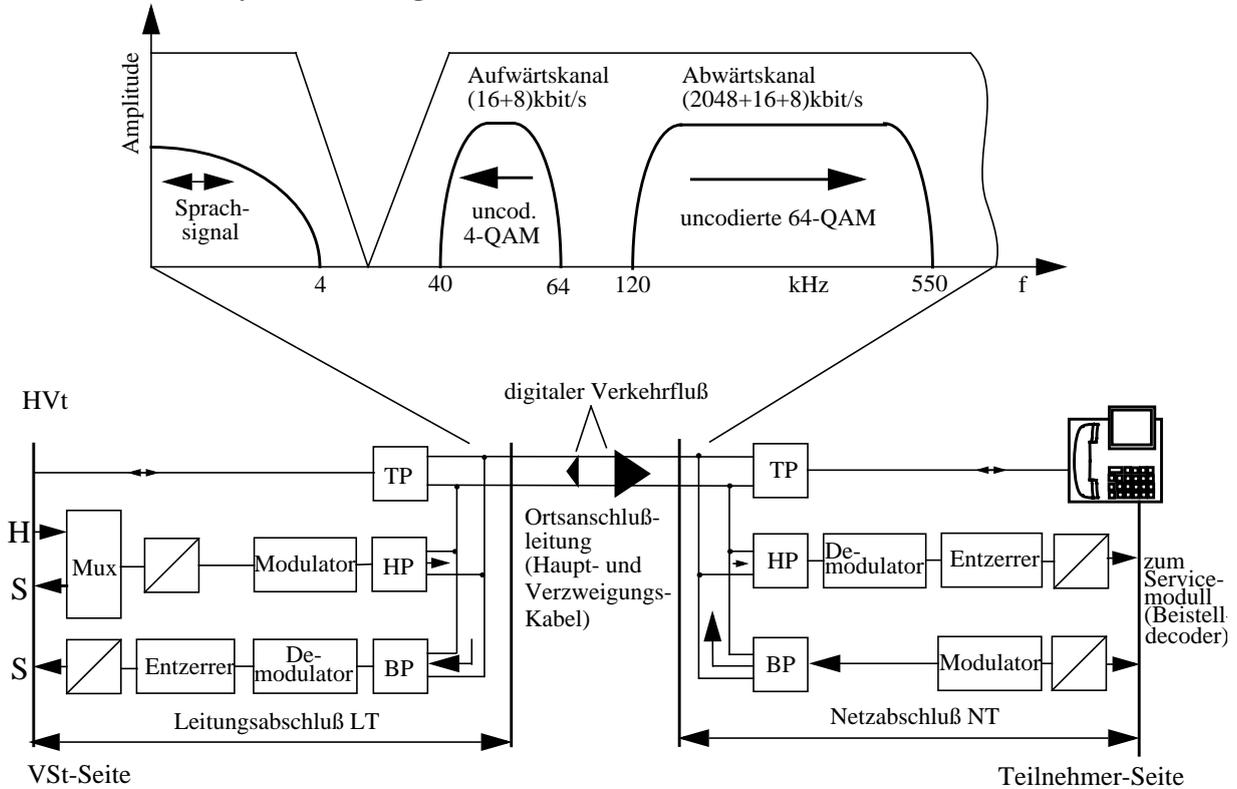


Abb. 3-24: Aufbau eines ADSL-Systems

Einsatz: Übertragung von Abrufdiensten, z.B. Video on Demand, „Surfen“ im Internet, zusätzlich zur Telefonie

Funktionsprinzip und Eigenschaften (s. Abb. 3-24)

- Telefonie im Basisband, bidirektional, jetzt auch ISDN möglich
- Steuerkanal 16 kbit/s, bidirektional, Frequenzgetrenntlage
- Aufwärtskanal („upstream“) bis 800 kbit/s
- Abwärtskanal („downstream“) 2048, 4096, 6144 oder 8192 kbit/s, Frequenzgetrenntlage, mit zusätzlich 88 kbit/s Fehlerschutz
- Modulation: 64 QAM Downstream, 4 bzw. 16 QAM Upstream; CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation)
- für analogen Anschluss und ISDN-Anschluss geeignet
- Reichweiten (0.4-mm-Kabel):
 - 2048 kbit/s: 3.0 km
 - 4096 kbit/s: 2.0 km
 - 6144 kbit/s: 1.6 km
- Standardisierung in Arbeit (ANSI, ETSI)

3.3.4 Weiterentwicklungen VDSL

Ziel: Datenrate Downstream bis 50 Mbit/s, Upstream bis 2 Mbit/s

- verschiedene technische Ansätze, s. BLMA00
- i. Allg. nur geringe Reichweiten über neuere Kabeltechnik

3.4 Powerline Communications

Die Stromanschlussleitung vom Transformator des Energieversorgers zum Haushalt kann unter Verwendung moderner Modulationsverfahren (Spreizspektrum-Modulation, CDMA, OFDM) auch zur Übertragung digitaler Daten zum Zweck der Kommunikation genutzt werden. Technisch möglich ist¹ derzeit:

- Datenrate bis zu einigen 10 Mbit/s
- Entfernung bis zu 1000 m
- ca. 20 Haushalte je Versorgungsstrang

Damit steht einem Teilnehmer (Haushalt) bei typischer Nutzung (Verkehrswert 0.3 Erl.) eine Datenrate von ca. 4 bzw. 2 Mbit/s bidirektional zur Verfügung (Packet bzw. Circuit Mode). Noch ungeklärt ist die Störstrahlung des Verfahrens, da die nicht abgeschirmte Stromleitung als Sendeantenne wirkt. Die Standardisierung ist in vollem Gange.

Bisher sind lediglich niederratige Systeme (ca. 10 kbit/s) standardisiert und zugelassen; diese können für Telemetrie, Prozesssteuerung, Home Automation, ... eingesetzt werden.

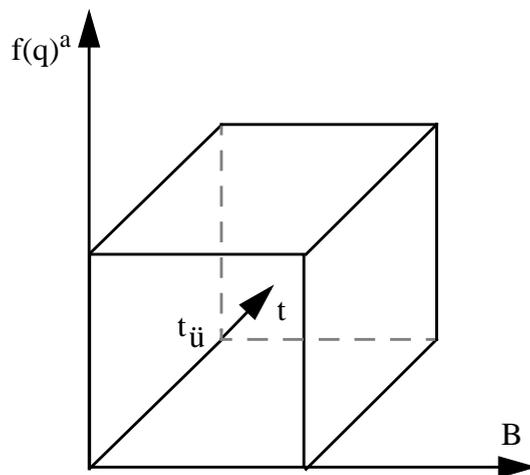
1. Stand: 04.99; Prototypen und Versuchstrecken werden z.Zt. intensiv erprobt; Quelle: Int. Powerline Communications Forum, UK

4 Multiplexierungsverfahren

4.1 Übersicht

Der Informationsquader erlaubt es, Nachrichten in der Code-, Frequenz- oder Zeitachse zu multiplexen. Auch Kombinationen sind möglich und werden z.B. in der Mobilfunktechnik (GSM) angewandt.

Alle drei Verfahren haben ihre Bedeutung in der technischen Realisierung. Historisch wurde das Frequenzmultiplex zuerst angewandt; als Wellenlängenmultiplex findet es aber auch in optischen Übertragungssystemen aktuelle Anwendung.



a) q: Anzahl Codes pro Symbol bei digitaler Übertragung

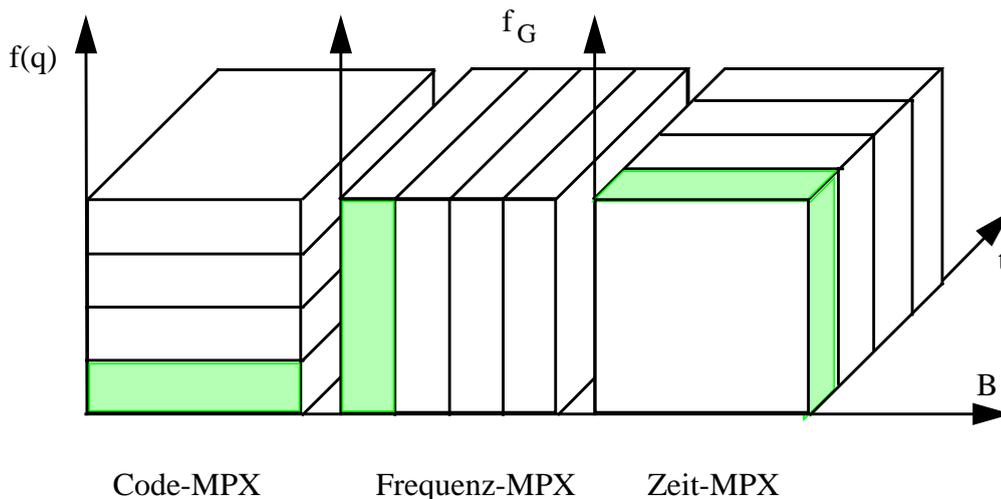


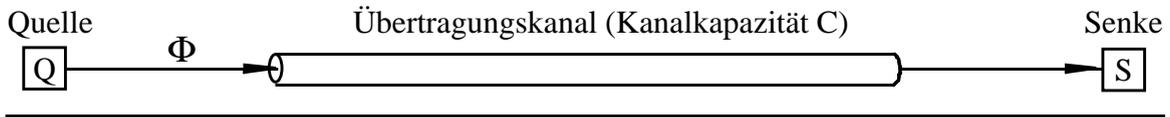
Abb. 4-1: Mögliche Aufteilung des Informationsquaders

je Kanal eines Multiplex ist bei ...

Frequenz-MPX: Bandbreite fest, Information in Zeit und Wertevorrat

Zeit-MPX: Zeit (-schlitz) fest, Information in Bandbreite und Wertevorrat
 Code-MPX: Wertevorrat fest, Information in Zeit und Bandbreite

Informationstheorie:



Kommunikationstechnik: Raummultiplex

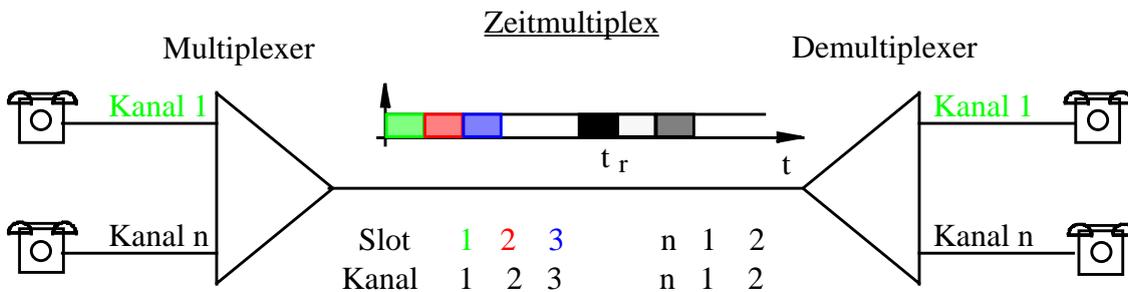
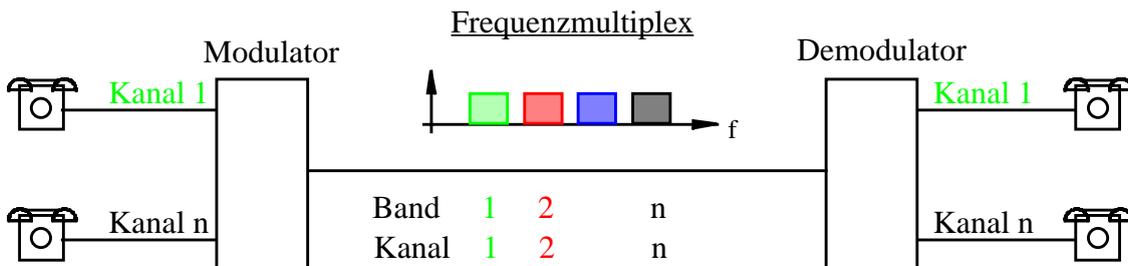


Abb. 4-2: Technische Realisierung der Multiplexierungsverfahren

4.2 Zeitmultiplex-Verfahren

4.2.1 Grundprinzipien

Ziel: Gemeinsame Übertragung vieler Verbindungen über ein Medium im Zeitteilungsverfahren

Varianten

Bei fester Zuteilung der Zeitschlitz auf einem Kanal spricht man von statischem, sonst, z.B. bei bedarfsgesteuerter Zuteilung, von dynamischem Z-MPX.

Wenn Informationen entlang eines Pfades über mehrere Abschnitte hinweg im Multiplex übertragen werden, dann ist bei statischer (fester) Zuteilung des Pfades eine *virtuelle Verbindung*, bei dynamischer Zuteilung ein *Datagram-Betrieb* realisiert.

Zeitmultiplexprinzipien				
Kanal/ Zeitzuweisung	statisch	dynamisch		
Übertragung	portioniert		komplett	
	zyklisch	azyklisch	einmalig	
Verbindungsweg	gleichbleibend		wechselnd	
Bezeichnung	Kanal- multiplex	Paketmultiplex		Nachrichten- multiplex
		virtuelle Verbindung	Datagramm	
Netz	Durch- schaltnetz	Teilstreckennetz		
Verkehrssystem	Verlustsystem	Wartesystem		

Abb. 4-3: Zeitmultiplex-Prinzipien

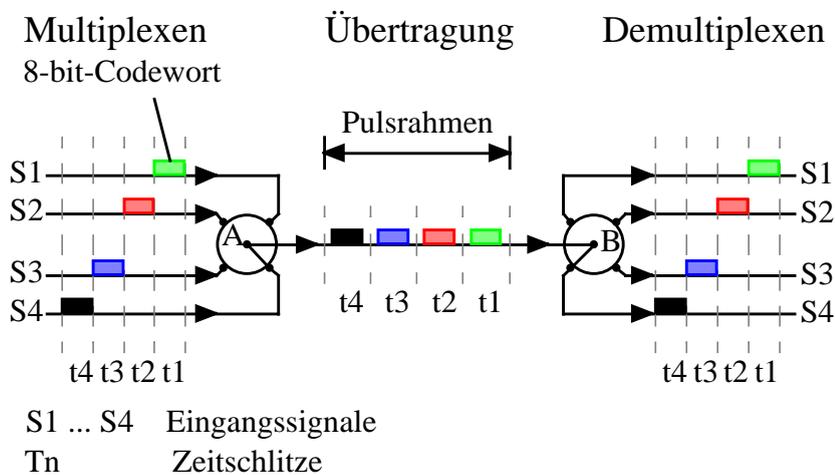


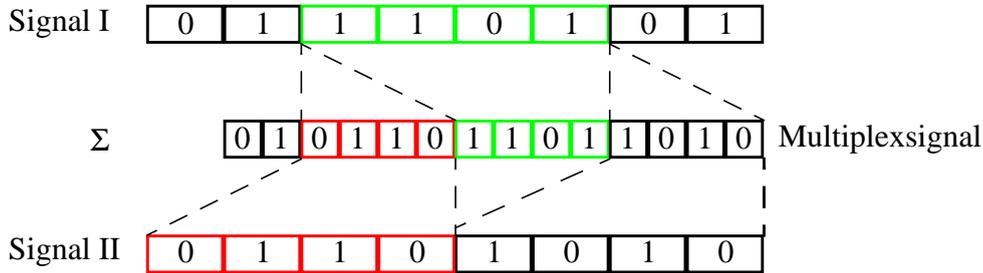
Abb. 4-4: Beispiel: statisches, wortweises Zeitmultiplex

Eigenschaften:

- N-fache Geschwindigkeitsüberhöhung
- Synchronismus zwischen Sender und Empfänger erforderlich

4.2.2 Verschachtelungsverfahren

a) Wortverschachtelung (Beispiel: Wortlänge 4 Bit)



b) Bitweise Verschachtelung

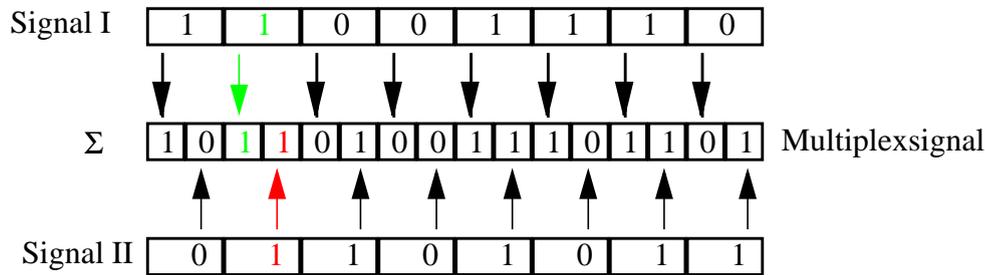
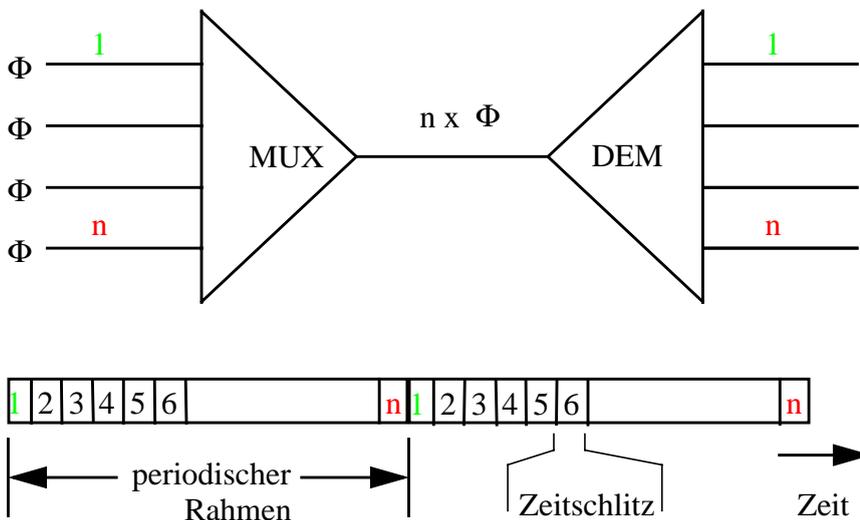


Abb. 4-5: Verschachtelungsarten bei Zeitmultiplex



R - Rahmenkennung

Abb. 4-6: Prinzip des synchronen Zeitmultiplex mit Rahmenstruktur

Der Rahmen kann für Nutzdaten und Steuerinformation verwendet werden.

Steuerinformation: Signalisierkanal, Überwachung, ... → Netzmanagement

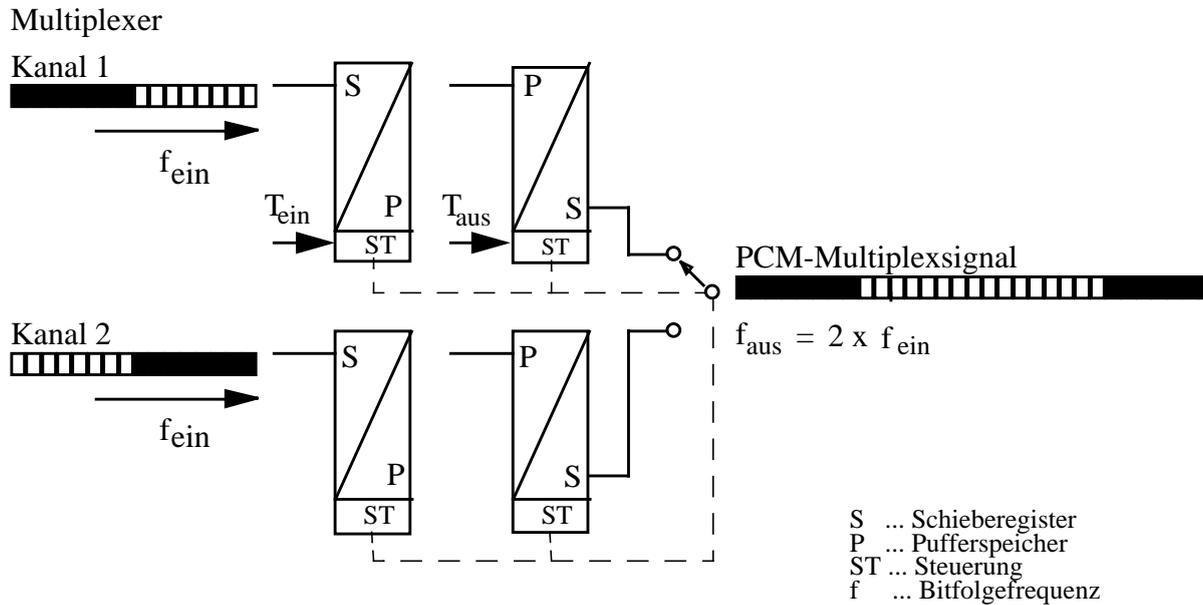


Abb. 4-7: Funktionsprinzip des byteweisen Multiplexens

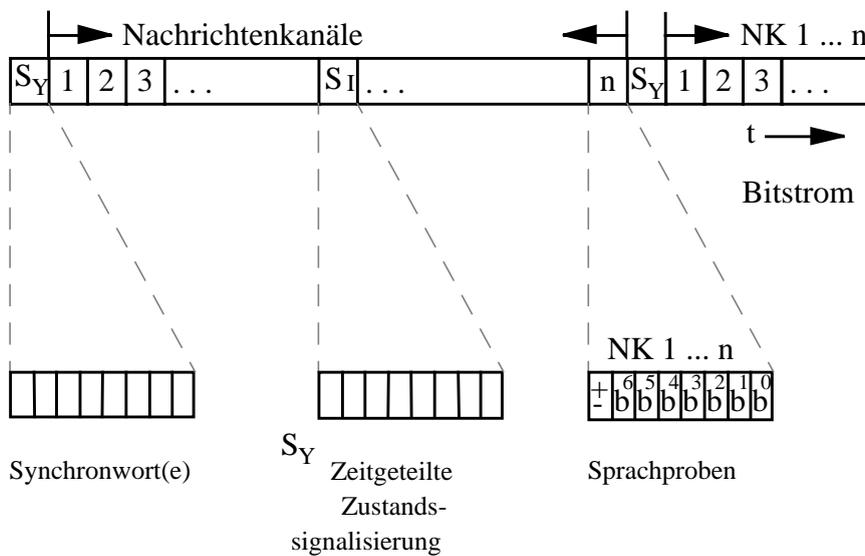


Abb. 4-8: Statisches Kanal-Multiplexen

4.2.3 PCM-Primärmultiplex

Als wichtige technische Realisierung des Zeitmultiplex existiert das PCM30-System, auch Primärmultiplex genannt, da es 30 digitale (Sprach-) Kanäle sowie Signalisierinformation auf eine 2 Mbit/s Primärgruppe multiplext. Die Primärgruppe wird sowohl in Übertragungssystemen als auch als Schnittstelle in der Vermittlungstechnik sehr häufig angewandt.

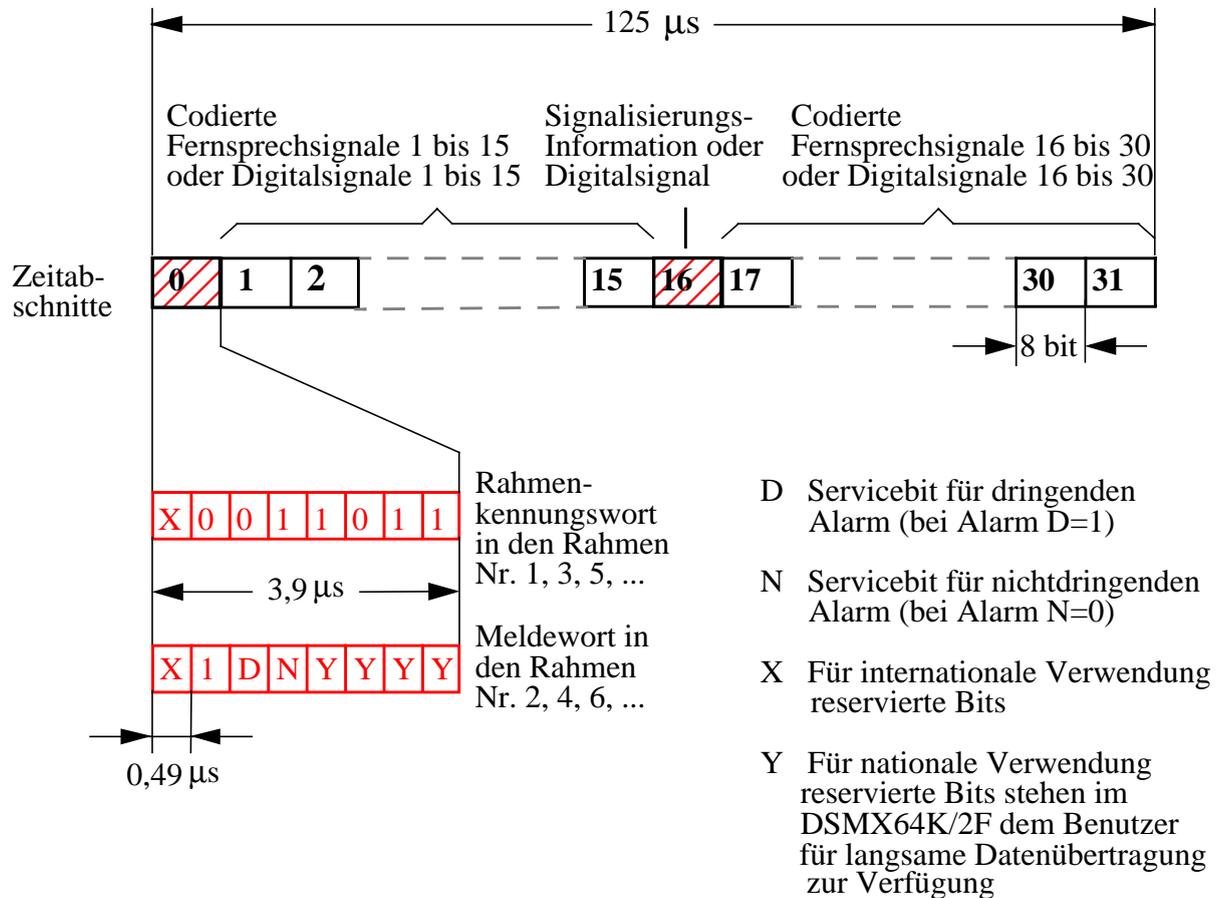
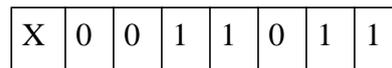


Abb. 4-9: Pulsrahmen für 2 Mbit/s Signale gemäß ITU Empfehlung G.704

Struktur

- Zeitabschnitt („Zeitschlitz“) für jeweils einen Abtastwert von 8 bit
- Rahmenwiederholfrequenz = Abtastfrequenz des Eingangssignals: 8000 Hz \Rightarrow Rahmen-dauer 125 µs
- 32 Zeitabschnitte 0 .. 31 mit je 8 bit \Rightarrow Rahmenkapazität 256 bit; somit Gesamtübertra-gungskapazität 8000 x 256 bit/s = 2.048 Mbit/s
- Beginn und Ende durch Zeitabschnitt 0 definiert; dort werden alternierend das Rahmenkennungswort (RKW) und das Meldewort (MW) übertragen

- RKW fix:



- MW enthält Bits D, N für Alarmmeldungen, 4 Bits für nationale Signalisierung, Unter-scheidung zwischen RKW und MW durch Bit 6



- Aus 16 PCM Rahmen wird in eine Übrahmenstruktur (Dauer: 2 ms) gebildet, s. Abb. 4-10:

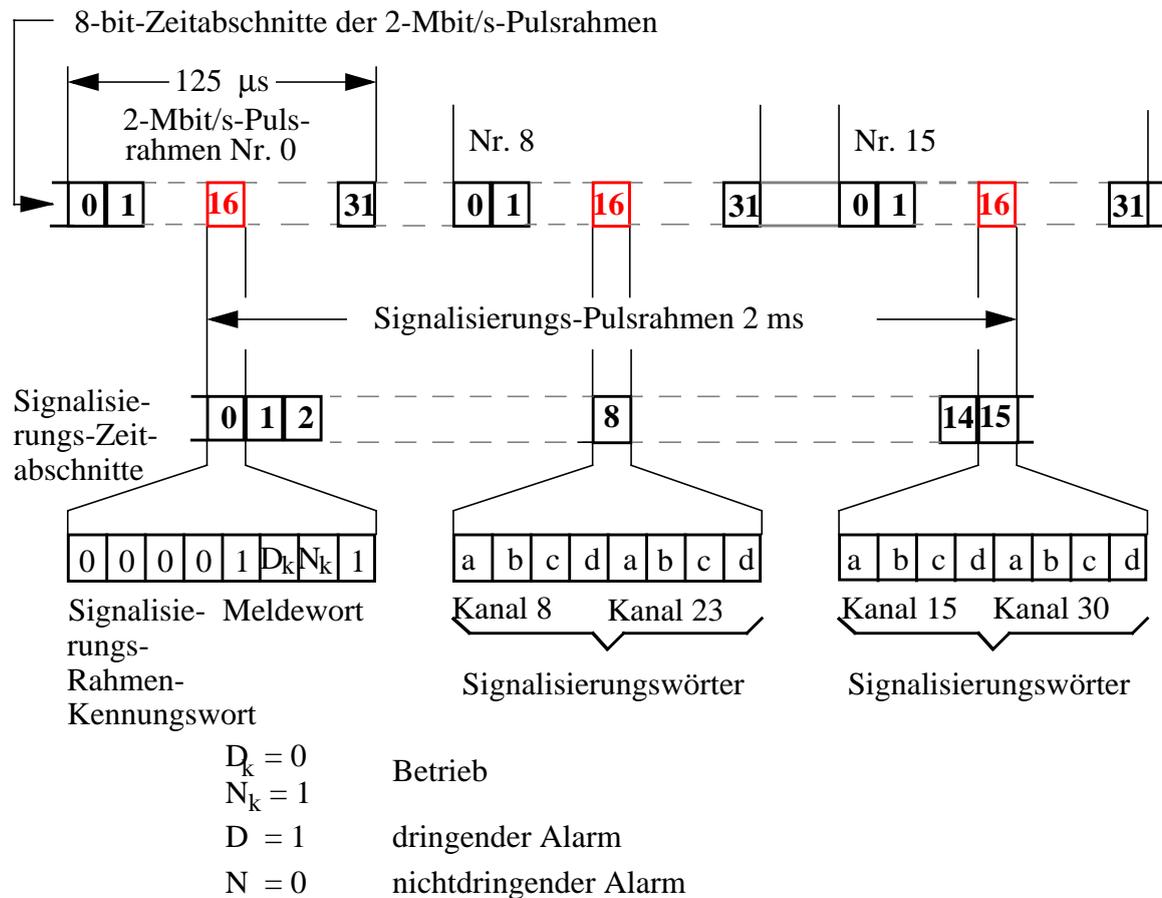


Abb. 4-10: Überraahmen-Struktur für Signalisiersignale

Struktur

- Vermittlungstechnische Signalisierung im Zeitabschnitt 16 jeden Rahmens
- in einer Überraahmenstruktur aus 16 Rahmen jeweils 4 bit für jeden Kanal reserviert

Als statisches Zeitmultiplexverfahren wurde in der Übertragungstechnik die sog. plesiochrone digitale Hierarchie eingeführt (PDH). Diese wurde ab den 70er Jahren bei der DBP Telekom eingesetzt und bis zur Übertragungsrates 565 Mbit/s als Einheitstechnik fortentwickelt, s. Tab. 4-1:

Kanalzahl	Bitrate	Kabeltechnik
30	2.048 Mbit/s	Kupfer, symmetrisch
120	8.448 Mbit/s	mikro-koax
480	34.368 Mbit/s	koax
1920	139.264 Mbit/s	koax
7680	565 Mbit/s	koax, LWL
15360	1200 Mbit/s ^a	LWL

Tab. 4-1: Einige Kenndaten der Plesiochronen Digitalen Hierarchie (PDH)
Quelle: Deutsche Telekom

a. nicht (mehr) realisiert wegen Einführung der Synchronen Digitalen Hierarchie

4.2.4 Synchronisationsverfahren

Bei allen Zeitmultiplexverfahren müssen Sender- und Empfängertakt *isochron* oder zumindest für einen geeigneten Zeitraum *plesiochron* sein.

Man verwendet das Verfahren „Stopfen“, um die Bitraten plesiochroner Multiplexsysteme aneinander anzupassen.

- Eingangssignal langsamer als Ausgangssignal: Einfügen von sog. Stopfbits um Lücken zu füllen. \Rightarrow Positiv-Stopfen
- Eingangssignal schneller als Ausgangssignal: hier nicht möglich, nur unter Verlust eines Rahmens

Betriebsweise: Aussendung mit geringfügig niedrigerer Taktfrequenz, so dass bei üblichen Takt-Toleranzen Positiv-Stopfen möglich.

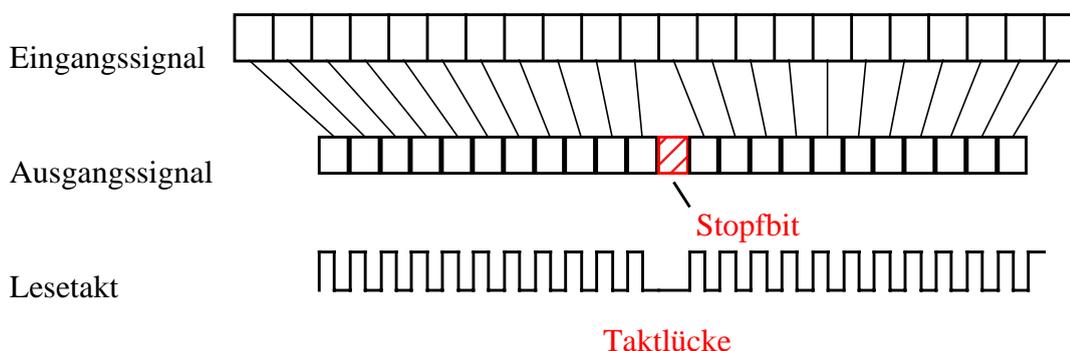


Abb. 4-11: Prinzip des Positiv-Pulsstopfens

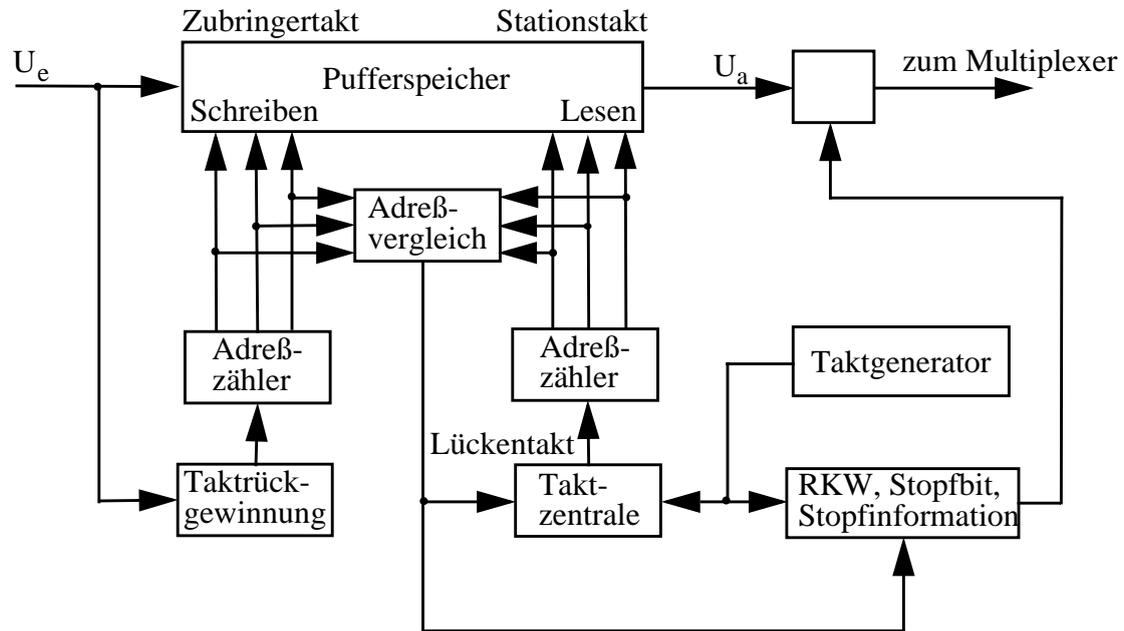


Abb. 4-12: Blockschaltbild zur technischen Realisierung des Positiv-Pulsstopfens vor dem MUX

4.2.5 Entwicklung der Multiplexhierarchien

Durch verschieden schnelle Einführung der TDM-Technik hat sich die Bitratenhierarchie weltweit unterschiedlich entwickelt.

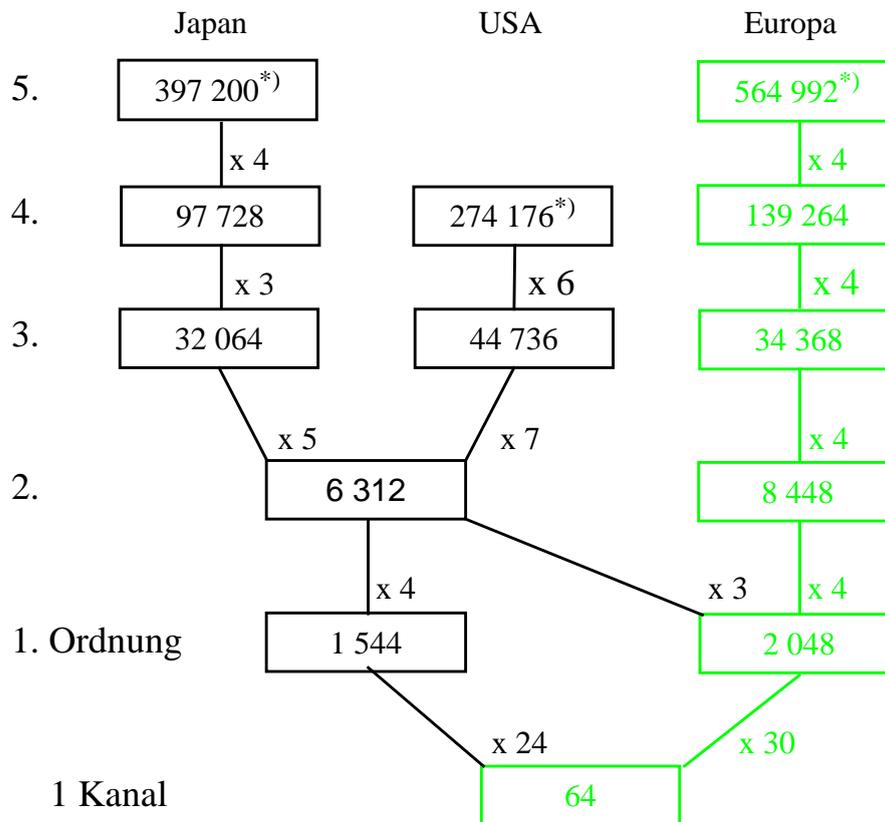


Abb. 4-13: Bitraten für die Plesiochrone Digitale Hierarchie (PDH) in Europa, Japan und USA (in kbit/s); Multiplexfaktoren plus Overhead ergeben nächste Bitratenstufe^{*)} in Europa noch realisiert, in Japan und USA nicht mehr

4.2.6 Synchrone Digitale Hierarchie

Zur weltweiten Vereinheitlichung wurde ab 1988 die *Synchrone Digitale Hierarchie* (SDH, G.707 .. G.709) standardisiert (aus dem US-amerikanischen SONET hervorgegangen).

Ziele:

- Bereitstellung von Nutzdatenkanälen und Steuerkanälen in einer weltweit einheitlichen Struktur
- Einfaches Multiplexen bzw. Demultiplexen von Datenströmen „Add/Drop-MUX“
- Management für Übertragungs-Abschnitte (section) bzw. -Strecken (path)

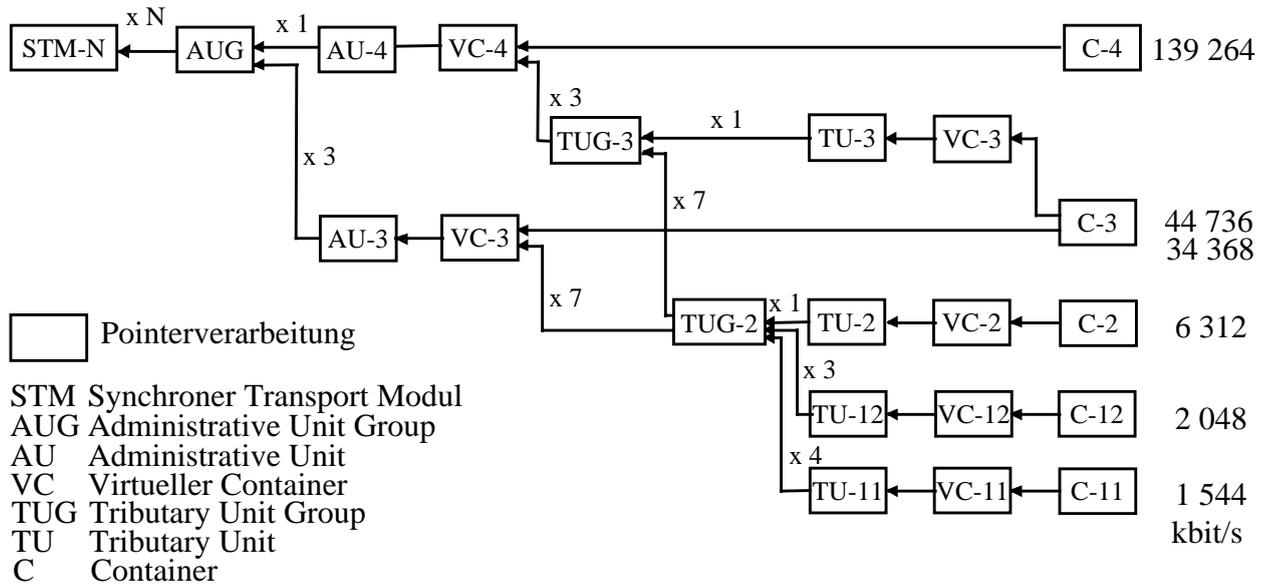


Abb. 4-14: Zusammenhang zwischen Containern, Bitraten in SDH

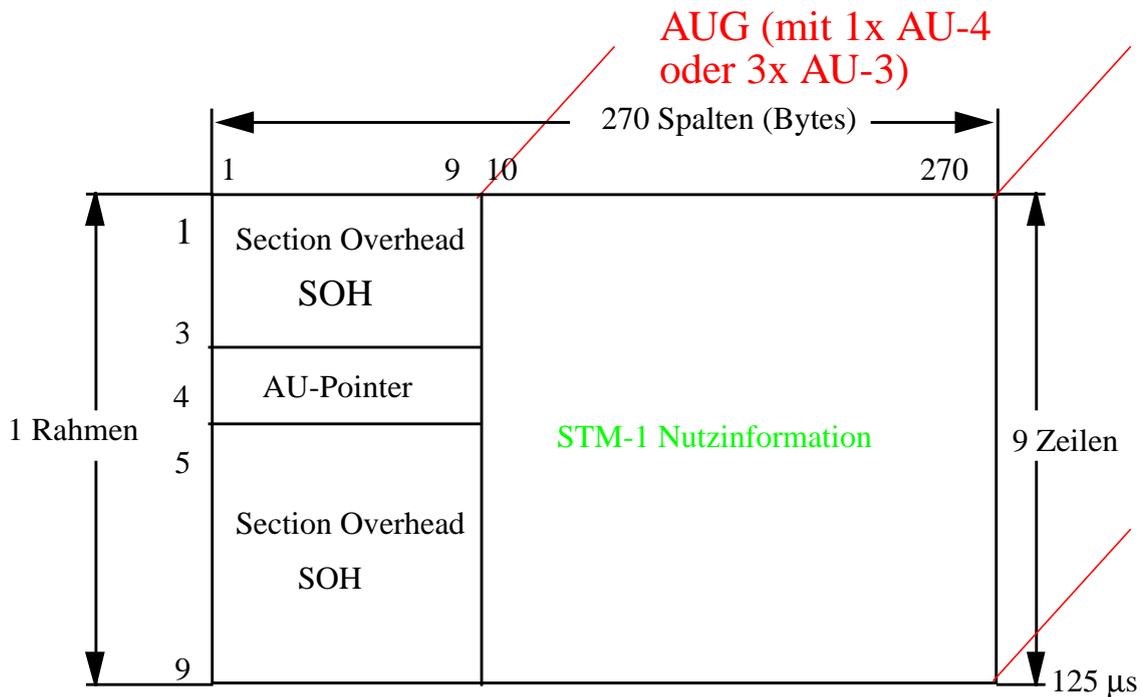


Abb. 4-15: Aufbau eines STM-1 Rahmens

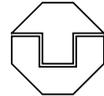
Multiplexelemente

AU **Administrative Unit** im STM-1; es gibt AU-4 und AU-3, s. Abb. 4-14:

AU + SOH + AU-PTR ergibt den **STM-1 Rahmen mit 9 x 270 Byte**

C **Container**; es gibt C-11 ... C-4, s. Abb. 4-14:

netzsynchrone Übertragungskapazität



POH	Path Overhead Zusatzinformation zum zuverlässigen Ende-zu-Ende-Transport der Container
C + POH Pointer (PTR)	ergibt VC (gesicherte, „gemanagte“ Ende-zu-Ende-Verbindung) Datenzeiger Positionsangabe und Phasenbeziehung zwischen Nutzinformation und dem übergeordneten Rahmen, d.h. auch Stopf-Funktion dadurch kein Rahmenpuffer (mit entsprechender Laufzeit) erforderlich, Information "wandert" durch den Rahmen
SOH	Section Overhead im STM-1 abschnittsweise Zusatzinformation (8 x 9 Byte) zur Verwaltung des Synchronnetzes, z.B. Dienstkanäle für Netzmanagementfunktionen
TU	Tributary Unit (auffüllen auf nächsthöhere Bitratenebene)
TUG	Tributary Unit Group (n x TU)
VC + PTR	ergibt TU bzw. AU
STM-N	Synchronous Transport Module level N Multiplex-Bitraten $N \times 155.52$ Mbit/s (N ganzzahlig) nach G.707: STM-1: 155 Mbit/s STM-4: 622 Mbit/s STM-16: 2488 Mbit/s (verfügbar) STM-64: 9952 Mbit/s (in Entwicklung) STM-256: 39808 Mbit/s (in der Vorentwicklung)

Bemerkung: Höhere Bitraten oberhalb von STM-1 werden durch bytweweises Multiplexen erzeugt (ohne Zusatz-Overhead, d.h. ganzzahlige Vielfache), d.h. der Netzmanagement-Overhead ist vollständig in STM-1 enthalten.

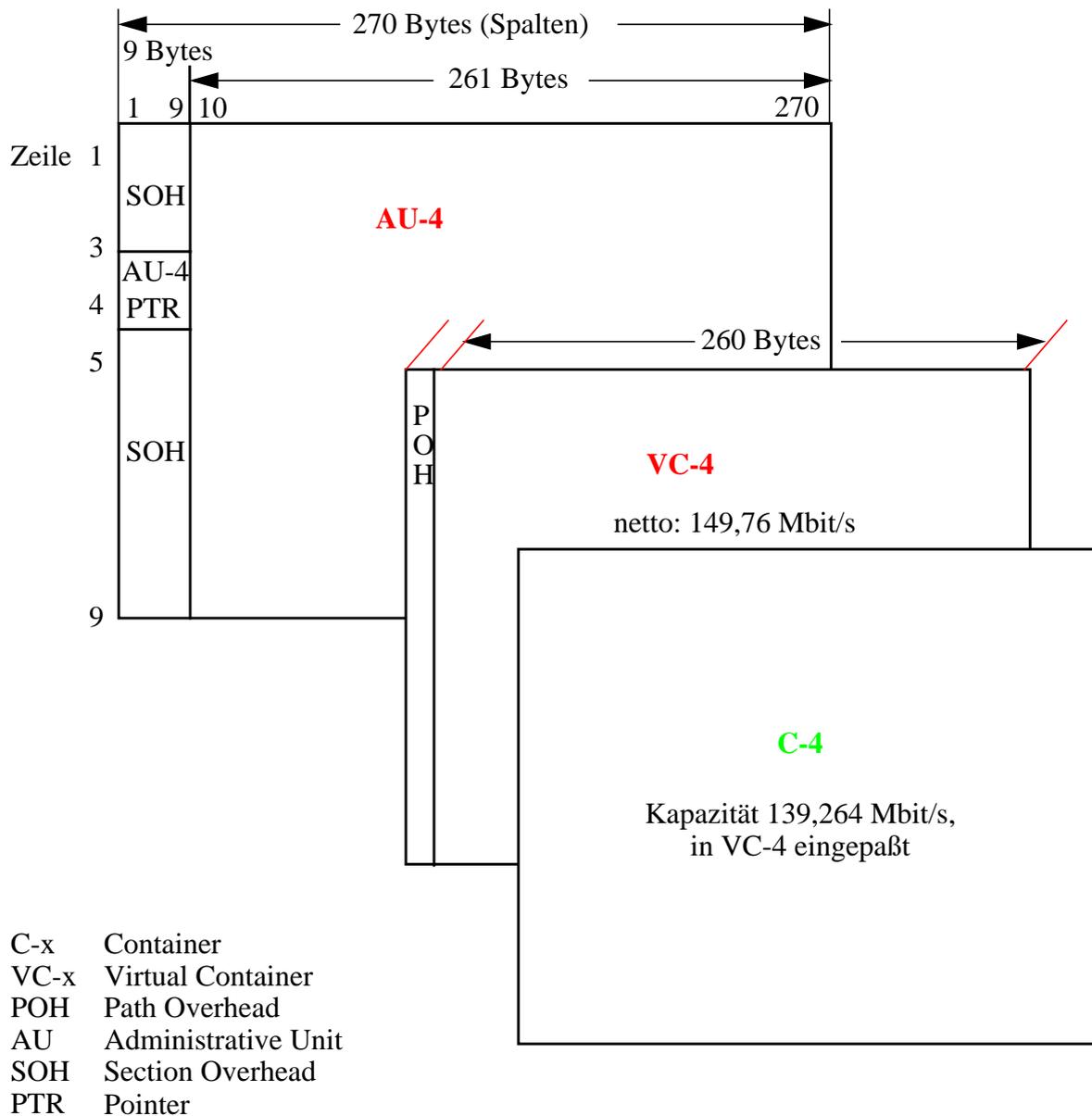


Abb. 4-16: Bildung der Administrative Unit (AU) aus VC-4 und AU-4 Pointer im STM-1 Rahmen (2430 Byte / 125 μ s)

- Zubringerkanäle im Payloadbereich untergebracht
- Zubringer aus jeder Ebene der PDH möglich
- Container: Grundverpackungseinheit für Zubringerkanäle
- Möglichkeit zum Stopfen zur Anpassung der plesiochronen Zubringer an den synchronen Netztakt; feste Füllbits bei synchronen Zubringern

- VC-4 POH: enthält Pfad-Kennung (J1), Paritätswort (B3), VC-Payload-Kennung (C2), Pfad-Status (G1), Pfad-Benutzerkanal (F2), Überrahmenkennung (H4), Reservekanäle (Z3-Z5); 9 Bytes
- Zusammen mit dem Pointer entsteht die Administrative Unit AU bzw., wenn mehrere Container zu einer Gruppe zusammengefasst werden, die Tributary Unit TU.
- Mehrere TU bilden eine Tributary Unit Group TUG, die wiederum in einem Container zusammengefasst werden kann.
- Die AU bildet mit dem SOH den STM-1.

Pointertechnik

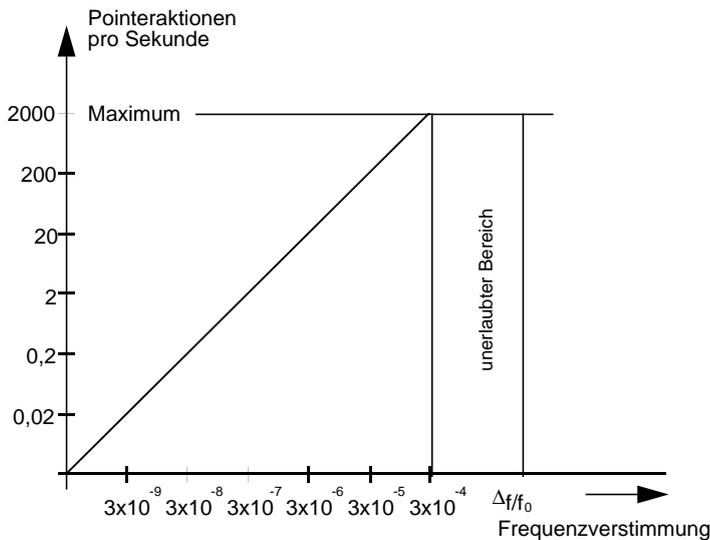


Abb. 4-17: Pointeraktionen (Inkrement oder Dekrement) als Funktion von der Verstimmung

SDH-Multiplexer werden von einer zentralen Taktquelle hoher Genauigkeit kontrolliert. Bei Phasenschwankungen im realen Netz und bei grenzüberschreitendem Verkehr kann eine Pointeranpassung erforderlich werden. Der Pointer kann nach Vorankündigung nur mit jedem vierten Rahmen verändert werden und betrifft dann genau 3 Bytes.

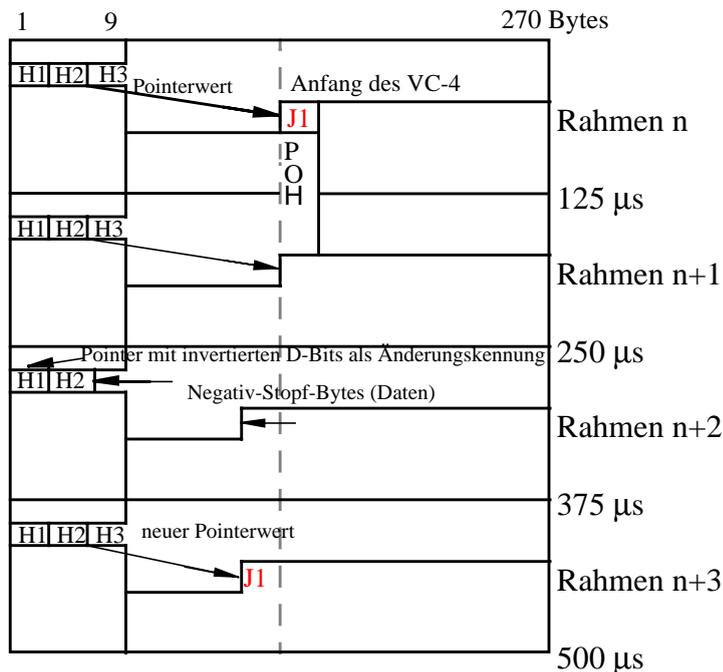


Abb. 4-18: Pointeränderung im Fall des Negativstopfens

Bei einer Verschiebung des Pointers in zeitlich spätere Richtung (in der Zeichnung nach rechts), werden die direkt davor liegenden 3 Bytes ignoriert. Ist die sendende Quelle schneller als der aktuelle Takt, muß Platz für eine Zusatzkapazität geschaffen werden. Dies geschieht an der Stelle des Pointers, wohin jeweils 3 Bytes „rutschen“. Falls keine erneute Taktanpassung vorgenommen wird, schiebt sich diese Konfiguration durch die Netze.

Zusammenfassung: (wichtige Eigenschaften von SDH)

- Weltweit einheitlicher Übertragungsstandard
- Spezifizierter Overhead reserviert für abschnittsweise (SOH) und pfadweise (POH) Signalisierung zum Netzmanagement
- Einfaches Einfügen / Herauslösen von Datenströmen aus dem Multiplex (Add/Drop-MUX) ohne dass das gesamte Multiplex aufgelöst werden muss
- ... dadurch ausfallsichere Ringstrukturen einfach zu realisieren
- Vereinfachtes Stopfen zur Taktanpassung ohne Frame Alignment Buffer; dadurch keine Extralaufzeit
- Zukunftssichere Bitratenhierarchie durch byteweises Multiplexen oberhalb von STM-1
- Technisch aufwändig in der Realisierung durch komplexe Pointer-Mechanismen, die in Echtzeit ausgeführt werden müssen
- Bereitstellung höherer Netto-Bitraten (> 140 Mbit/s) durch Zusammenfassen mehrerer VC-4 aufwendig -> neuer Standard für hochbitratige optische Übertragungssysteme in der Diskussion: eigener Signalisierkanal in einem WDM-System (Wavelength Division Multiplex)

4.3 Code-Multiplex

Jedem Signal steht eines von mehreren Trägersignalen zur Verfügung, die durch zueinander orthogonale Codewörter (Spreizfolgen) definiert sind. Jede Spreizfolge $c_i(t)$ besteht aus einer Folge sog. *Chips*. Die zu übertragende binäre Datenfolge $d_i(t)$ wird mit dieser Spreizfolge multipliziert. Infolge der Orthogonalität können je nach Länge der Spreizfolgen viele Teilnehmer gleichzeitig im Multiplex Daten senden und korrekt empfangen (CDMA).

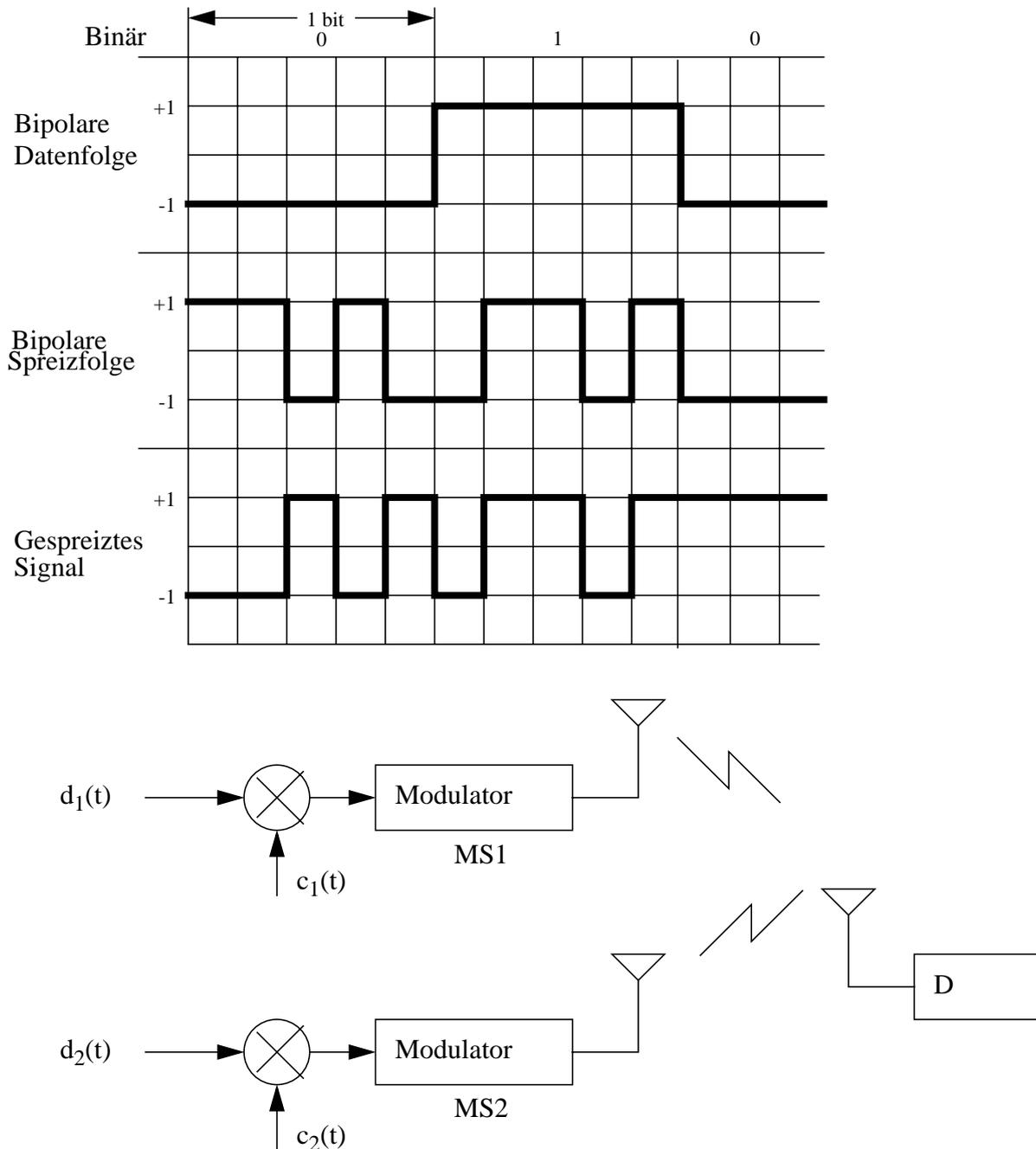


Abb. 4-19: Codemultiplex

Einsatzgebiete: Mobilfunk, xDSL, Powerline Communications

5 Vermittlungs- und Übermittlungsverfahren

Was ist Vermittlung?

Die Grundaufgabe eines Kommunikationssystems besteht darin, aus der Gesamtheit aller Teilnehmer jeweils zwei (ggfs. auch mehrere) bestimmte Teilnehmer vorübergehend miteinander zu verbinden, so dass diese Nachrichten austauschen können. Wegen der Forderung nach wahlweiser, freizügiger Zuordnung der Teilnehmer und auch aus wirtschaftlichen Gründen ist es meist nicht sinnvoll, diese fest miteinander (Standleitungen) zu verbinden. Stattdessen werden alle Teilnehmer an Vermittlungseinrichtungen angeschlossen, die aufgrund der Verbindungsanforderungen der Teilnehmer und mithilfe geeigneter Steuerungsprotokolle für eine begrenzte Zeitdauer individuelle Verbindungswege schalten.

Der Vermittlungsvorgang kann prinzipiell nach zwei grundsätzlich verschiedenen Verfahren durchgeführt werden:

- Durchschaltevermittlung, (früher) auch Leitungsvermittlung genannt,
- Paket- bzw. Blockvermittlung

Die Zusammenfassung von Vermittlung und Übertragung wird Übermittlung genannt. Übermittlungsverfahren sind Verfahren, die sowohl in einer Vermittlung (als „Durchschaltemechanismus“) als auch auf einer Übertragungsstrecke (als Multiplextechnik) eingesetzt werden können.

5.1 Durchschaltevermittlung (Circuit Switching)

Hier wird den Kommunikationspartnern für die Dauer der Verbindung exklusiv ein durchgehender Übertragungskanal zur Verfügung gestellt. Dies kann

- ein fester physikalischer Kanal (Leitung -> Relaisstechnik),
- eine feste Bandbreite (fester Zeitschlitz, fester Code) in einem Multiplex

sein. Der Netzknoten (Vermittlung) besteht aus einer Koppelanordnung und einer Steuerung. Der Vermittlungsvorgang läuft in drei Phasen ab:

- Verbindungsaufbau (entlang des zu schaltenden Weges) -> „Signalisierung“,
- Datenübertragungsphase, z.B. Gespräch,
- Verbindungsabbau (entlang des zu schaltenden Weges) -> „Signalisierung“

Technisch ist eine Koppelanordnung eine elektronische Schaltmatrix, die in einer der möglichen Multiplextechniken ausgeführt sein kann.

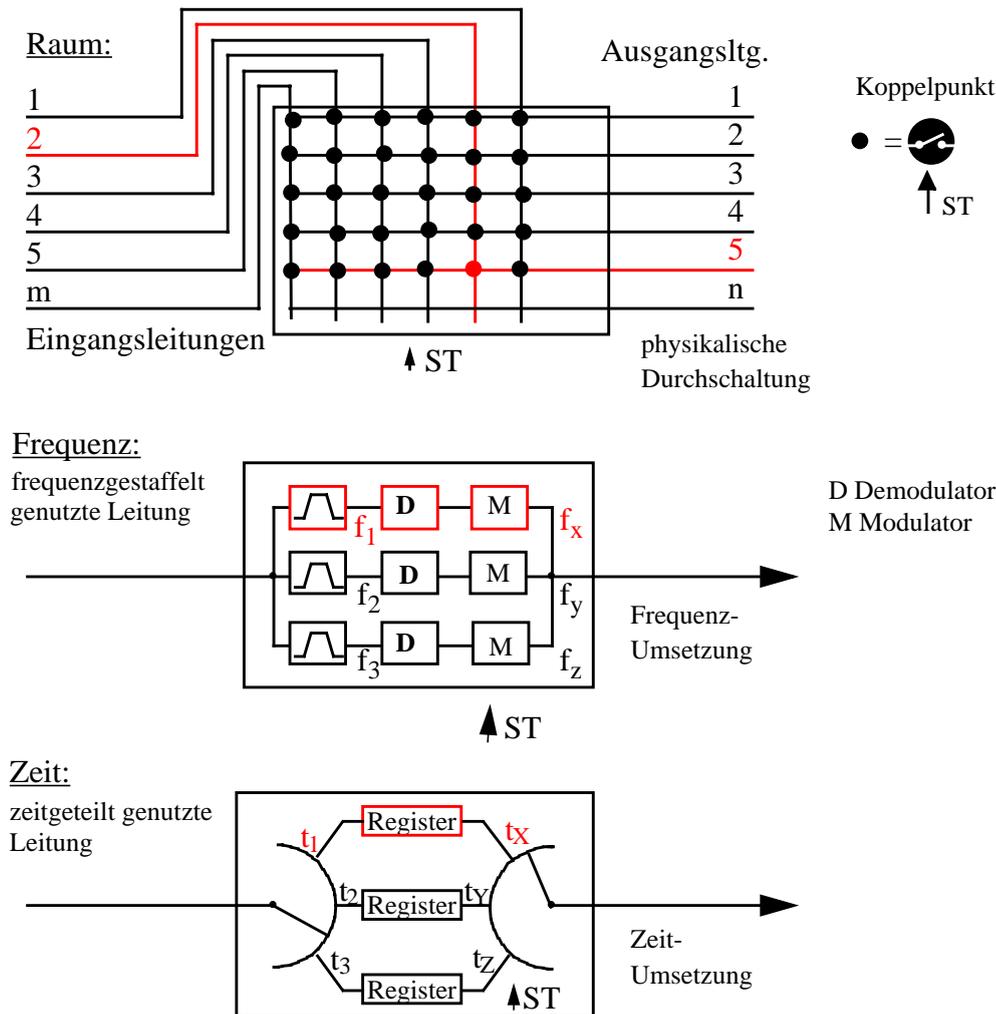


Abb. 5-1: Vermittlungsprinzipien für Durchschaltvermittlung (Raum-, Frequenz- oder Zeitvielfach)

5.2 Speichervermittlung (Store-and-Forward Switching)

Es gibt mehrere funktionsähnliche Vermittlungsverfahren, die darauf beruhen, dass die Nachrichten unter Verwendung von Zwischenspeichern in den Netzknoten von der Quelle zur Senke übertragen werden. Die Zwischenspeicher ermöglichen das Warten der zu übertragenden Nachrichten (-segmente) auf das Freiwerden der im Zeitmultiplex betriebenen Leitungen.

Gemeinsame Eigenschaften:

- Dateneinheiten beschränkter Länge (ganze Nachricht oder Segmente)
- Dateneinheiten tragen eine Kennung, die zur Adressierung dient
- Vermittlung mit Hilfe von Speichern
- **Multiplexen** mehrerer Verbindungen auf den Zwischenleitungen

- Verkehrslenkung („Routing“) anhand der Kennung

5.2.1 Sendungsvermittlung (Nachrichtenvermittlung, engl. Message Switching)

Bei der Sendungsvermittlung werden die zu sendenden Nachrichten (messages) zum Ziel übermittelt, ohne dass sie unterwegs in kleinere Nachrichtensegmente zerlegt werden. Die Übermittlung erfolgt verbindungslos.

Nachteile:

- Bei langen Nachrichten: lange Wartezeit auf die Übertragung
- Bei Fehlern Wiederholung der gesamten Nachricht erforderlich

Vorteil:

- nur einmal Zielanalyse (aus Nachrichtenkopf) durchzuführen

5.2.2 Paketvermittlung (Packet Switching)

Funktionsprinzip

- Zerlegung des Nachrichtenstroms in Einheiten (Segmente) mit einer vorgegebenen Maximallänge, sog. „Pakete“ (packets)
- Hinzufügen eines Paketkopfs (header) in dem Ziel bzw. Zwischenziele als Wegeinformation (Routing) abgelegt ist
 - > Header erzeugt zusätzlichen Kommunikationsbedarf „Overhead“
 - > Nutzinformation befindet sich im sog. Informationsfeld („Payload“)
- Multiplexprinzip: dynamisches (statistisches) Zeit-Multiplexen
- Zwei Arten des Routings sind möglich: Virtual Channel oder Datagram
 - **Virtual Channel**: Pfad wird bei Verbindungsaufbau festgelegt, alle Pakete entlang desselben Pfads
 - **Datagram**: jedes Paket „sucht“ sich seinen Weg selbst
evt. effizienter, aber Reihenfolge i. Allg. zerstört, Wiederherstellung der Reihenfolge („Resequencing“) erforderlich

Einsatzgebiete

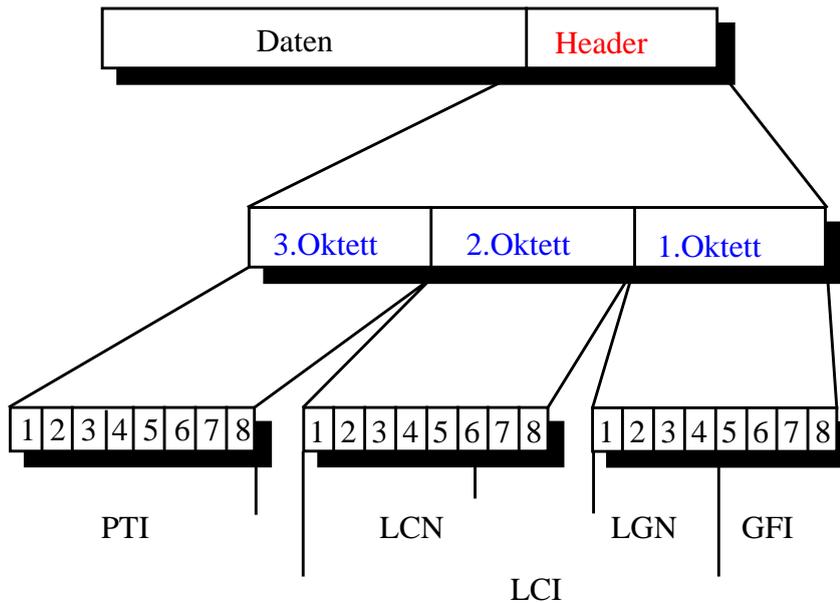
- Nachrichtenquellen mit variabler Datenrate:
 - Datenkommunikation: d.h. Abwechslung aktiver und inaktiver Kommunikationsphasen mit evt. langen Pausen
 - Quellen mit kurzzeitig hoher Maximalbitrate
- Auch nach langer Pause sofort zu bedienendes Kommunikationsbedürfnis ohne Warten auf Verbindungsaufbau
- i. Allg. ökonomischer als Standverbindung oder semipermanente Verbindung über großen Zeitraum - bei Volumen-abhängiger Tarifierung

Standards:

- ITU: X.25 User Network Interface (UNI)
- ITU: X.75 Network Node Interface (NNI), Gateway-Funktion

Realisierte Netze (Beispiele):

- ARPANET (USA, 1974), Ausgangsbasis für das heutige Internet
- DATEX-P (D, 1981); heute ca. 100 000 Tln, Zugang direkt oder über ISDN



GFI General Format Identifier (Grundformat)
 LGN Logical Group Number (Logische Gruppennummer)
 LCN Logical Channel Number (Logische Kanalnummer)
 LCI Logical Channel Identifier (Logische Kanalkennung)
 PTI Packet Type Identifier (Pakettyp)

Abb. 5-2: Aufbau eines X.25 Pakets

Einflußfaktor	Kurzes Informationsfeld	Langes Informationsfeld
Qualität : Paketierungsverzögerung bei Fernsprechen Echo-Maßnahmen bei Zweidrahtumgebung Auswirkung von Paketverlusten	◆ ◆ ◆	

Tab. 5-1: Einflußfaktoren für die Informationsfeldgröße bei Paketvermittlung (positiv: ◆)

Effizienz / Kompatibilität : Overhead durch Header Verhältnis zur Blocklänge bestehender Protokolle ... kurze Blöcke ... lange Blöcke	♦	♦ ♦
Implementierung / Aufwand : Speicherbedarf Arbeitsgeschwindigkeit (Headerauswertung)	♦	♦

Tab. 5-1: Einflußfaktoren für die Informationsfeldgröße bei Paketvermittlung (positiv: ♦)

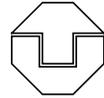
5.2.3 Zellenvermittlung: Asynchroner Transfer Modus (Asynchronous Transfer Mode - ATM)

Eigenschaften

- Prinzip: Variante der Paketvermittlung; Pakete konstanter Länge werden hier „Zellen“ genannt
- kurze Zellen mit Payload 48 Byte, Header 5 Byte, Ziel: kurze Paketierungsdauer (06.1990 als Kompromiss zwischen japanischem, US-amerikanischem und europäischem Vorschlag)
- Entwickelt für Hochgeschwindigkeitsnetze; heute das einheitliche Übermittlungsverfahren für alle Dienste im Breitband-ISDN (B-ISDN); Haupteinsatz: Transportnetze (backbone)
- ca. 10 % Overhead durch den Header
- Routing durch Information im Header
- virtuelle Verbindungen, damit ist die Zellenreihenfolge (Cell Sequence Integrity CSI) gewährleistet
- i. Allg. auf Zellenebene synchrones Verfahren (getaktet) mit Leerzellen (idle cells) wenn gerade keine Nutzinformation zu übertragen ist
- Fehlerschutz nur für den Header; damit Datenfehlerrate durch die Fehlerraten der (optischen) Übertragungstechnik bestimmt
- jede Datenrate unterhalb der maximalen kann übertragen und vermittelt werden ⇒ Flexibilität
- Puffer serialisieren Zellenkollisionen -> Paketvermittlung
- ggfs. Empfangspuffer für isochrone Datenströme zum Ausgleich unterschiedlicher Laufzeiten im Netz
- Pufferüberlauf ⇒ Zellenverlust ⇒ Nachrichtenverlust
- ursprünglich prinzipiell keine Flusskontrolle, heute jedoch teilweise bei ABR (Available Bitrate), komplexe Mechanismen des Internet-Protocol Stacks werden zunehmend übernommen

Begriffe und Klassifizierung von Betriebsarten

- ATM: Obergriff für das asynchrone Übermittlungsverfahren, standardisiert 1988



- ATD (ATDM): Multiplexierungsverfahren mit konstanter Zellenlänge (erstmalig vorgeschlagen von J.P. Coudreuse, CNET, Frankreich, 1984)
- FPS: Fast Packet Switching ... mit variabler Zellenlänge (wie PS)
- FCS: Fast Circuit Switching (Burst Switching)
- STM: Synchroner Transfer Modus (Synchronous Transfer Mode)¹

Gegenüber STM: Neue Parameter der Dienstgüte

- Zellenverlustwahrscheinlichkeit \Rightarrow Nachrichtenverlust
- variable Übermittlungslaufzeit (Wartepuffer)

Ermöglicht Variable Bitrate (VBR)

- Verbindungssteuerung aufwändiger: Es muss vor Verbindungsaufnahme geprüft werden, ob die neue Verbindung in den Kapazitätsrahmen aller Verbindungsgemische entlang des geplanten Weges „statistisch passt“; eine fehlerhafte Entscheidung führt zur Beeinträchtigung auch bereits bestehender Verbindungen und muss deshalb unbedingt vermieden werden
Connection Admission Control (CAC)
- Überwachung der Verbindungen: Bestehende Verbindungen müssen auf das vertragsgemäße Nutzen der vereinbarten Bandbreite überwacht werden
Usage Parameter Control (UPC), synonym: Source Policing

1. nicht zu verwechseln mit dem „Synchronen Transport Modul STM-N“ in der SDH-Technik

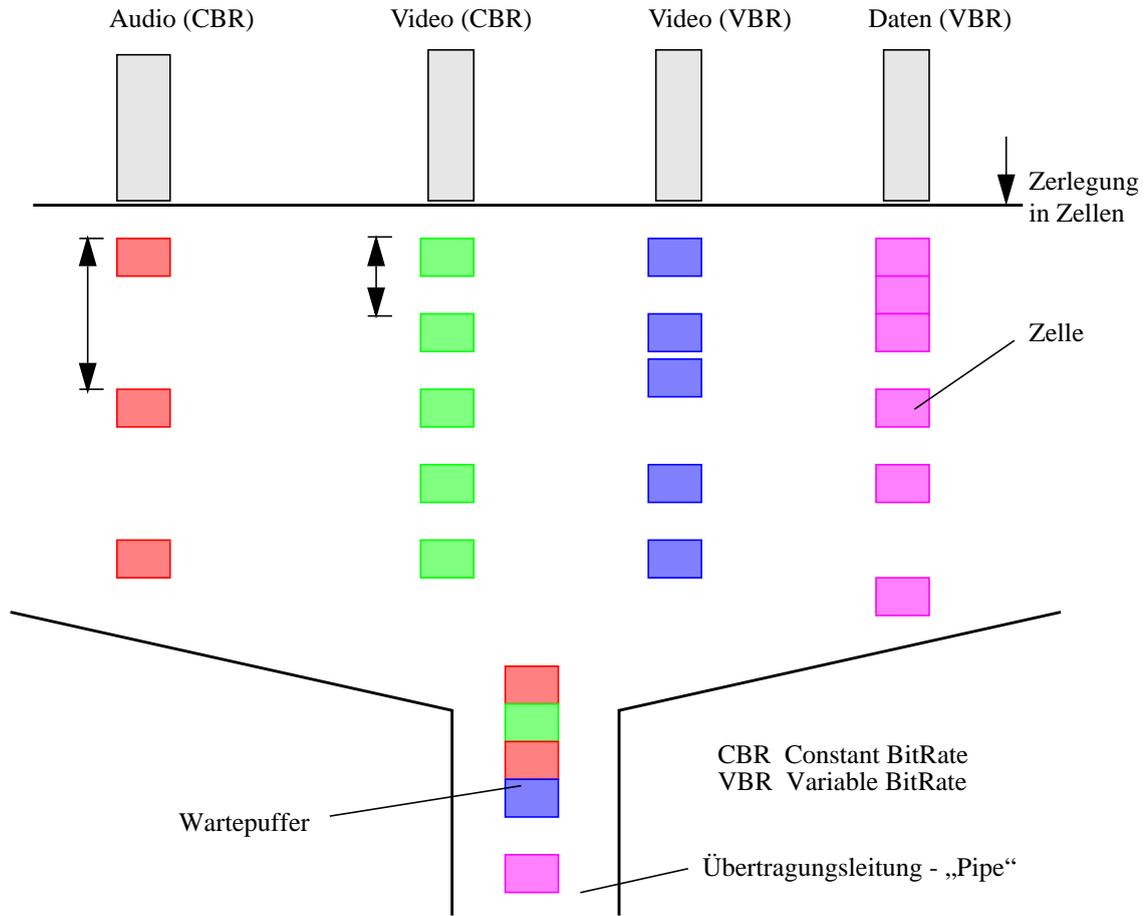
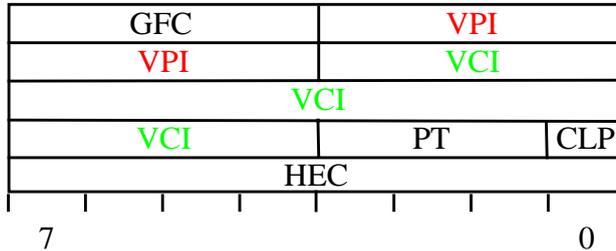
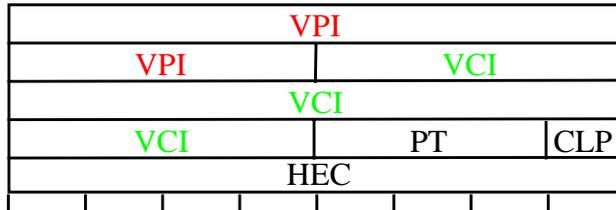


Abb. 5-3: Statistisches Multiplexen bei ATM (ohne Leerzellen)

UNI



NNI



0 Bitposition

GFC Generic Flow Control (nur UNI)
 VPI Virtual Path Identifier
 VCI Virtual Channel Identifier
 PT Payload Type
 CLP Cell Loss Priority Bit
 (0: Zelle darf vernichtet werden)
 HEC Header Error Check
 (CRC-Verfahren)

Abb. 5-4: Headerstruktur einer ATM-Zelle am User Network Interface (UNI) und. Network Node Interface (NNI)

Kontrollmechanismen

Beispiel: Usage Parameter Control für (VBR) Quellen

Ziel: Überwachung des Teilnehmerverhaltens „mittlere Bitrate einer Quelle“

Problem: (mittlere und) maximale Bitrate durch *Vereinbarung* beim Verbindungsaufbau festgelegt; Quelle befindet sich an einem Hochgeschwindigkeitanschluß (z.B. 155 Mbit/s):
Wie wird sichergestellt, dass die mittlere Sendebitrate nicht überschritten wird?

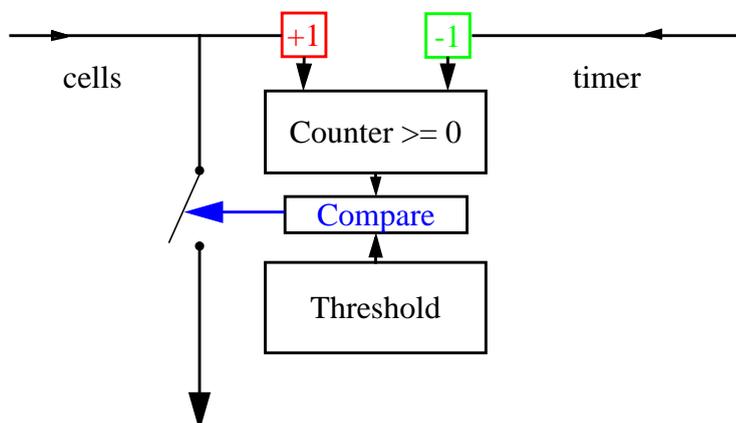
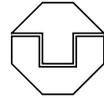


Abb. 5-5: UPC-Verfahren „Leaky Bucket“



Funktionsprinzip und Eigenschaften

- Ankommende Zellen inkrementieren den Zähler
- Timer mit Dauer $1/\text{mittlere Zellrate}$ dekrementiert Zähler (solange Zählerstand größer null)
- falls Zählerstand \geq Grenzwert: vernichte Zellen -> öffne Schalter
- Zählergrenzwert (Threshold) bestimmt die zulässige „Burstiness“ der Quelle
- Vorteil: einfache Implementierung
- Nachteil: für jede Quelle erforderlich
- Nachteil: großer Einfluss der Burstdauer; evt. Vernichten von Zellen, obwohl der Mittelwert der Zellrate korrekt
- Nachteil: zu großer Zählergrenzwert erhöht Dauer bis zum Erkennen unbotmäßiger Quellen

Leaky Bucket ist das heute meistverwendete UPC-Verfahren.

6 Kommunikationsprotokolle

6.1 Standards der Telekommunikation

Warum? Weltweite Kommunikation über ein Netz erfordert

Vereinbarungen über

- Struktur \Rightarrow funktionell ähnlicher Aufbau erforderlich
- Kommunikationsabläufe \Rightarrow zeitliche und logische Abfolge der Kommunikation
- Schnittstellen \Rightarrow Pegel und andere el. Kennwerte, Stecker und -belegung

Standards beschreiben nur den Rahmen, aber nicht eine bestimmte Technik, um die Innovation nicht zu behindern.

Wichtig: Raum für spätere Erweiterung des Standards!

Offenes Kommunikationssystem: Endgeräte ohne Anpassungsschaltung direkt anschließbar
Beispiel: Telefonnetz („größter technischer Apparat der Erde“)

Standards für Schnittstellen (Interfaces)

Aus der ITU-T Standards der Serie ...

- G.xxx Übertragungstechnik (ab G.700: digitale ÜT)
- I.xxx ISDN (ab I.300: B-ISDN)
- V.xxx Datenübertragung (über analoge Leitungen, z.B. V.24, Modems V.32)
- X.xxx Datennetze in Digitaltechnik (z.B. X.25, X.75 (Packet Switching))

Bestandteile von Interface-Standards

Mechanische Bedingungen:

- Adern-Anzahl
- Zuordnung Ader \Leftrightarrow Signal
- Steckverbinder

Elektrische Bedingungen:

- Signalparameter (Spannung, Strom,...)
- Signalform (Dauer, Flankensteilheit, Stufenanzahl)
- Taktsignale (Frequenz, Prinzip, Art der Einbindung)

Logische Bedingungen:

- Codierung, d.h. Zuordnung Signal \Leftrightarrow Bedeutung
- Zeitlicher Ablauf \Rightarrow Kommunikationsprotokoll
- Verhalten bei Fehlern

6.2 Das OSI-7-Schichten-Modell

Kommunikation ist der zeitlich und logisch ablaufende Vorgang eines Nachrichtenaustausches zwischen zwei Automaten. (Mensch als Kommunikationspartner hier ebenfalls als Automat aufgefasst.)

6.2.1 Schichten der Kommunikation

Ideen zum Entwurf einer strukturierten Beschreibung in Schichten

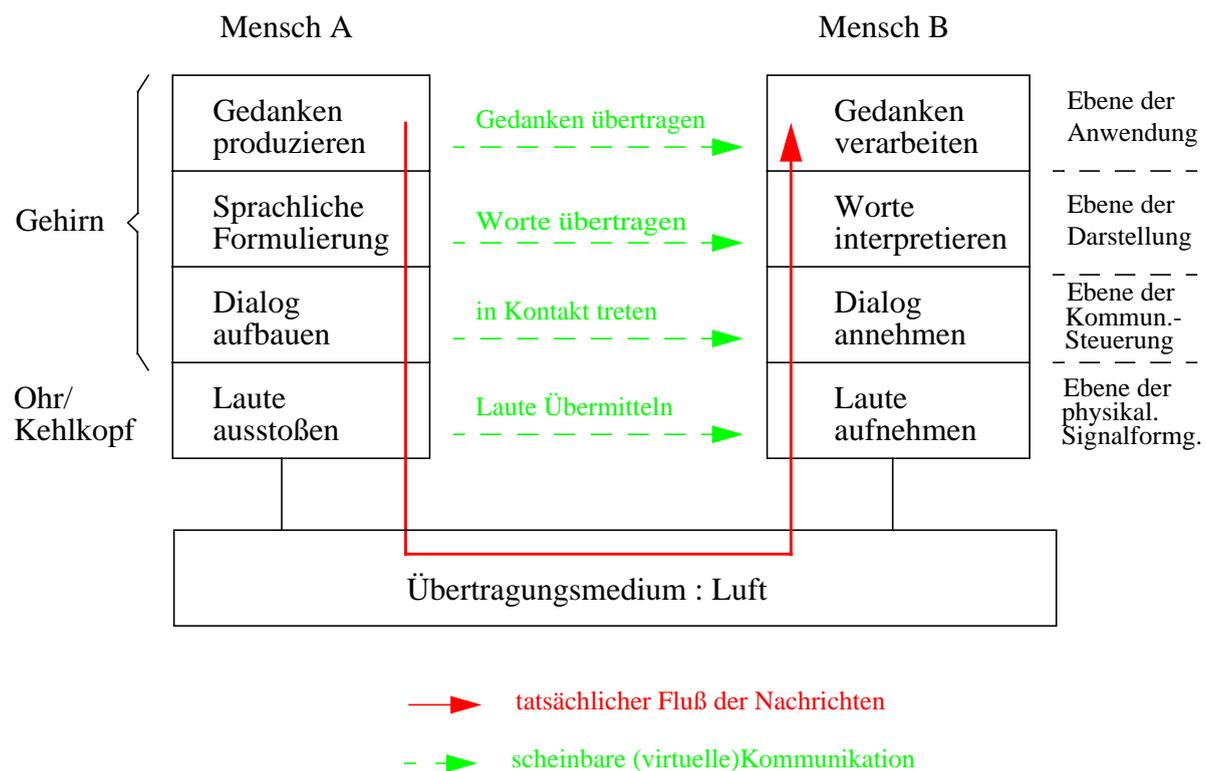


Abb. 6-1: Teilvorgänge der Kommunikation (Beispiel Mensch-Mensch, Gespräch)

Die Teilvorgänge werden in klar abgegrenzten Schichten abgehandelt, welche miteinander eindeutig hierarchisch gekoppelt sind. Für das obige Beispiel gilt:

Anwendungsschicht	behandelt den Gedankenaustausch
Darstellungsschicht	behandelt die Wortübertragung
Kommunikationssteuerungsschicht	behandelt die Dialogsteuerung
Physikalische Schicht	Anpassung an das Übertragungsmedium
Virtuelle Kommunikation	scheinbare Kommunikation in einer Schicht

Kommunikationsprotokoll

bilaterale Absprachen auf einer Schicht

Strukturierung

wohldefinierte Teilaufgaben in jeder Schicht

Der Abstraktionsgrad steigt mit der Höhe der Schicht im Protokollstapel - „Protocol Stack“

6.2.2 OSI-Referenzmodell

Open System Interconnection, entwickelt von der ISO (International Standardization Organization), definiert sieben Schichten (Layer), s. Abb. 6-2.

Das Modell entstand in der „Datenwelt“, ist aber allgemein in der Telekommunikation verwendbar.

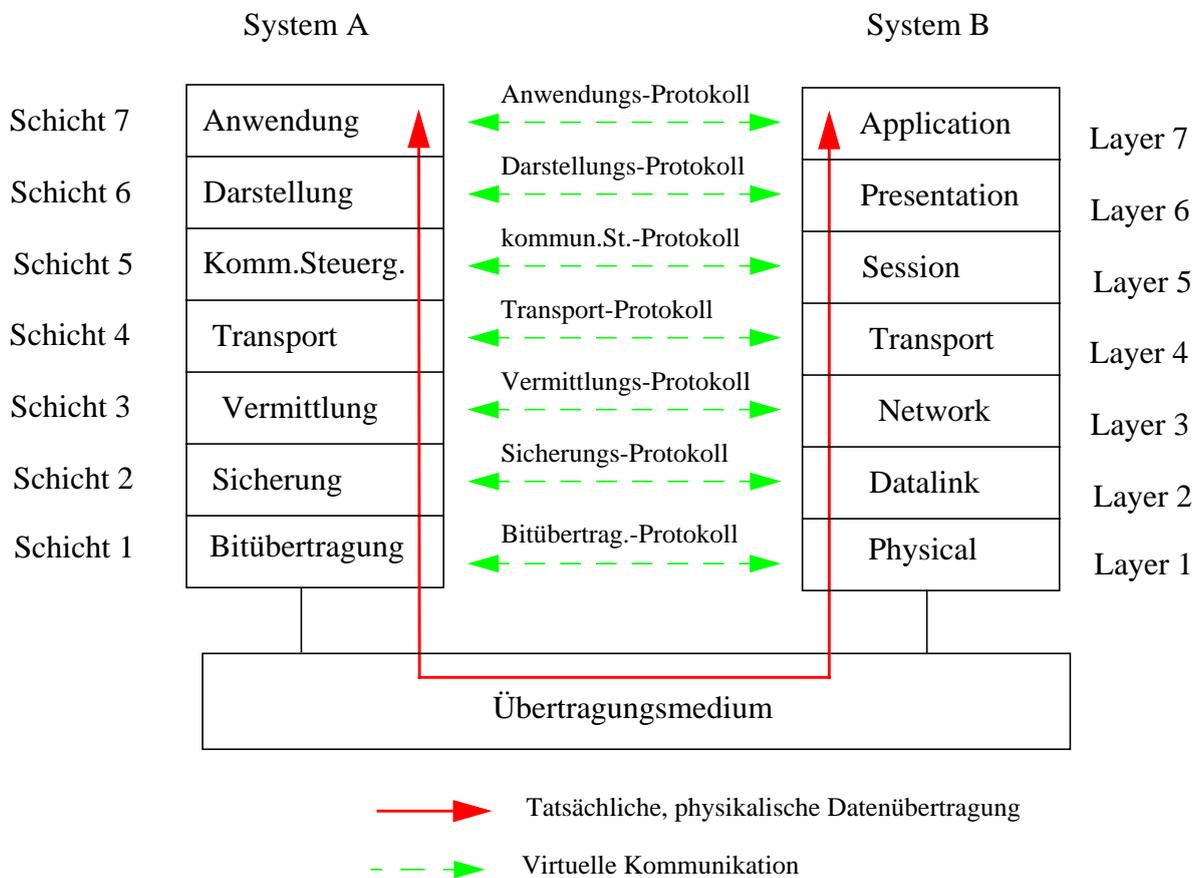
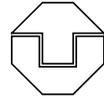


Abb. 6-2: OSI-Referenzmodell

6.2.3 Funktionen der Schichten

Allgemein: Die Schichten 1 .. 4 gewährleisten den „Netzzugang“ (transportorientierte Schichten), die Schichten 5 .. 7 realisieren die „Ende-zu-Ende Protokolle“ (anwendungsorientierte Schichten).



Schicht 1: **Bitübertragungsschicht** (physical layer)
dient zur Signaldarstellung der digital vorliegenden Information für das
benutzte Übertragungsmedium.

Schicht-1-Funktionen:

- Aktivierung, Deaktivierung von ungesicherten Systemverbindungen zwischen zwei Instanzen der Schicht 2
- Übertragung der Benutzerdaten (transparente Bitübertragung, Reihenfolge unverändert)

Einflußgrößen:

- Übertragungscode NRZ, bipolar, ...
- Übertragungsmodus seriell, parallel
- Richtungsbetrieb simplex, halbduplex, (voll-)duplex
- Gleichlaufbedingungen asynchron, synchron
- Übertragungsrate bit/s, Zeichen/s (characters per second - cps)

Übertragungscode dienen zur Anpassung der physikalischen Signale an den Kanal (Kanalcodierung). Ziel kann sein

- Gleichstromfreiheit,
- Taktrückgewinnung,
- ...

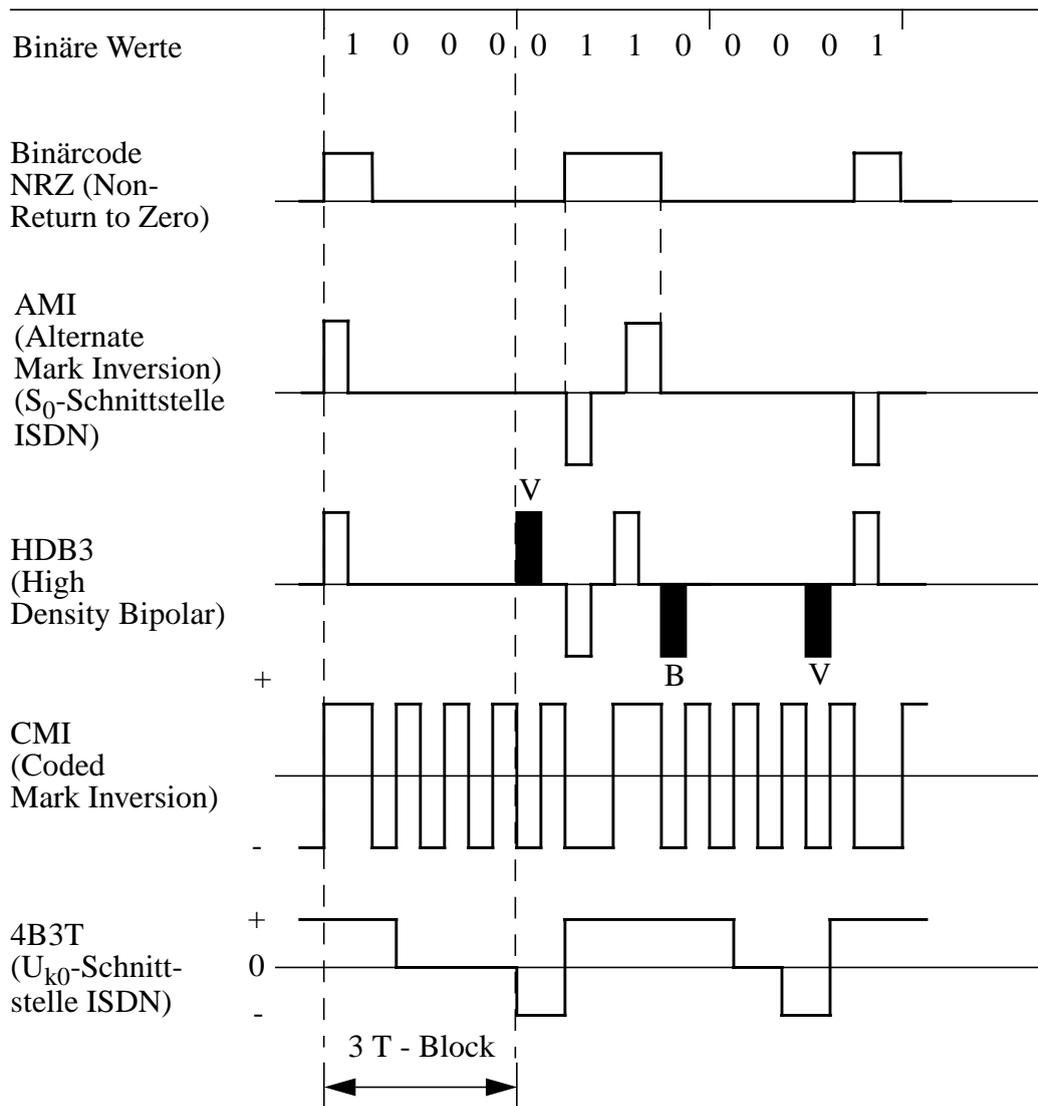


Abb. 6-3: Beispiele für Übertragungscode auf Schicht 1

In der Rechnertechnik liegen Informationen meist byteweise (oder in Vielfachen davon) gespeichert vor bzw. werden in dieser Form verarbeitet. Um Übertragungsleitungen zu sparen und um Probleme bei der Synchronisation der einzelnen Bits zu vermeiden, werden Daten häufig bitseriell übertragen.

Die sog. Parallel-Serien-Umsetzung und umgekehrt die Serien-Parallel-Umsetzung wird mittels eines Schieberegisters realisiert, s. Abb. 6-4:

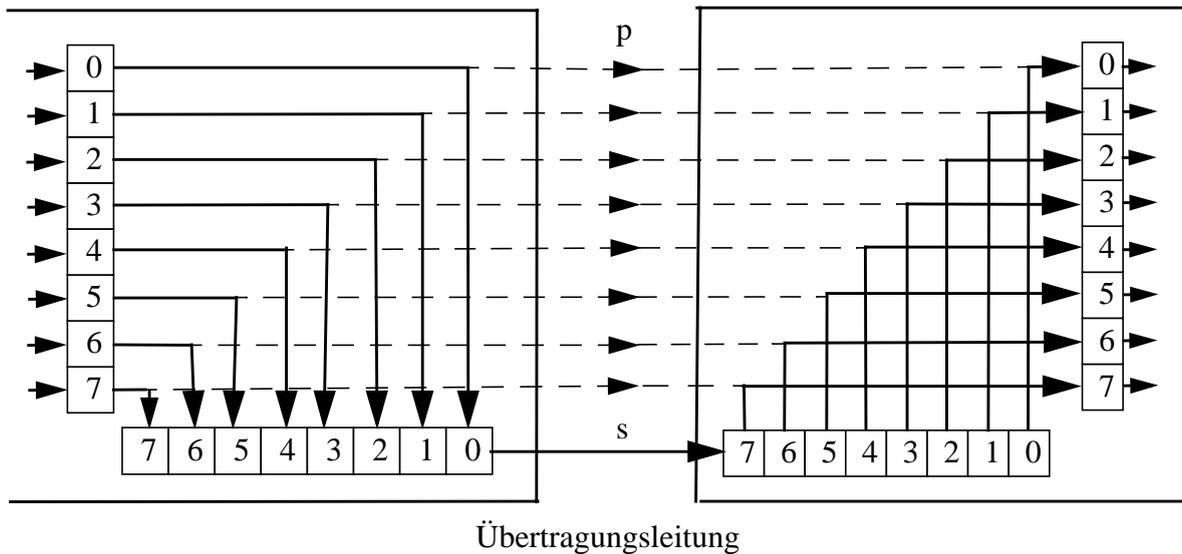


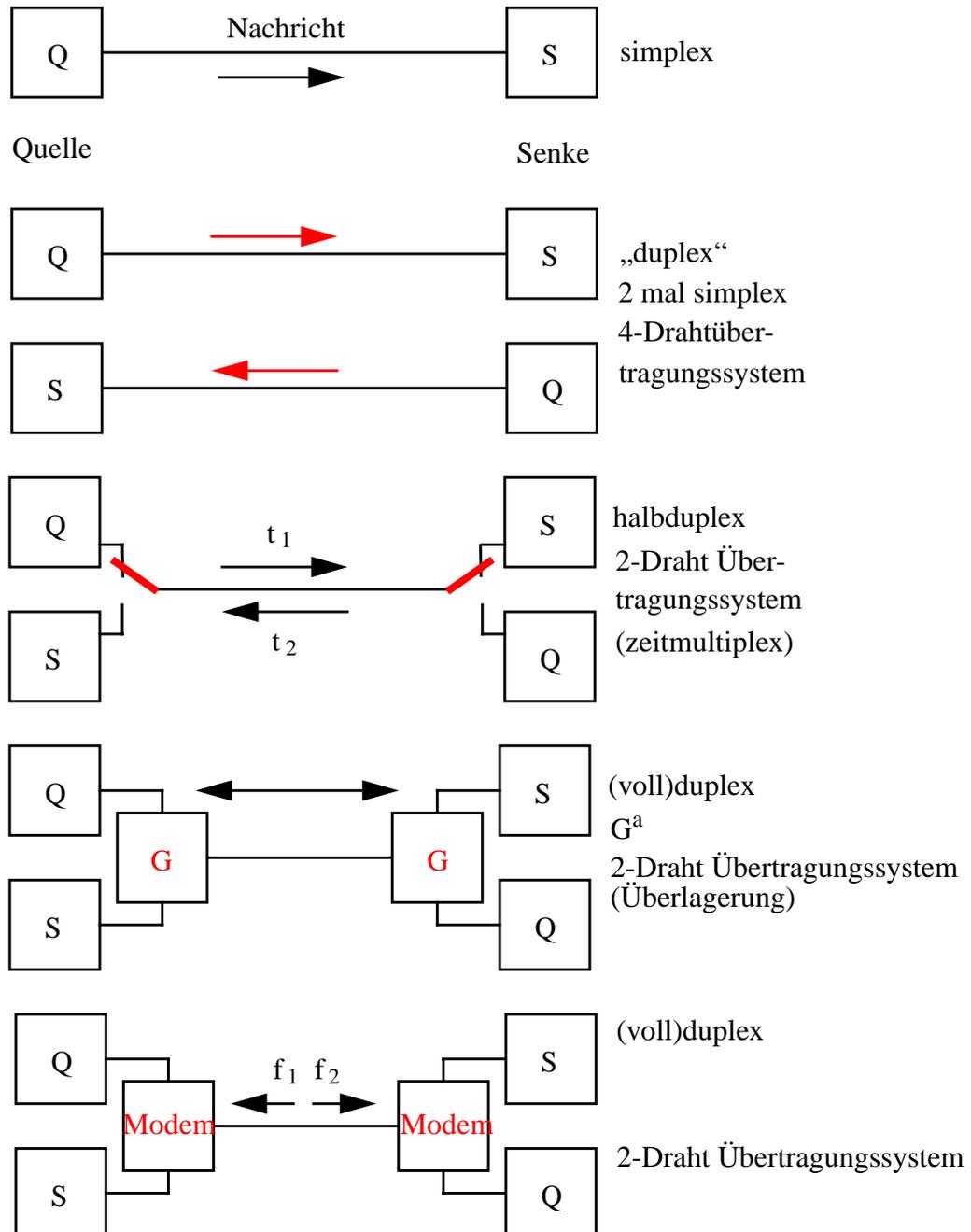
Abb. 6-4: Parallel-Serien-Umsetzung und Serien-Parallel-Umsetzung zur bitseriellen Übertragung

Da es sich hier um ein statisches Multiplexen handelt, hat die Übertragungsleitung eine um die Wortlänge vervielfachte Taktrate.

Es gibt drei Arten des Richtungsbetriebs:

- simplex
- halb-duplex
- duplex

Ziel der Telekommunikation ist meist die Duplex-Übertragung, um einen ungehinderten Dialog-Betrieb zu ermöglichen.



^aGabelschaltung führt die Richtungstrennung durch Überlagerung durch, ermöglicht Vollduplexbetrieb

Abb. 6-5: Richtungsbetrieb und technische Realisierung

Die Gabelschaltung (durch Gabelübertrager im klassischen analogen Fernsprechapparat realisiert) dient zur Trennung des Sende- und Empfangskreises um eine hohe Rückhördämpfung zu erzielen.

Die Leitungsnachbildung entspricht in ihrer Impedanz in etwa der Anschlussleitung mit der VSt. In Senderichtung hebt sich die Mikrofonspannung im Differentialübertrager weitgehend auf, so dass die eigene Sprache stark gedämpft wird. In Empfangsrichtung ist das Signal gleichphasig und wird deshalb ungedämpft an den Hörer F übertragen.

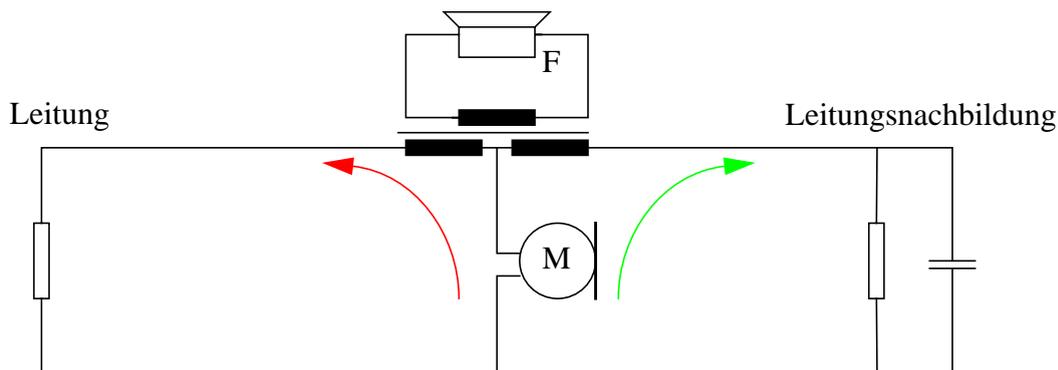


Abb. 6-6: Richtungstrennung durch Gabelschaltung im analogen Telefonapparat

Start-Stop-Verfahren

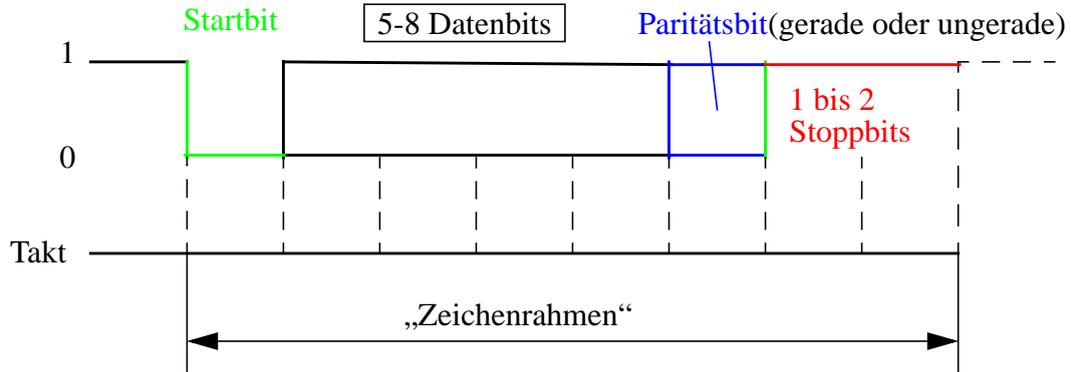
Zur Bitsynchronisation der ansonsten asynchron, bitseriell übertragenen Informationsworte verwendet man das sog. Start-Stop-Verfahren. Es wird z.B. an der sehr oft eingesetzten V.24-Schnittstelle angewandt.

Funktionsprinzip:

Der Ruhepegel des Signals ist log. „1“. Nach dem Startbit, mit dem ein Datenwort eingeleitet wird, folgen 5 ..8 Datenbits. Danach folgt ein Parity-Bit. Abgeschlossen wird das Wort mit 1..2 Stopbits. Ein Takt, der nur ungefähr die Datenrate während der Übertragung eines Worts einhalten muß, tastet die o.g. Bits ca. in der Mitte ab. Meist wird dies technisch mit dem 16-fachen Takt realisiert; dann wird mit der Vorderflanke des 8. Taktpulses das Signal abgetastet.

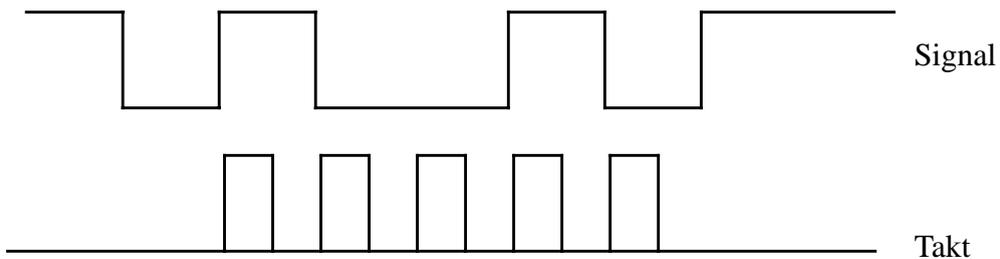
Da jedes Wort erneut „synchronisiert“ wird, ist nur eine geringe Taktgenauigkeit erforderlich.

Wegen der jeweils erneuten Synchronisation je Wort dürfen Datenwörter anisochron auftreten; etwas ungenau wird dann eine mit diesem Prinzip arbeitende Schnittstelle „asynchron“ genannt.

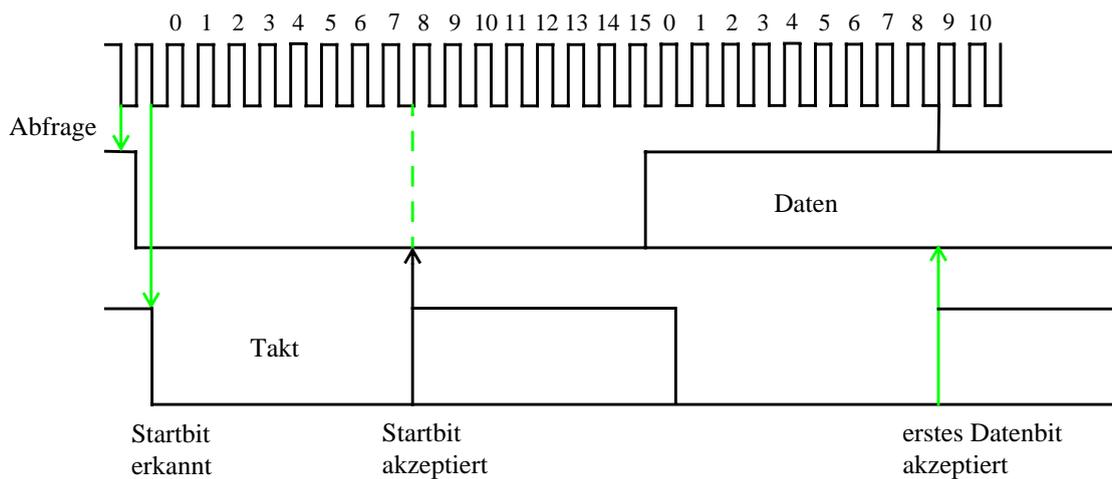


Asynchroner Zeichenrahmen für Start-Stop-Datenübertragung (Bsp.: 5 Datenbits)

Start	1	0	0	1	0	Stop
-------	---	---	---	---	---	------



Signal- und Taktfolge



Synchronisation mit 16-fachem Takt

Abb. 6-7: Gleichlaufverfahren: Start-Stop-Übertragung zur Wortsynchronisation

Schicht 2: **Sicherungsschicht** (data link layer)
 beinhaltet die Fehlersicherung bei Übertragungsfehlern durch Blockbildung und ggfs. Blockwiederholung. Bei Mehrfachzugriffssystemen auch Koordination der Zugriffe (link access)

Schicht-2-Funktionen:

- gesicherte Übertragung von Benutzerdaten höherer Schichten
- Abschnittweiser Aufbau und Abbau gesicherter Verbindungen
- Sicherung der Übertragung durch Erkennung und Behebung von Übertragungsfehlern
- Meldung von nicht behebbaren Fehlern an die übergeordnete Schicht
- ggfs. Aufteilen (engl. „Splitten“) auf mehrere ungesicherte Verbindungen
- Abschnittweise Flussregelung (engl. „Flow Control“) zur Vermeidung von Überläufen auf der Empfangsseite; Beispiel: "Handshake"-Verfahren

Sync	Start	Kopf	... Benutzerdaten ...	Blockprüfg.	Ende
------	-------	------	-----------------------	-------------	------

Sync	Sync.-Zeichen: das Bitmuster um Bytesynchronisation zu erreichen
Start	Kennung für den Beginn einer Nachricht
Kopf	Protokoll-Kontrollinformation
Benutzerdaten	Inhalt der Nachricht, d.h. Information der nächsthöheren Ebene
Ende	Kennung für das Ende einer Nachricht

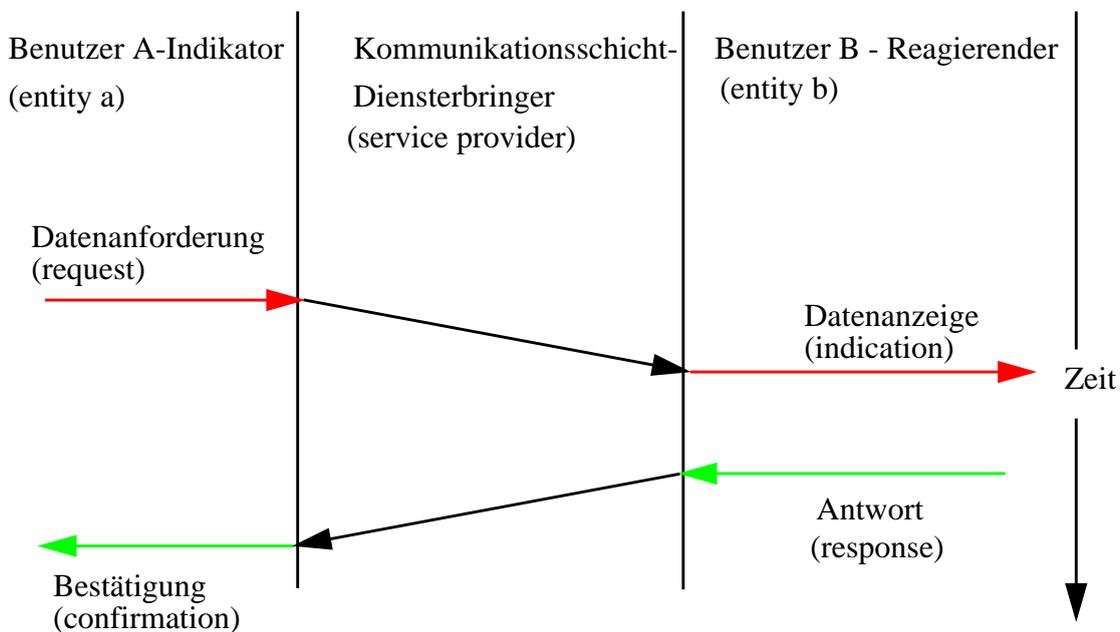


Abb. 6-8: Protokollablauf (Zeitfolgediagramm, s. Abschnitt 6.3) in der Schicht 2

Schicht 3: **Vermittlungs- oder Netzwerkschicht** (network layer)
 vermittelt die Datenströme an die Zieladressen, d.h. Kopplung von
 Endsystem-Transitverbindungen zu Endsystem-Endsystem-Verbin-
 dungen

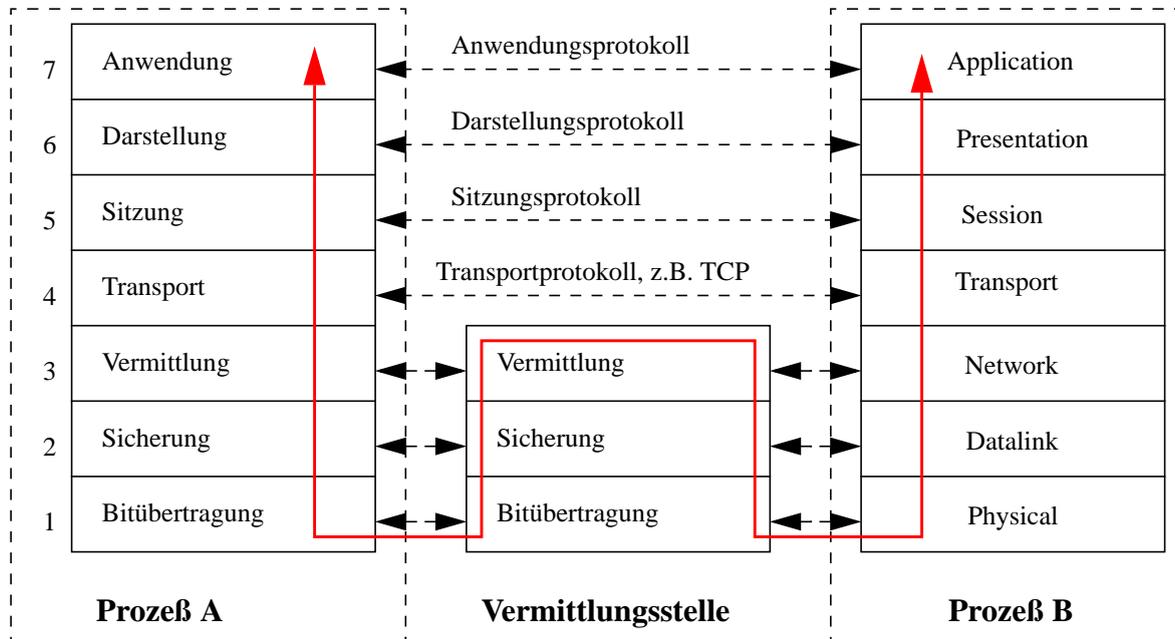


Abb. 6-9: Erweitertes OSI-Referenzmodell: Einfügung eines Transit-Systems

Schicht-3-Funktionen:

- Adressvergabe
- Wegewahl (Routing)
- Aufbau und Abbau von Verbindungen (Vermittlung)
- Multiplexen mehrerer Ende-zu-Ende-Verbindungen
- Segmentierung und Blockbildung der Benutzerdaten
- Unterscheidung von Prioritäten bei der Übertragung
- Flussregelung („Flow Control“), Ende-zu-Ende, Endsystem-bezogen
- Vereinbarung von Qualitätsparametern (Durchsatz, Verzögerungszeiten)

Dienste für übergeordnete Schicht:

- Auf- und Abbau von End-zu-Ende-Verbindungen zwischen zwei Schicht-4-Partnern mit netzweit einheitlichen Systemadressen
- transparente Übertragung von Dateneinheiten
- Meldung nicht behebbarer Fehler

Schicht 4: **Transportschicht** (transport layer)
stellt eine Ende-zu-Ende-Verbindung bereit; ist somit teilnehmerver-
bindungsorientiert, s. Beispiel in Abb. 6-10.

Schicht-4-Funktionen:

- Auf- und Abbau von **Teilnehmerverbindungen** (TIn-V.)
- Abbildung von Teilnehmeradressen auf Endsystemadressen (auf Basis der aufgebauten Endsystemverbindung der Schicht 3)
- Multiplexen mehrerer TIn-V auf einer Endsystemverbindung (Lastteilung)
- Wiederherstellen der Reihenfolge der Datenpakete (je TIn-V.)
- Aufteilen (Splitten) einer TIn-V. auf mehrere Endsystemverbindungen (Grund: Last-, Qualitäts-, Sicherheitsaspekte)
- Übertragung von Benutzerdaten je TIn-V.
- Vorrang-Datenübermittlung (hier Warteschlange vor Schicht 4)
- Ende-zu-Ende Flusskontrolle zwischen zwei TIn

Dienste für übergeordnete Schicht:

- Auswahl alternativer Netze (select)
- Meldung von Fehlern an die darüberliegende Schicht

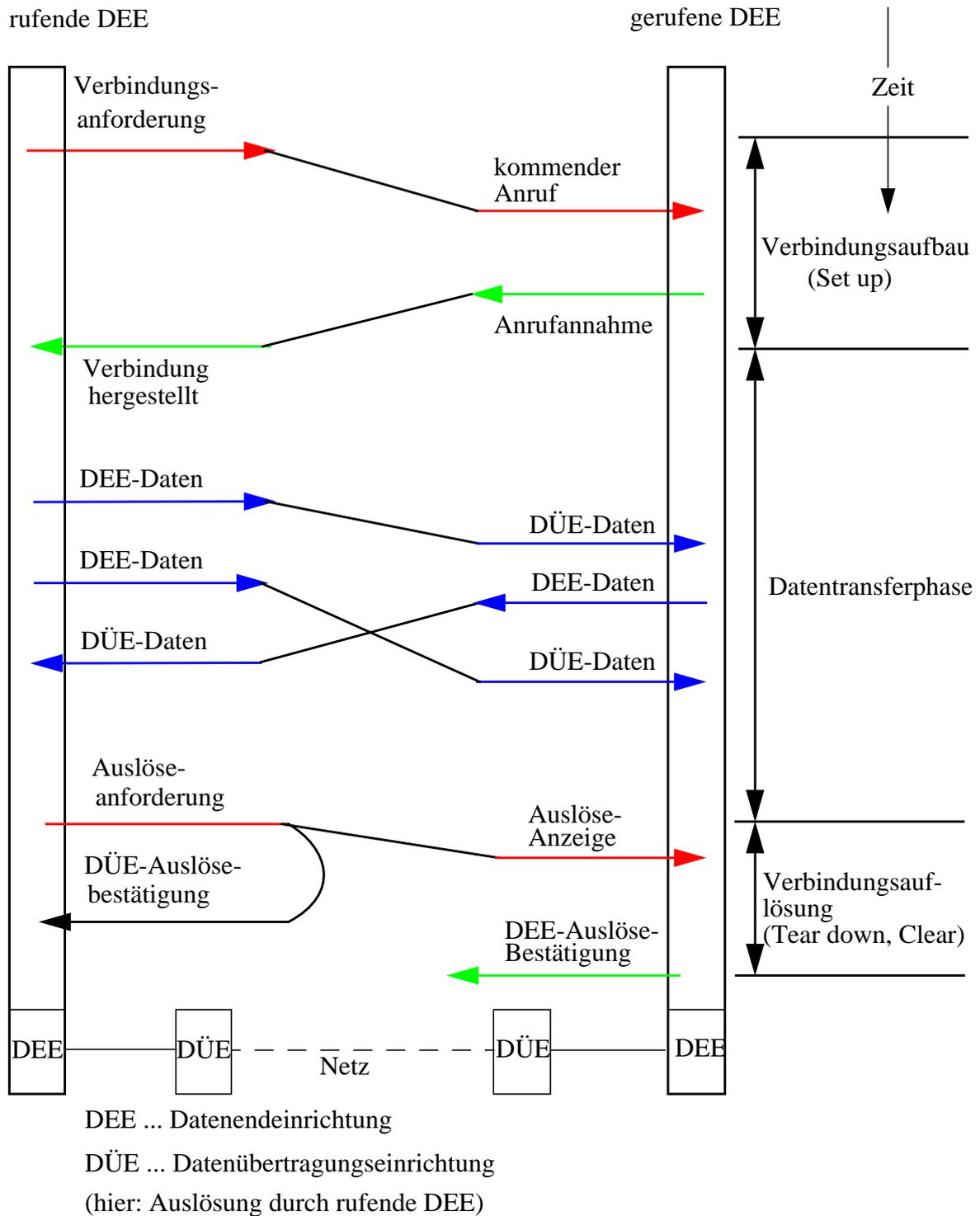


Abb. 6-10: Phasen einer gewählten (virtuellen) Verbindung

Schicht 5: **Kommunikationssteuerungsschicht** (session layer)
organisiert den Dialog zwischen den Datenstationen.

Schicht-5-Funktionen:

- Aufbau, Durchführung und Abbau von Sitzungen (Sitzung: Kommunikationsbeziehung zur gemeinsamen Durchführung einer Aufgabe)
- Dialogsteuerung, d.h. Vereinbaren der Verbindungsart (hdx, fdx)
- Erteilen der Sendeberechtigung bei hdx
- Setzen von Synchronisationspunkten, Rücksetzen des Dialogs auf diese Punkte, Resynchronisation bei Datenverlust
- Meldung von Fehlern an die darüberliegende Schicht

Dauer der Sitzung \neq Dauer der Teilnehmerverbindung, kein Multiplexen, kein Splitten, keine Flussregelung

Schicht 6: **Darstellungsschicht** (presentation layer)
sorgt für eine der *Anwendungsschicht* verständliche Darstellung der Daten.

Schicht-6-Funktionen:

- Bereitstellung von Sprachmitteln zur Vereinbarung von Begriffsvorrat und Darstellung (Syntax) für Datenstrukturen (Datentypen, Codierungsvereinbarungen, Datenkompression)
- Transformation zwischen lokaler und Transfersyntax in gehender Richtung und Transfersyntax zu lokaler Syntax in kommender Richtung

kein Multiplexen, kein Splitten

Schicht 7: **Anwendungsschicht** (application layer)
umfasst die anwendungsspezifischen Funktionen der Kommunikationspartner.

Schicht-7-Funktionen:

Dienste für Anwendungsprozesse, wie:

- Identifikation und Autorisierung der Kommunikationspartner,
- Verfügbarkeitsanfragen des Partners,
- Kostenverteilung,
- Schutzmechanismen,
- Prozeduren zur Gewährleistung der Datenintegrität
- Synchronisation der Kommunikation

Anwendung z.B. bei Auskunfts- und Transaktionssystemen, Datenbanken, Email, Nachrichtenaustausch, Hypertext-Systeme, z.B. WWW

Gestaltungsmerkmale der 7-Schichten-Struktur

- Die Grenzen der Schichten sind so gewählt, dass der Informationsfluss über die Grenzen minimal wird.
- Die Anzahl der Schichten ist so gewählt, dass pro Schicht nur eine prinzipielle Aufgabe wahrgenommen wird.
- Das Kommunikationsniveau steigt in Richtung zu den höheren Schichten.
- Der Overhead steigt in Richtung zu den niedrigeren Schichten, s. Abb. 6-11
- Nicht alle Schichten müssen in einem beliebigen Kommunikationsnetz existieren.

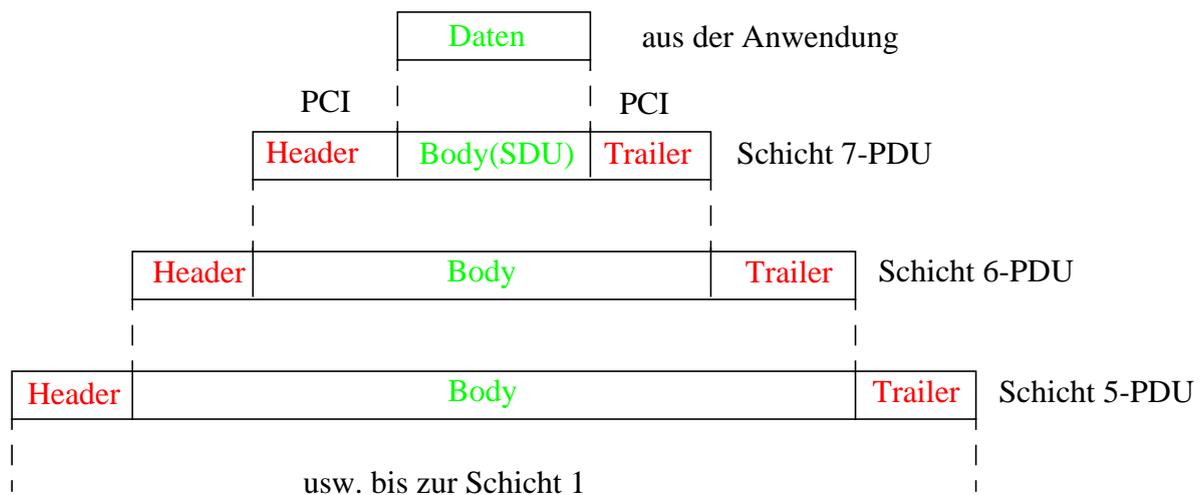


Abb. 6-11: Overhead durch Steuerinformation in den Schichten des OSI-Referenzmodells, Verpackungsmechanismus zum Transport über Schichtengrenzen
 PDU: Protocol Data Unit
 SDU: Service Data Unit
 PCI: Protocol Control Information

Services	SAP	Instanz	SDU	PCI	PDU
<u>Physical</u>	PH-SAP	PH-Instanz	PH-SDU	PH-PCI	PH-PDU
<u>Data Link</u>	DL-SAP	DL-Instanz	DL-SDU	DL-PCI	DL-PDU
<u>Network</u>	N-SAP	N-Instanz	N-SDU	N-PCI	N-PDU
<u>Transport</u>	T-SAP	T-Instanz	T-SDU	T-PCI	T-PDU
<u>Session</u>	S-SAP	S-Instanz	S-SDU	S-PCI	S-PDU
<u>Presentation</u>	P-SAP	P-Instanz	P-SDU	P-PCI	P-PDU
<u>Application</u>	-	A-Instanz	-	A-PCI	A-PDU

Tab. 6-1: Schichtenbezogene Namensgebung der OSI-Elemente
 SAP: Dienstzugangspunkt (Service Access Point)

Kommunikationsdienste

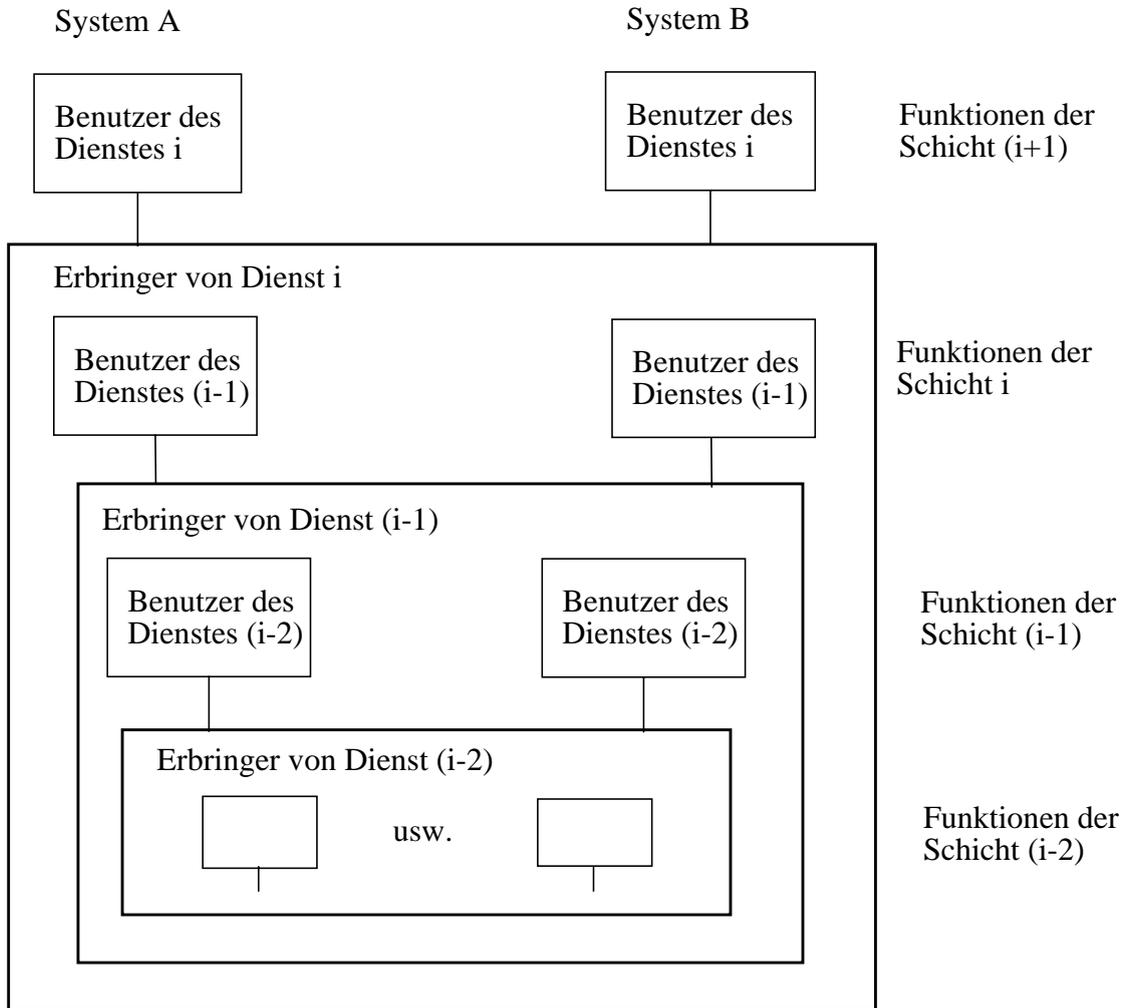


Abb. 6-12: Kommunikationsdienste zwischen den Schichten

Kommunikationsdienste (Dienste, services) werden an den Schnittstellen einer Schicht von den darunterliegenden Schichten erbracht.

Von der Schicht i wird der Dienst i erbracht.

Schicht	Erbrachter Dienst
1	Bitübertragung
2	gesicherte Bitübertragung
3	gesicherte Bitübertragung zu einem wählbaren Ziel

Diensterbringer (Dienst i) bedient seinen „höher“ liegenden *Dienstbenutzer*.

6.3 Beschreibungsmittel für Kommunikationsprotokolle

6.3.1 Zeitfolgediagramm

Darstellung der Protokoll-Kontrollelemente über der Zeit: *Zeitfolgediagramm* (auch: "Interworking-Diagramm", "Message Sequence Chart" (MSC))

- logische oder skalierte Abfolge der PCIs zwischen zwei Instanzen einer Ebene über der Zeit
- zeigt nur Kommunikation zwischen Instanzen, nicht jedoch die inneren Vorgänge!
- i. Allg. kann auf das innere Verhalten nicht geschlossen werden.

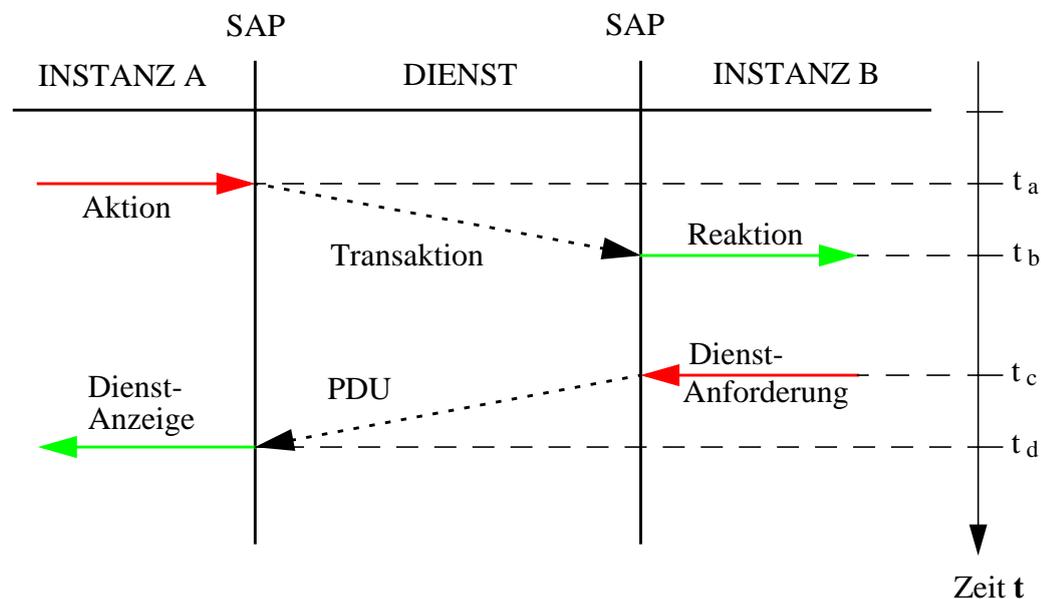


Abb. 6-13: Beispiel für ein Zeitfolgediagramm

6.3.2 Automatendiagramm

- Beschreibung des inneren Verhaltens einzelner Instanzen als endliche Automaten mit
 - ereignisgesteuerten oder
 - zeitgesteuerten Zustandsübergängen \Rightarrow Finite State Machine (FSM)
- Beschreibung durch SDL-Diagramme ("System Description Language", ITU Standard Z.100)
- Ablauf (Trace) zweier interagierender Automaten liefert ein Zeitfolgediagramm
- Andere formale Beschreibungsmittel: Petri-Netze, algebraische Methoden (LOTOS, ESTELLE)
- Zahlreiche Programmpakete des Software Engineering wie SDT, TeamWork, .. unterstützen diese Darstellungsformen. Sie bieten außerdem u.a.
 - Simulation mit grafischer Animation
 - Verifikationsmöglichkeiten (Vollständigkeits- bzw. Erreichbarkeitsanalyse, ...)

- Übersetzer nach Zielcode (C, Maschinensprache)

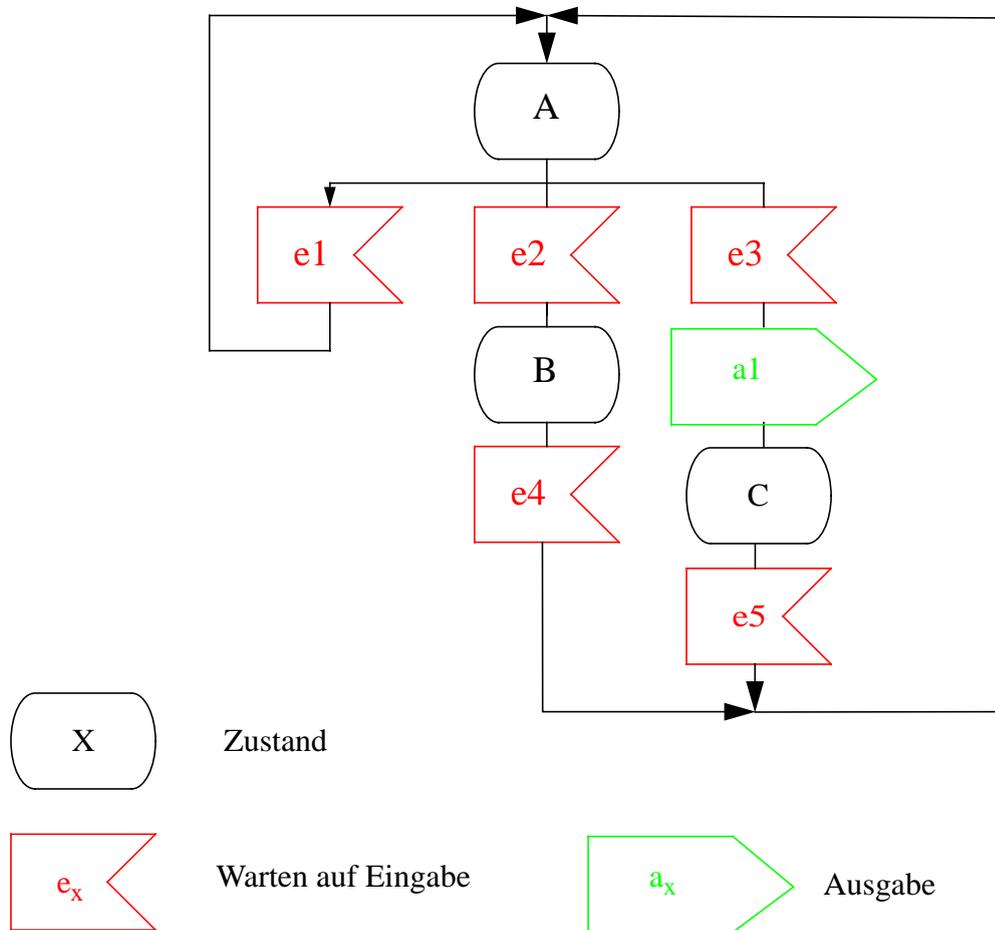


Abb. 6-14: Zustandsdiagramm eines einfachen Automaten, dargestellt in SDL-Symbolik

7 Verkehrsmodelle

Warum modellieren wir Telekommunikationssysteme und -netze?

Um

- Systeme zu untersuchen, die noch nicht aufgebaut bzw. deren Aufbau und Erprobung vorab gefährlich und/oder zu teuer sein kann,
- die Vorgänge in dem realen System (Transport von Nachrichten, ATM-Zellen, ...) in Echtzeit oder einem anderen Zeitmaßstab darzustellen und zu überprüfen -> Validierung.

Die *Nachrichtenverkehrstheorie* beschäftigt sich mit den Phänomenen des *stochastischen Verkehrs*, seiner Auswirkung auf die Nutzung nachrichtentechnischer Betriebsmittel und der Dimensionierung dieser Betriebsmittel.

7.1 Verkehrswert und Verkehrscharakteristik¹

Verkehrsmodell (traffic model)

Definition: Modell zur Beschreibung von Verkehrsabläufen einschließlich ihrer strukturellen und organisatorischen Merkmale.

Verkehrswert (traffic load, traffic carried)

Definition: Quotient aus der während eines Beobachtungszeitraums auftretenden Verkehrsmenge und der Dauer dieses Zeitraums. Der Verkehrswert wird in *Erlang* (*Erl*) angegeben.

Verkehrsmenge (traffic volume)

Definition: Summe der Belegungsdauern eines Betriebsmittels innerhalb eines beliebig wählbaren Beobachtungszeitraums. Die Verkehrsmenge wird *Erlangstunden* angegeben.

Hauptverkehrsstunde (HVStd) (busy hour)

Definition: Tageszeitabschnitt von 60 aufeinanderfolgenden Minuten, in welchem die betrachtete Verkehrsgröße maximal ist.

Mittlere Hauptverkehrsstunde (time consistent busy hour)

Definition: Hauptverkehrsstunde der mittleren Tagesverkehrskurve.

Tagesverkehrskurve (daily traffic profile)

Definition: Der sich über einen Tag erstreckende zeitliche Verlauf der gemessenen Verkehrsgröße.

Mittlere Tagesverkehrskurve (average daily traffic profile)

Definition: Die mittlere Tagesverkehrskurve wird aus Tagesverkehrskurven für mehrere Tage ermittelt. Dabei werden jeweils Mittelwerte über zeit-

1. Definitionen aus der ITG Empfehlung 5.2-03 (ITG97)

gleich liegende Viertelstundenwerte der einzelnen Tagesverkehrskurven gebildet.

Hauptverkehrsstundenbelegungsversuche (busy hour call attempts, BHCA)

Definition: Anzahl der Belegungsversuche in der Hauptverkehrsstunde

7.2 Verkehrsquellenmodelle

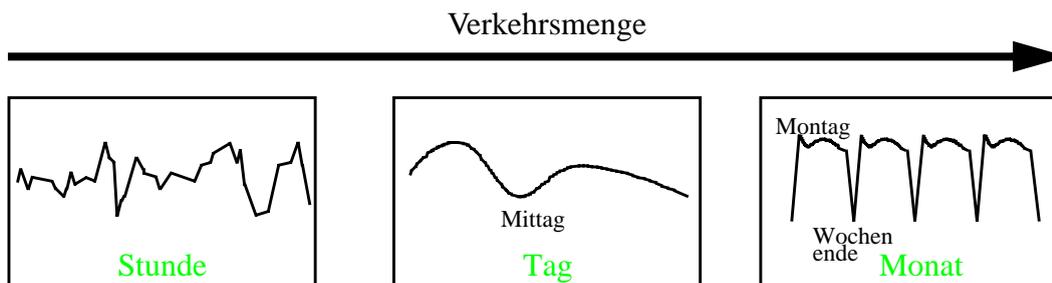


Abb. 7-1: Telefonie: Typische Verkehrsganglinien mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung

Netze werden üblicherweise nach Verkehr in der (mittleren) Hauptverkehrsstunde dimensioniert. Dabei wird angenommen, dass der Verkehrswert in der HVStd stationär ist, d.h. nur statistisch um seinen Mittelwert schwankt.

Dienst	mittlere Belegungsdauer	BHCA	Verkehrswert
Telefonie	100 s	0.1 .. 10	0.003 .. 0.3
Fax	100 s	0.1 .. 20	0.003 .. 0.6
Bildfernsprechen	500 s	0.1 .. 1	0.015 .. 0.15
Bildschirmtext	300 s	0.36	0.03
Mensch-Maschine-Kommunikation	100 ... 5000 s	0.1 .. 5	0.03 .. 1
Rechner-Rechner-Kommunikation	1 .. 1000 s	0.1 .. 3	0.001 .. 1
Telemetrie (Fernwirken, -messen)	0.1 .. 10 s	0.01 .. 100	0.0001 .. 0.3

Tab. 7-1: Typische Belegungsdauern und Hauptverkehrsstundenbelegungsversuche verschiedener Dienste

Innerhalb einer (virtuellen) Verbindung kann das Verhalten der Kommunikationspartner (einer Nachrichtenquelle) durch eine

- konstante Bitrate (constant bitrate - CBR)
- variable Bitrate (variable bitrate - VBR)

beschrieben werden.

Bei genauerer Betrachtung ergibt sich das folgende „Mehrebenen-Quellenmodell“:

Connection

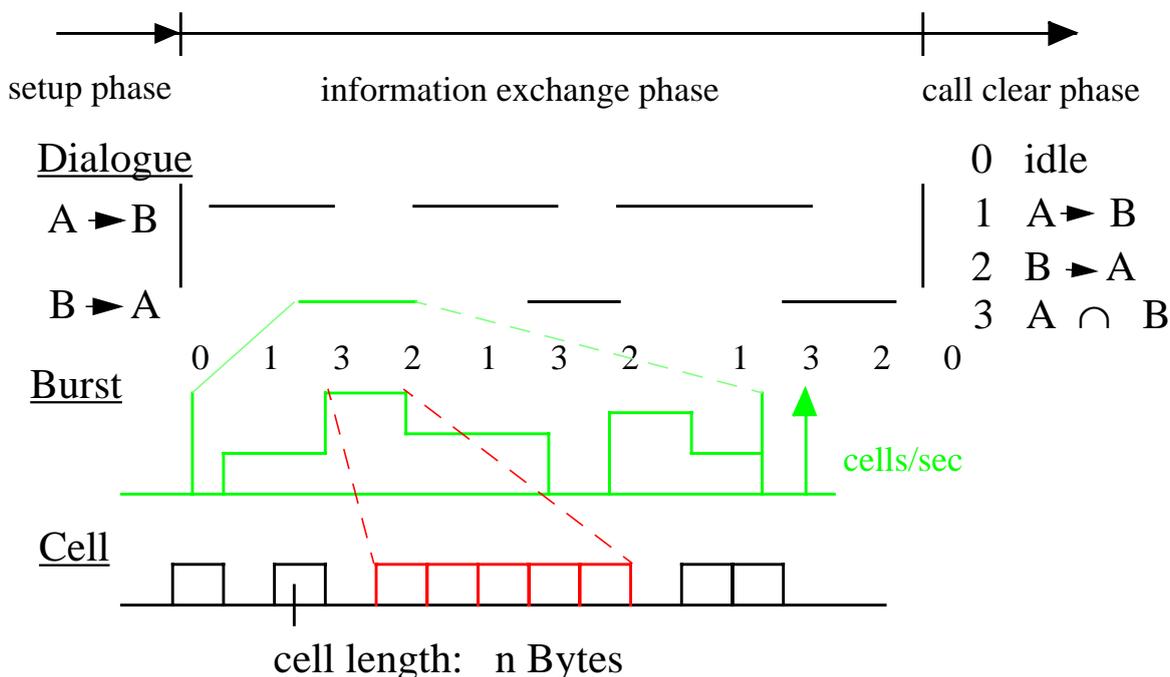


Abb. 7-2: Mehrebenen-Verkehrsquellenmodell

Verbindungsebene (connection level)

Definition: Ebene, in der die zeitliche Abfolge des Auf- und Abbaus von Verbindungen beschrieben wird.

Dialogebene (dialogue level)

Definition: Ebene, in der die zeitliche Abfolge der Interaktionen zwischen den Partnern einer Verbindung beschrieben wird.

Burstebene (burst level)

Definition: Ebene, in der der Wechsel eines aktiven Teilnehmers zwischen seinen verschiedenen Sendezuständen beschrieben wird.

Dateneinheitenebene (data unit level)

Definition: Ebene, in der die zeitliche Abfolge der Übermittlung von Dateneinheiten beschrieben wird.
Anmerkung: Die Dateneinheitenebene wird bei ATM auch Zellenebene genannt.

Je nach Dienst (Applikation) existieren ggfs. nur einige, nicht alle Ebenen.

7.3 Begriffe für Verkehrsmodelle

Verkehrswert \Rightarrow Verkehrsbelastung (engl. „carried traffic“): beobachtete Verkehrsmenge ϕ in einem Beobachtungszeitraum T , Größe $Y = \phi/T$

Verkehrsangebot: Verkehrswert, der aufträte, wenn alle Belegungsversuche erfolgreich wären. Engl.: „offered traffic“, Größe A

häufig bekannte, messbare Größen, s. Abb. 7-3

- mittlere Belegungsdauer (Erwartungswert) $E\{TH\}$ („holding time“)
- mittlerer Ankunftsabstand (Erwartungswert) $E\{TA\}$ („interarrival time“) bzw. Kehrwert Ankunftsrate $r_A = 1/E\{TA\}$

daraus ergibt sich das Verkehrsangebot

$$A = \frac{E\{TH\}}{E\{TA\}} = r_A \cdot E\{TH\} \quad A = 0 \dots N$$

bei $A \geq N$ Wartesystem mit unbegrenzten Wartespeicher instabil

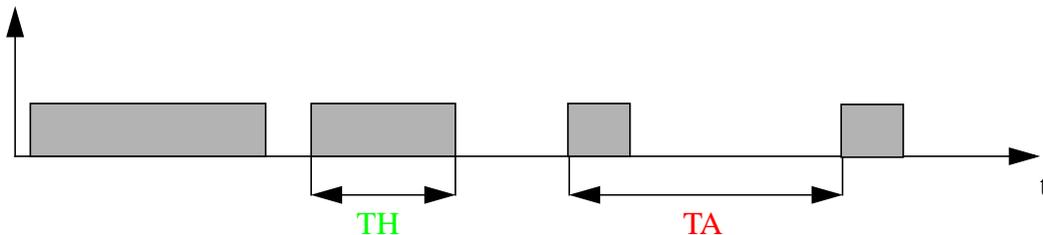


Abb. 7-3: Zeitzufallsvariable, die den Verkehrswert bestimmen

7.4 Bedienungssysteme

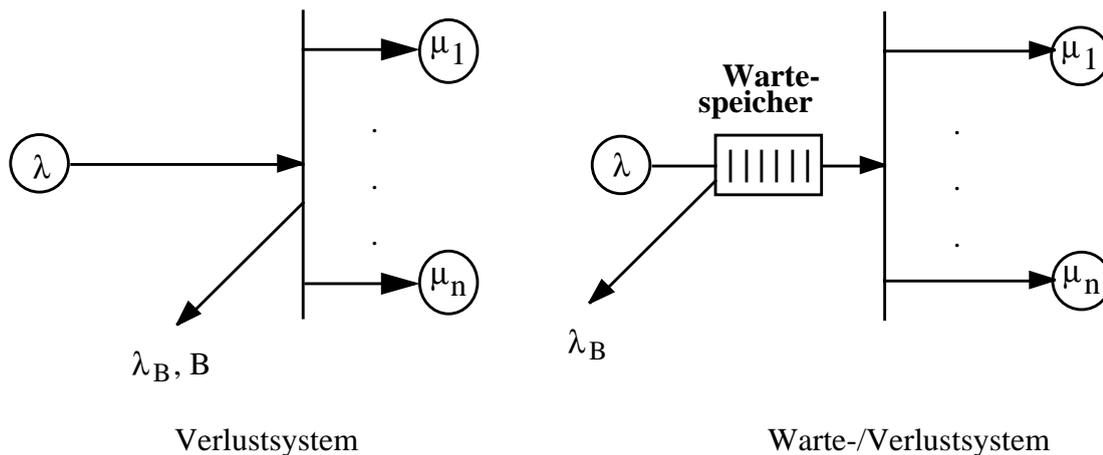


Abb. 7-4: Verkehrsmodelle typischer Bedienungssysteme

7.4.1 Verlustsystem

Gütekriterium: Verlustwahrscheinlichkeit (Blockierwahrscheinlichkeit);

Wahrscheinlichkeit B , dass ein Belegungsversuch (Verbindungswunsch) abgewiesen werden muss, weil alle N Abnehmer (Leitungen, Kanäle) belegt sind.

Durch die Erlang'sche Verlustformel¹ (Erlang-B formula) wird B beschrieben.

$$B = f(A,N) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

Dieses „Ohm'sche Gesetz der Verkehrstheorie“ gilt unter der Voraussetzung gedächtnisloser (Markoff'scher) Ankunftsprozesse und beliebig verteilter Bedienprozesse.

⇒ M/G/N/0 (Kendall'sche Notation für Bedienungssysteme), s. Abschnitt 7.5

7.4.2 Wartesystem

In einem Wartespeicher können Anforderungen ggfs. warten, bis ein Abnehmer frei wird. Dadurch kann eine höhere Auslastung des Abnehmerbündels zu Lasten einer dann auftretenden Wartezeit erreicht werden.

Gütekriterien: mittlere Wartezeit \overline{TW} , $E\{TW\}$
 Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung einer Wartezeitgrenze
 $F_{TW}^c(T_G) = P_{TW}$
 Verlustwahrscheinlichkeit B (bei vollem Wartespeicher, bei endlicher Kapazität)

Mithilfe der Nachrichtenverkehrstheorie werden analytische Lösungen ermittelt für Wartesysteme mit unterschiedlichen Warteschlangenabfertigungsstrategien, Ankunfts- und Bedienprozessen von Forderungen,

Wenn bei komplexen Prozessen analytisch nicht mehr berechenbar ⇒ Simulation

7.5 Kendall'sche Klassifikation

Klassifikationsschema für einstufige Bediensysteme. In der erweiterten Notation A/B/N/S bedeuten:

A	Typ des Ankunftsprozesses
B	Typ des Bedienprozesses
N	Anzahl der Bedieneinheiten
S	Anzahl der Warteplätze

1. veröffentlicht 1917 von A.K. Erlang (1878-1929), dänischer Mathematiker, Begründer der Nachrichtenverkehrstheorie

Für A (Abstandsverteilungen der ankommenden Forderungen, Größe TA) und B (Bedienzeitverteilungen, Größe TH) können z.B. stehen:

D	Deterministisch
M	Negativ-exponentiell (Markoff)
E_k	Erlang k-ter Ordnung
H_k	Hyperexponentiell k-ter Ordnung
G	Beliebig (General)

7.6 Transportkonflikte an Systemstoßstellen

Ursache 1: $\phi_{in} > \phi_{out}$ (durch begrenzte abgeh. Kanalkapazität C_{out})

Fall 1: Konzentrationsstufe.

funktionsbedingt gilt $\sum C_{in} > \sum C_{out}$

folglich Konflikt, falls $\sum \Phi_{in}(t) > \sum C_{out}$

Fall 2:

Verkehrsverteilung (Vermittlung).
falls gewünschte abg. Richtung überlastet \Rightarrow
Konflikt („gassenbesetzt“), falls

$\sum \Phi_{in \rightarrow j}(t) > \sum C_{out,j}$

Fall 3:

gerufener Teilnehmer (B-TIn) besetzt.
wie Fall 2, aber nur ein abgehender Kanal $C_{out,j}$

Ursache 2:

Begrenzte Verarbeitungsleistung der Steuerung
Hauptverkehrsstundenbelegungsversuche (BHCA) überschreiten Kapazität

Beispiel:

TK-Anlage, betrieben als ACD-System (Automatic Call Distribution).
Anwendung: Auskunftssystem, Reisebüro, Teledialog, ...
 r_A kurzzeitig sehr hoch (steiler Anstieg, Lastsprung)
 \Rightarrow Steuerung kann neue Rufe nicht mehr annehmen
(noch schlimmer: Rufe in Bearbeitung werden abgebrochen!)

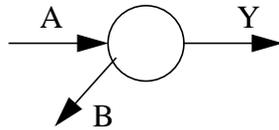
Ursache 3:

Ausfälle und Systemfehler

7.7 Systeme und Leistungskenngrößen

Verlustsystem

Systemstoßstelle (Bedienstation)



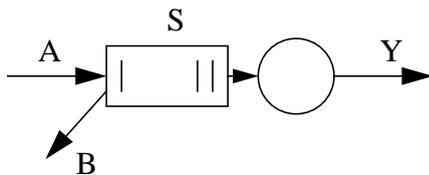
Angebot A Verlust B realisierter Verkehrswert Y

A-Rate r_A V-Rate r_B Ausgangsrate r_Y

Belastung (carried traffic): $Y = A(1-B)$

Wartesystem

Systemstoßstelle (Server)



Wartespeicher

Verkehrsangebot A mit Belastung (realisierter Verkehrswert) Y
 r_A Belegungsversuchen Y = A (bei unbegrenztem Speicher und $A \leq N$)
 pro Zeiteinheit und mittlerer Belegungsdauer $E\{TH\}$

Einflußgrößen (Dimensionierung)

- Ankunftsprozess
- Anzahl der Bediener N
- Größe des Wartespeichers S
- Warteschlangenabfertigungsdisziplin, z.B. FIFO
- Warteschlangenauswahlstrategie (bei mehreren Wartespeichern)
- Bedienerauswahlstrategie
- Umschaltzeiten, ...

Bewertungskriterien (ermittelte Verkehrsgrößen)

- maximale (zumutbare) Wartedauer: $TW_{\max} = t_T$ (Timeout)
- Wahrscheinlichkeit, dass nicht sofort bedient werden kann: $P(TW > 0)$
- Wahrscheinlichkeit, dass die Wartedauer über der Grenze t_T liegt: $P(TW > t_T)$
- Mittlere Wartedauer $E\{TW\}$ über alle Belegungsversuche

- Mittlere Wartedauer aller wartenden Belegungen $E\{TW/TW>0\}$
- Verlustwahrscheinlichkeit B , Verlustrate r_B

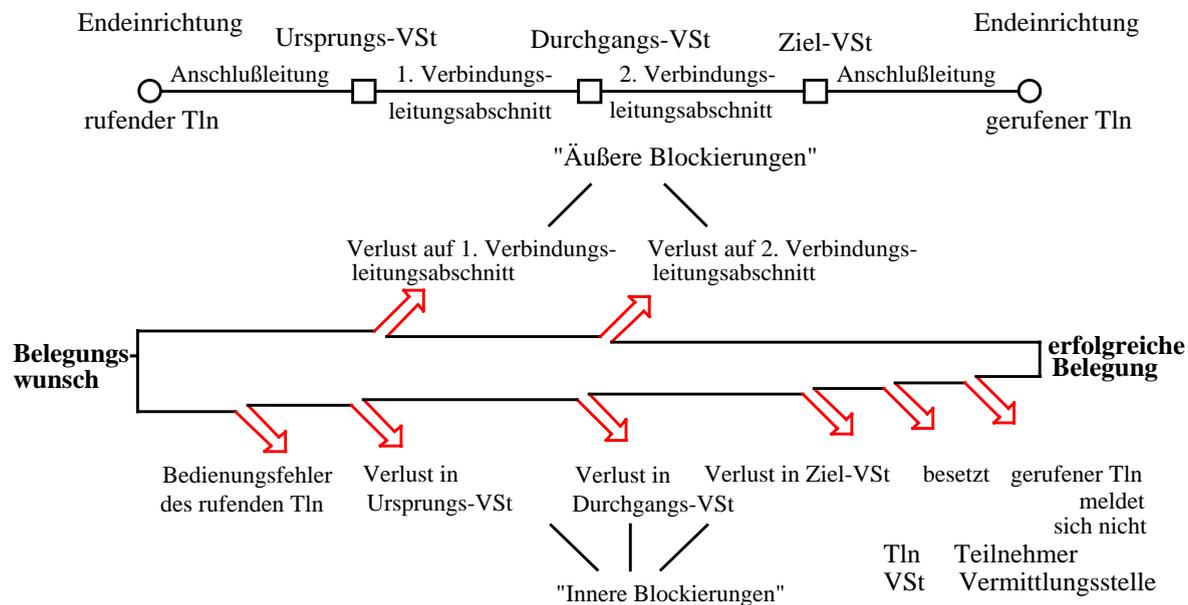


Abb. 7-5: Verlustmöglichkeiten beim Aufbau einer Verbindung

Anteile der Belegungen	
Bedienungsfehler des A-Tlns, z.B. unvollständige Wahl	13%
Netzblockierung (gassenbesetzt)	3%
B-Tln besetzt	5%
B-Tln meldet sich nicht	21%
erfolgreiche Belegungen	58%

 Tab. 7-2: Typische Belegungsanteile im (analogen) Fernsprechnet, Stand: ca. 1965
 Heute: Netzblockierung i. Allg. < 1%

8 Aspekte bei der Realisierung von Telekommunikationsnetzen

8.1 Netztopologien

Es gibt eine große Zahl von Varianten, wie man Vermittlungen untereinander verbinden kann, s.u.. Die *Topologie* beschreibt die logische Vermaschung eines Netzes.

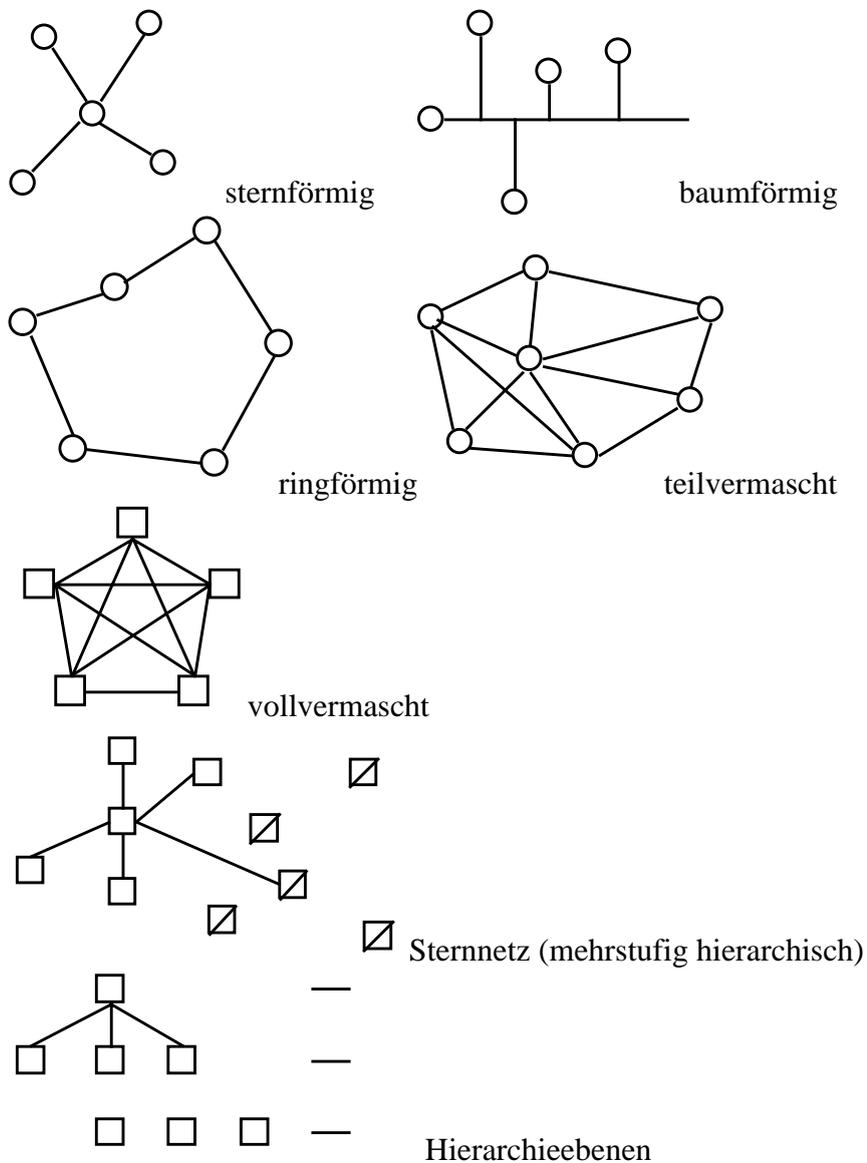


Abb. 8-1: Beispiele für Netztopologien

Funktionale Strukturen eines TK-Netzes (Telefonie)

Das Netz gliedert sich in einen Anschlussbereich (im Ortsnetz) und ein Transportnetz, s. Abb. 8-2:

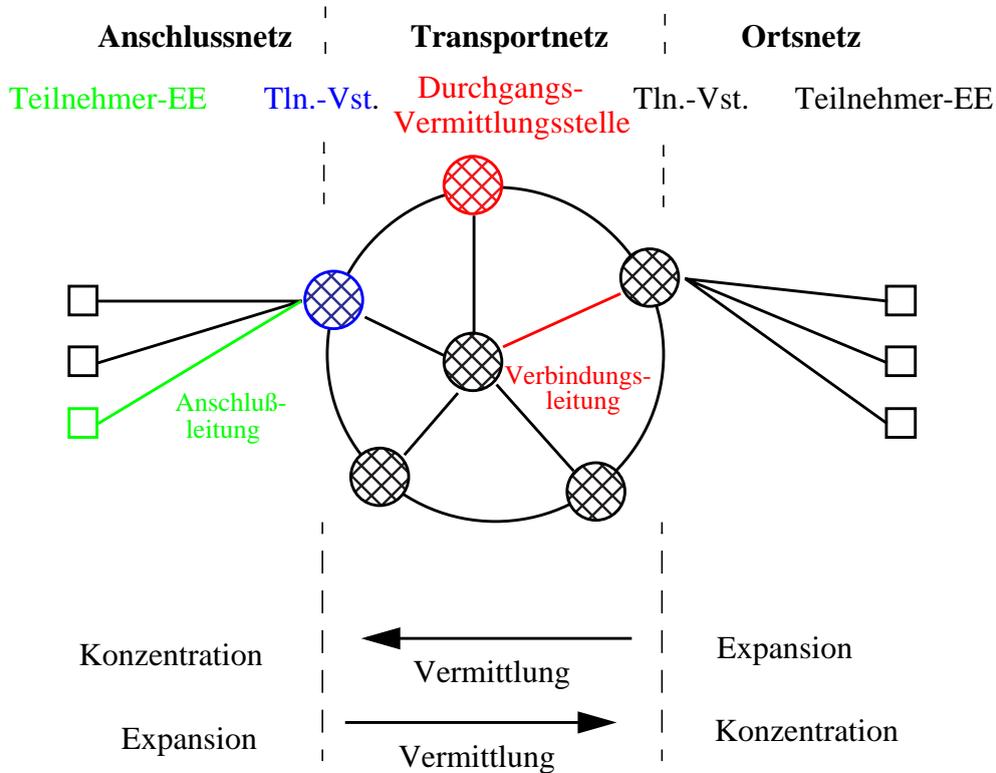


Abb. 8-2: Grundstruktur Anschluss- und Transportnetz

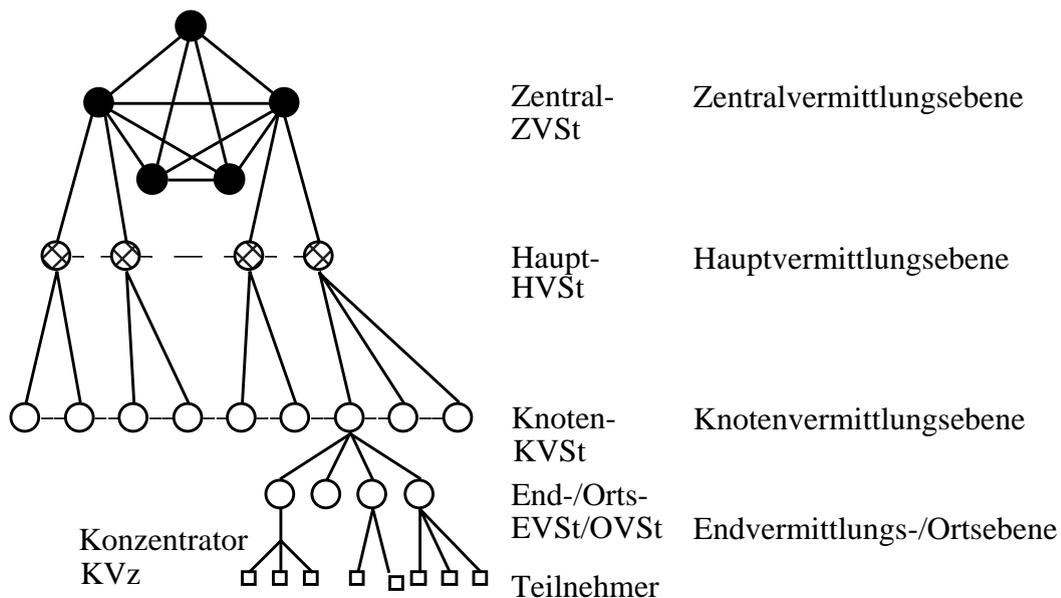


Abb. 8-3: Technische Realisierung: Hierarchische Struktur des „klassischen“ Telefonnetzes

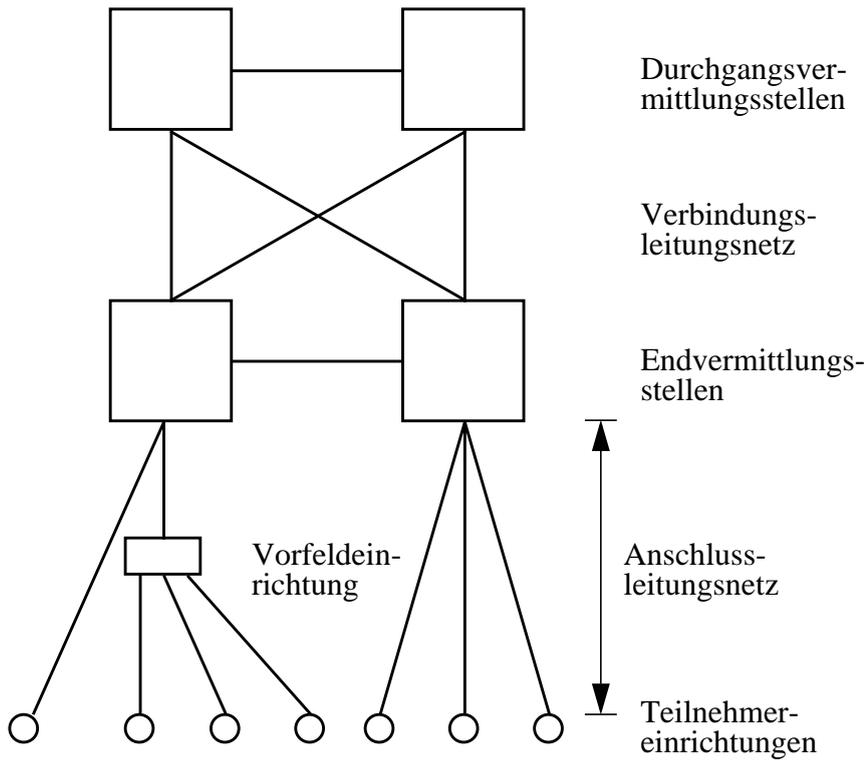


Abb. 8-4: Derzeitige Netzhierarchie der Deutschen Telekom

Anmerkungen:

1. Eine weitere Unterteilung der Ortsebene hängt von der Größe des Ortsnetzes ab.
2. Im digitalisierten Netz wird die Zahl der Hierarchieebenen reduziert. In den neuen Bundesländern fehlt bereits die ZVSt-Ebene; hier sind die HVSt voll vermascht. Endstufe mit Nutzung der SDH-Technik: logische Vollvermaschung.

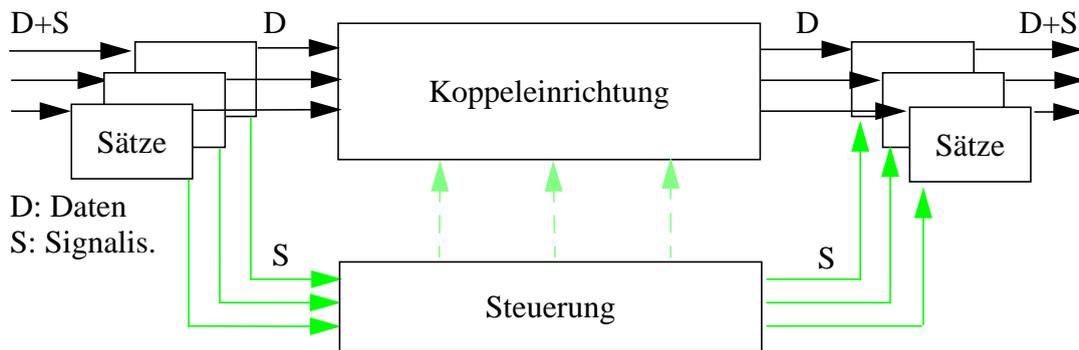


Abb. 8-5: Durchschaltvermittlung: Trennung von Daten und Signalisierung

8.2 Signalisierung

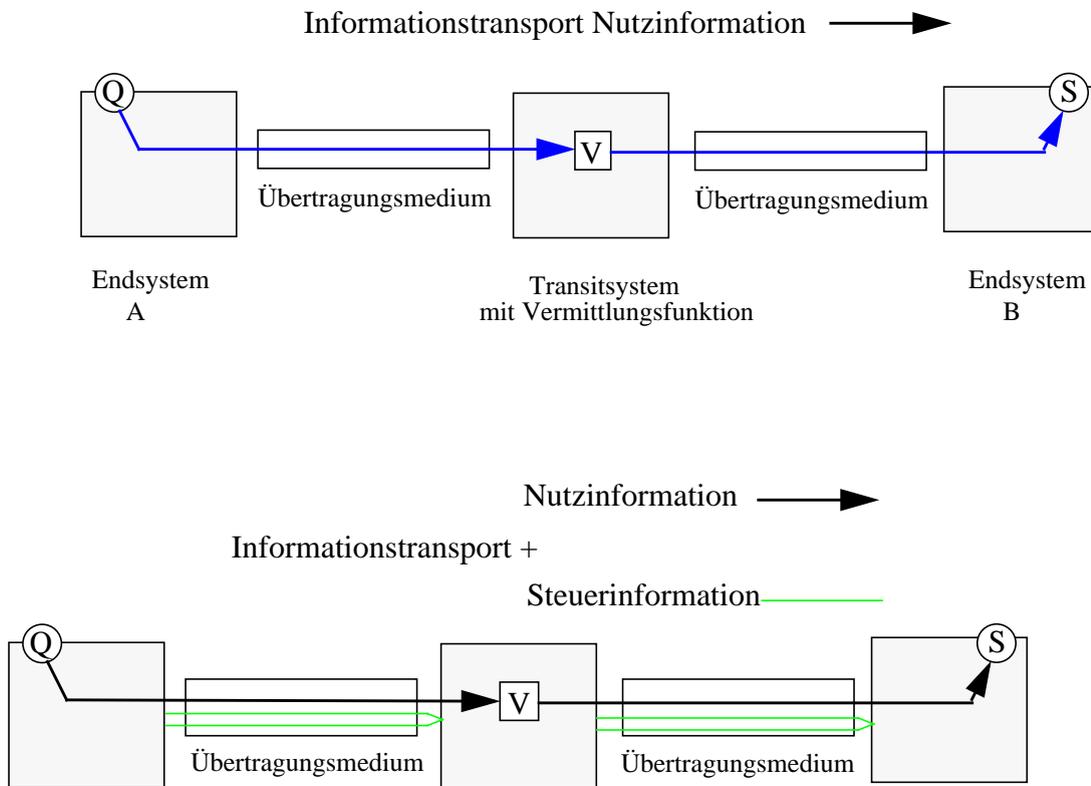


Abb. 8-6: Transport von Nutz- und Steuerinformation

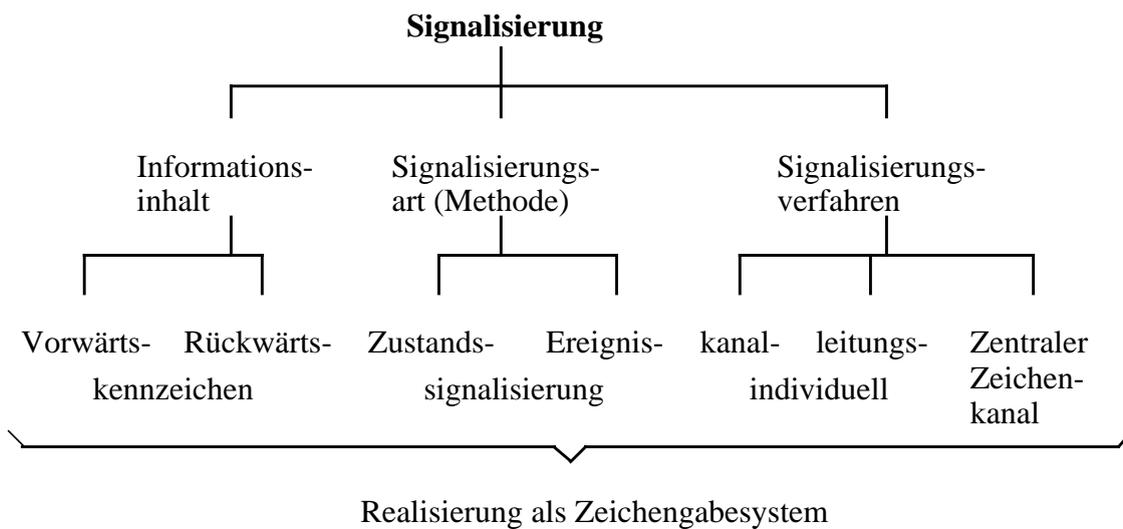


Abb. 8-7: Signalisierungsmeldungen bei der Durchschaltevermittlung

Beispiele für Kennzeichen

Vorwärtskennzeichen (in Verbindungsaufbauichtung)

- Verbindungswunsch (Abheben A-Tln)
- Wahlinformation (z.B. Wahlziffern)
- Auslösen (Auflegen A-Tln)
- Ruf
- Rufnummernende

Rückwärtskennzeichen

- Wählton
- Rufton
- Besetztton (B-Tln, gassenbesetzt)
- Schlußzeichen (Auflegen B-Tln)
- Gebührenimpuls
- verschiedene Höröne (Aufmerksamkeitston, neg. Quittung, ...)
- verschiedene Ansagen

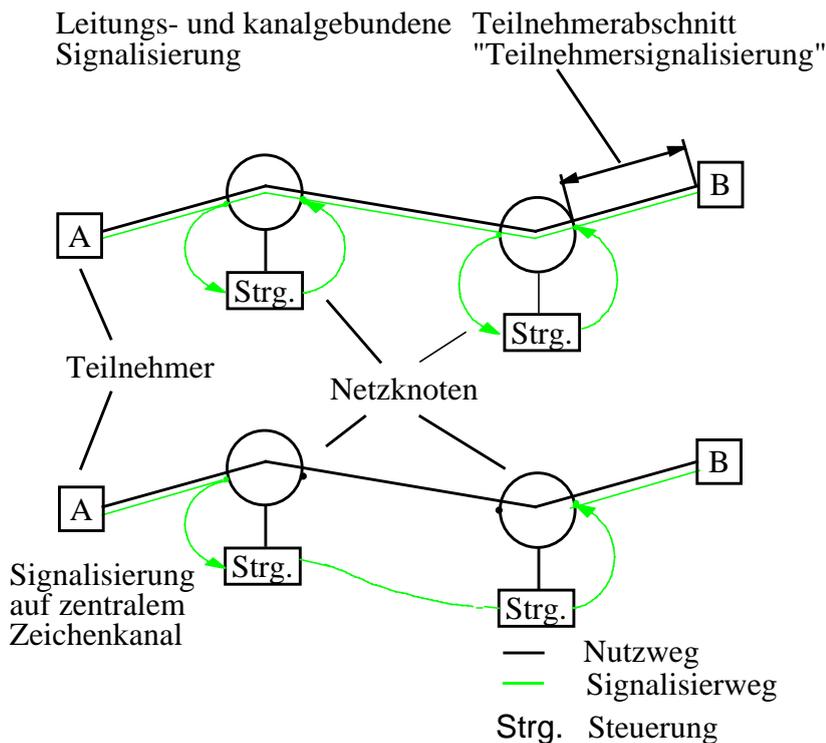
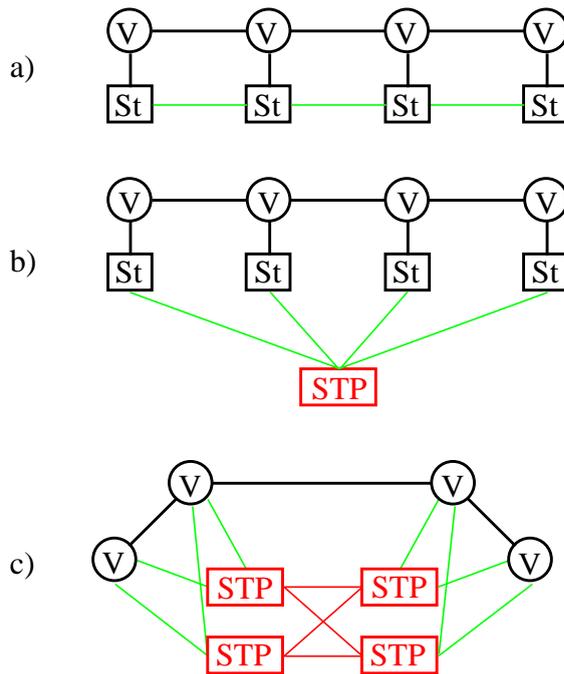


Abb. 8-8: Grundformen der Signalisierung - Signalisiernetz



— Sprechverbindung, — Zentraler Zeichenkanal
 V Vermittlung, St Steuerung, STP Signalling Transfer Point

Abb. 8-9: Mögliche Formen des Signalisieretztes:
 a) assoziiert b) zentralisiert c) separates Signalisieretz

8.3 Entwurfsmethoden für Telekommunikationssysteme und -netze

Unterscheidung zwischen ... Modellierung und Entwurf

- des Datenpfades
- der Steuerung

8.3.1 Koppelinrichtungen für Durchschaltvermittlungen (Switching Network)

Basiselement: Koppelblock (switching block): quadratische Matrix $n \cdot n$

Koppelpunkanzahl: $M = n^2$

Blockierungsfreie Erweiterung zu größeren Strukturen durch

1. quadratische Verschaltung; Koppelpunktbedarf $M = N^2$

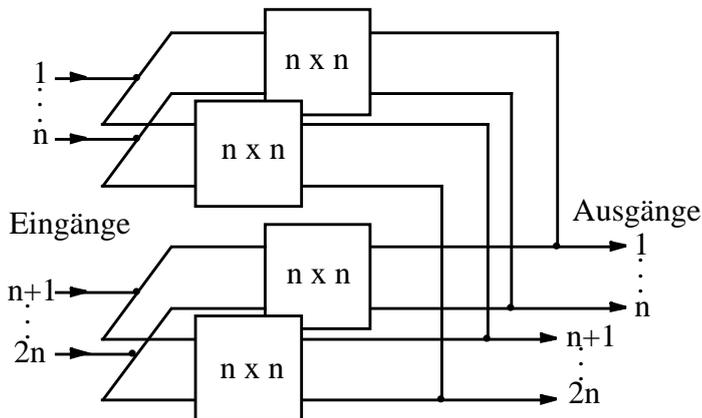


Abb. 8-10: Quadratische Erweiterung

2. Minimalstruktur nach C. Clos (1953) Koppelpunktbedarf dreistufig:

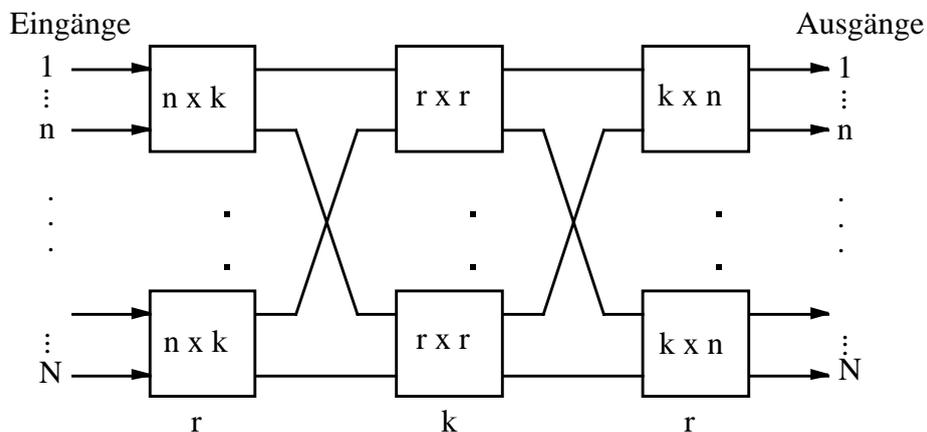
(s. KADE95)

$$\text{allgemein: } M = (2n - 1) \left(2N + \left(\frac{N}{n} \right)^2 \right)$$

optimal bei:

$$k_{\text{opt}} = 2n-1; n_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{N}{2}}; r_{\text{opt}} = \frac{N}{n}$$

$$M_{\text{opt}} = 4N(\sqrt{2N} - 1)$$


 Abb. 8-11: Dreistufige Koppelinrichtung; blockierungsfrei, wenn Bedingungen k_{opt} , r_{opt} und n_{opt} eingehalten werden

technische Ausführung als Kombination von Raum- (R) oder Zeitmultiplexstufen (Z)

- R-R-R
- R-Z-R (häufigste Realisierungsform)
- Z-R-Z

8.3.2 Koppeleinrichtungen für ATM-Vermittlungen¹

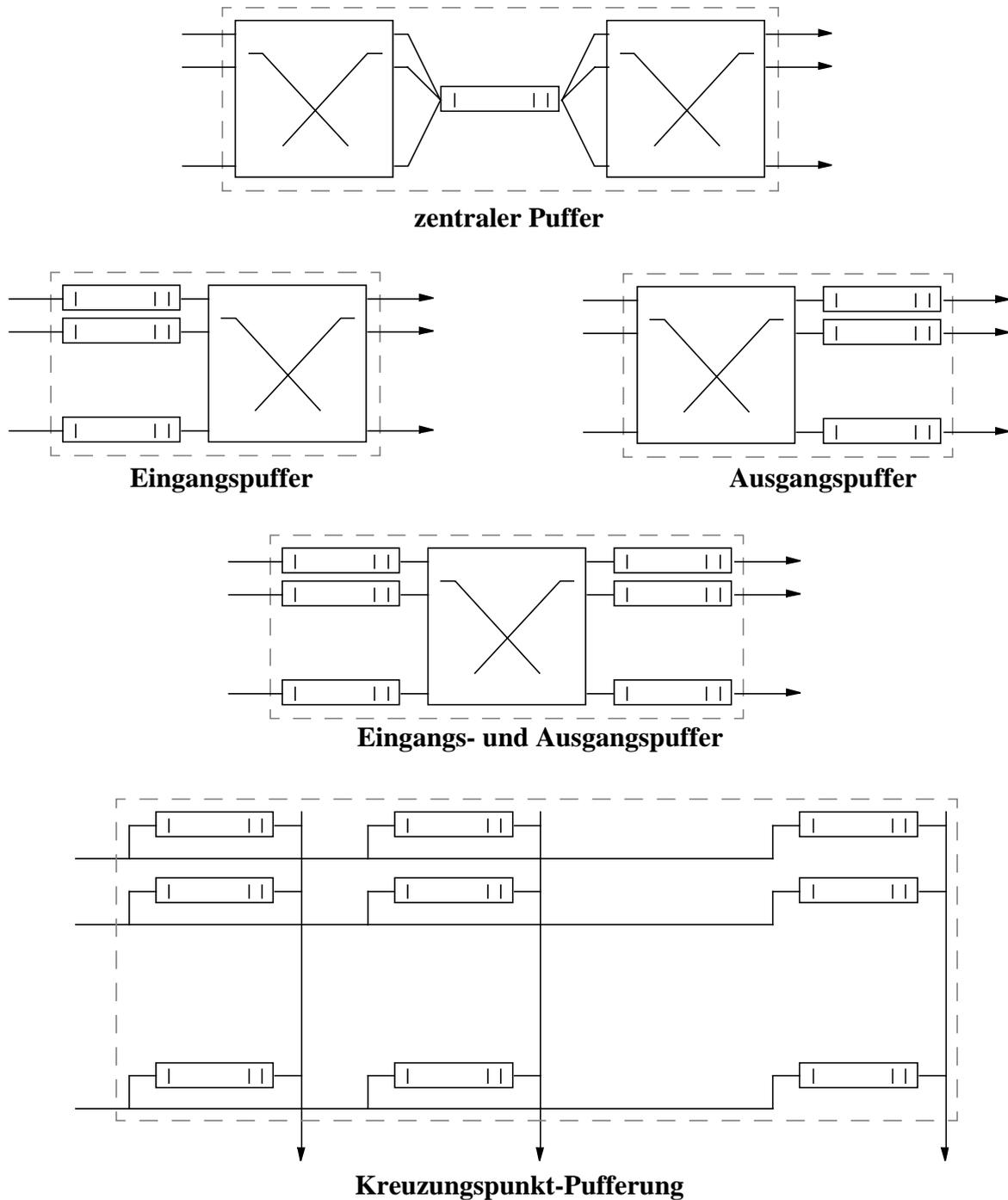


Abb. 8-12: ATM-Koppeleinrichtung: mögliche Anordnung der Puffer

- Zentraler Puffer: Speicherplatz-optimal bzgl. gesamtem Speicherbedarf
- Kreuzungspunkt-Puffer: Laufzeit-optimal - je Verbindung

¹ prinzipiell auch für alle Arten von Koppeleinrichtungen in Paketvermittlungstechnik möglich

- Ausgangspuffer: Aufwands-optimal - Realisierungsaufwand

8.3.3 Optimale Gestaltung von Übertragungsnetzen

Ziele: Entwurf, Dimensionierung, Kostenoptimierung

- minimale Kosten: möglichst geringe Vermaschung, Direktwege nur bei „starken“ Verkehrsbeziehungen
- Sicherheit bei Ausfällen: Mehrwegeführung (≥ 2) für jede Verkehrsbeziehung
- einfache Implementierung von Ersatzschaltungen (Netzmanagement): Ring
- einfache Steuerung, einfache Dimensionierung: hierarchisches Netz
- einfaches Routing: kürzester Weg (shortest path)
- minimale Kosten für Leitungen (inkl. Ersatzwege) und Signalisierung: allgemein vermaschtes Netz ohne Hierarchie

Generell: Je knapper ein Netz ausgelegt ist (Reserve für wachsenden Verkehr, Ausfälle) desto anfälliger wird es!

Vorgehensweise:

1. Feststellen der geographischen Lage der Tln
2. Ermittlungen der Verkehrswerte der Tln
3. Geographische Zuordnung zu einer Vermittlung („Clustering“)
4. Zusammensetzung zur Verkehrsmatrix (Knoten - Knoten)
5. Ermittlung bzw. Konstruktion des Netzgraphen
6. Definition von Routing-Regeln
7. Routing des Verkehrs auf dem Graphen
8. Berechnung der Verkehrsflüsse auf Knoten und Kanten durch Superposition (Verkehrsflußanalyse)
9. Dimensionierung der logischen Komponenten
10. Abbildung des logischen Netzgraphen auf das physikalische Netz
11. Dimensionierung der physikalischen Netzkomponenten

Kritische Punkte

- Einzelschritte nicht isoliert optimal, sondern nur iterativ in der Gesamtfolge zu optimieren
- sehr viele Randbedingungen des Netzbetreibers und der technischen Komponenten sind einzuhalten

Die Netzoptimierung besteht aus über eine Datenbank gekoppelten Werkzeug-unterstützten Schritten; die Strategie wird durch den Planer vorgegeben. (Vertiefung in der LV „Planung und Optimierung von TK-Netzen“, im WS)

8.3.4 Dimensionierung und Optimierung von Steuerrechnern/Signalisiernetzen

Signalisierrechner arbeiten im Modus Message Switching bzw. Packet Switching.

Das Verkehrsaufkommen wird durch eine Verkehrsflussanalyse (s.o.) und dann durch eine Protokollanalyse (s. Abb. 8-13) ermittelt. Wenn die Signalisierflüsse auf den Steuerrechnern ermittelt sind, werden die Vorgänge dort weiter untersucht durch:

Verkehrstheoretische Modellierung: mit Hilfe von Bedienungssystemen wird die Laufzeit von Protokolldateneinheiten durch einen Steuerrechner bzw. durch das Signalisiernetz bestimmt.

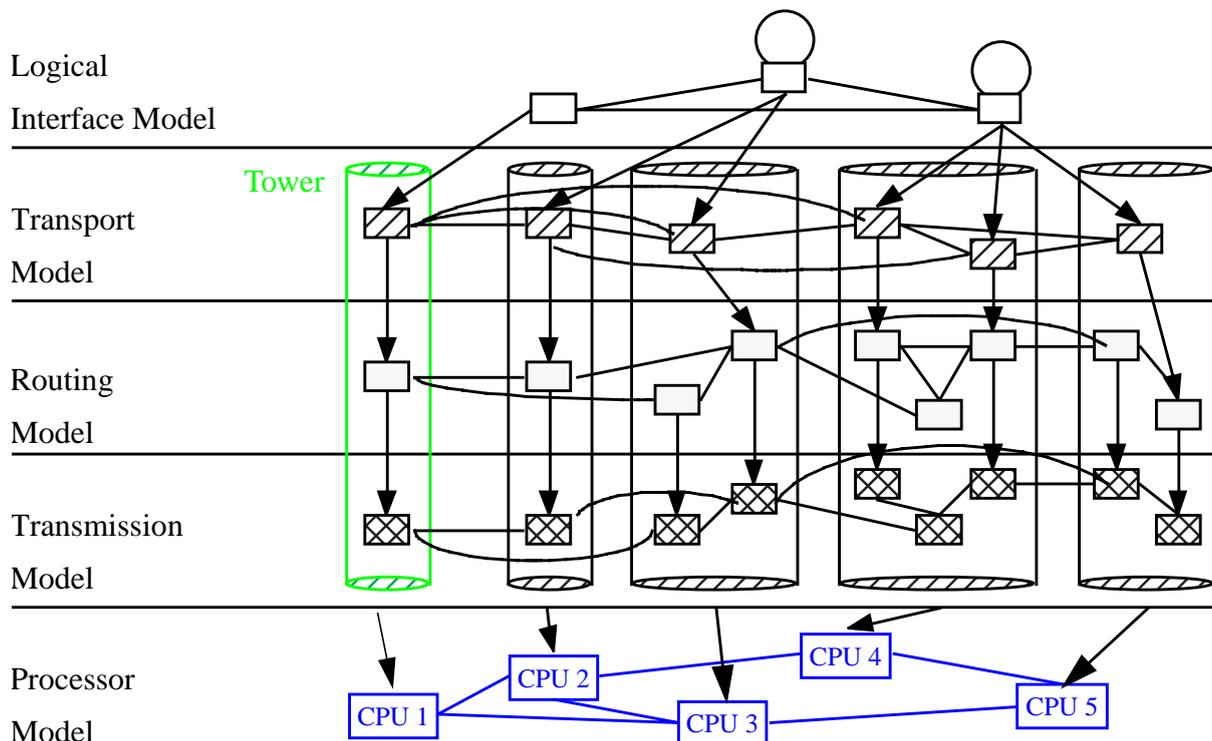


Abb. 8-13: Ebenen der Protokollanalyse in Signalisiernetzen

8.4 Überlastabwehr in TK-Anlagen und -Netzen

8.4.1 Problemstellung

Auch bei sorgfältiger Planung ist wegen des schwankenden Verkehrs im Netz (s.a. Abschnitt 7.2) eine Überlastung der Betriebsmittel nicht völlig zu vermeiden. Die Ressourcen (Leitungen, Speicher, Vermittlungssteuerungen, ...) sind für eine gewisse Nennlast dimensioniert. Überschreitet die Last einen Grenzwert („Silvesterspitze“), so tritt der Überlastfall ein.

Je nach Architektur und Auslegung der Systemkomponenten können z.B. neue Verbindungen nicht mehr zustande kommen, bestehende Verbindungen abgebrochen werden, stark erhöhte Verzögerungen von Nachrichten auftreten oder andere Qualitätsparameter sich verschlechtern.

Im Idealfall wird die Verzögerungszeit bei ansteigender Last bis zu einer kritischen Schwelle stark ansteigen und dann (geregelt) konstant bleiben. Die Auslastung des Steuerprozessors einer VSt steigt meist linear mit der Last und wird ebenfalls auf einen Grenzwert unter 100 % geregelt. Ebenso soll der Durchsatz im Unterlastbereich linear ansteigen und im Überlastbereich konstant auf dem Maximalwert verbleiben.

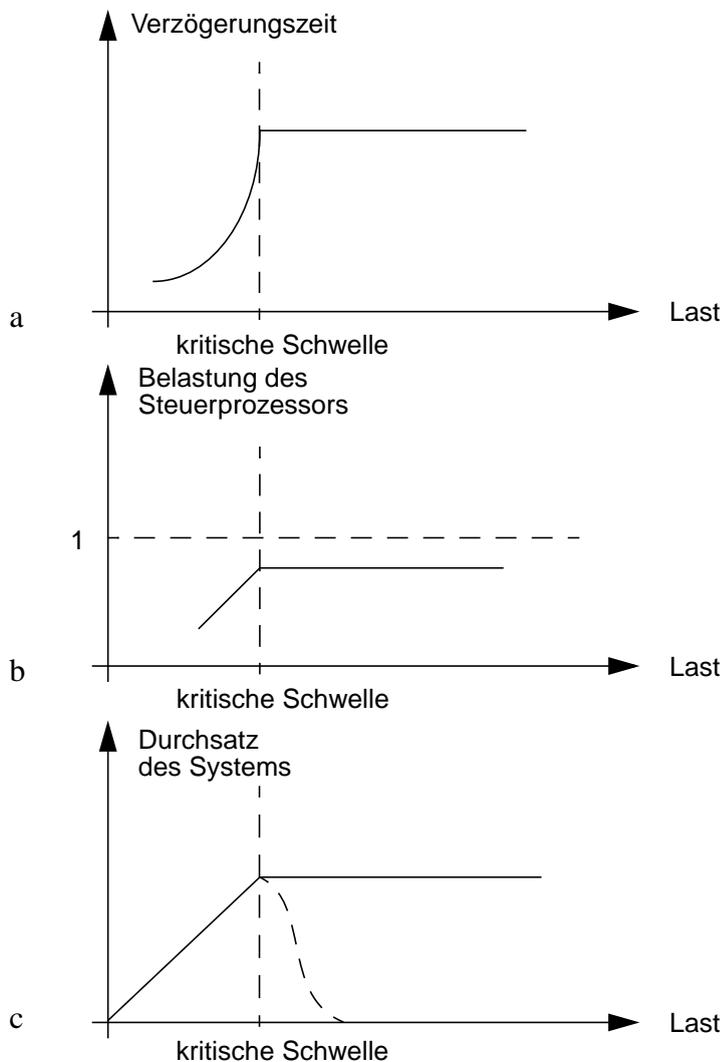


Abb. 8-14: Überlast und Überlastabwehr

8.4.2 Überlastabwehrstrategien

- Überlastvermeidung bzw. -vorbeugung
 - Überdimensionierung: teuer, aufwendig
 - Flussregelung, d.h. ggfs. „Bremsen“ der Nachrichtenquelle
 - Verbindungswünsche ablehnen, d.h. neue Last abwerfen
- frühzeitige Überlasterkennung
 - Indikatoren im System: Prozessorlast, Länge von Warteschlangen, Messung der Ankunftsrate, Verlustrate

- Ergreifen von lastreduzierenden Maßnahmen
 - puffern transienter Lastsprünge
 - Automatic Call Gapping: Einführen eines definierten Mindestabstands zwischen angenommenen Rufen (auch Traffic Shaping genannt) durch Flussregelung (s.o.) oder Nichtannahme dazwischenliegender Anforderungen

8.5 Medienzugriffsverfahren (MAC¹)

8.5.1 Grundlagen

Charakteristika von Netzen mit Vielfachzugriffsverfahren

- **ein** Medium, auf das mehrere Stationen wahlfrei, d.h. unsynchronisiert zugreifen wollen
- Ausdehnung begrenzt, z.B. max. einige 10.. 100 m
- (Datenrate mindestens mehrere Mbit/s)
- „Rundsende“-Kanäle, z.B. Bus (Vielfachzugriff)

Typische Netze

- Ethernet (10 Mbit/s, heute auch 100 Mbit/s bzw. 1 Gbit/s, statistischer Zugriff) - sehr verbreitet
- Token Ring (4 bzw. 16 Mbit/s, deterministischer Zugriff)
- Token Bus (10 Mbit/s, deterministischer Zugriff)

8.5.2 Verfahren

Das ALOHA-System

- Paket-orientiertes Funknetz der University of Hawaii, entstanden 1970
- dezentrale Stationen, Kommunikation über eine Zentrale
- Zugriffsverfahren: unkoordiniertes Wettbewerbsverfahren im Zugriff auf einen Funkkanal (statistischer Zugriff)

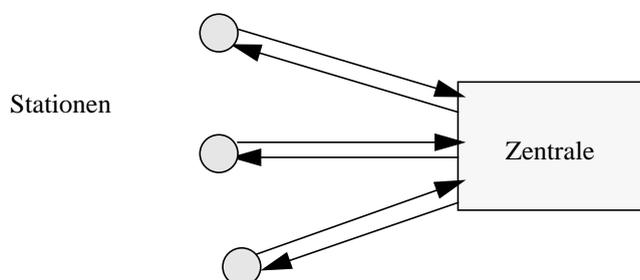


Abb. 8-15: Wahlfreier Zugriff beim ALOHA-System

1. engl.: **Medium Access Control**

- Je eine Funkfrequenz (Kanal) für Uplink und Downlink
- Kollisionen auf dem Uplink möglich, da Stationen wahlfrei jederzeit senden können. Kollision zerstört die Nachrichten aller beteiligten Stationen
- Fehlerbehandlung, d.h. Kollisionsauflösung (collision resolution) durch Wiederholung nach zufälliger Zeitdauer, falls keine Quittung auf dem Downlink
- kein Mithören der Stationen während des Sendevorgangs
- Zwei Varianten:
 - völlig wahlfrei (unsynchronisiert) - „pure“ ALOHA
 - getaktet wahlfrei - „slotted“ ALOHA

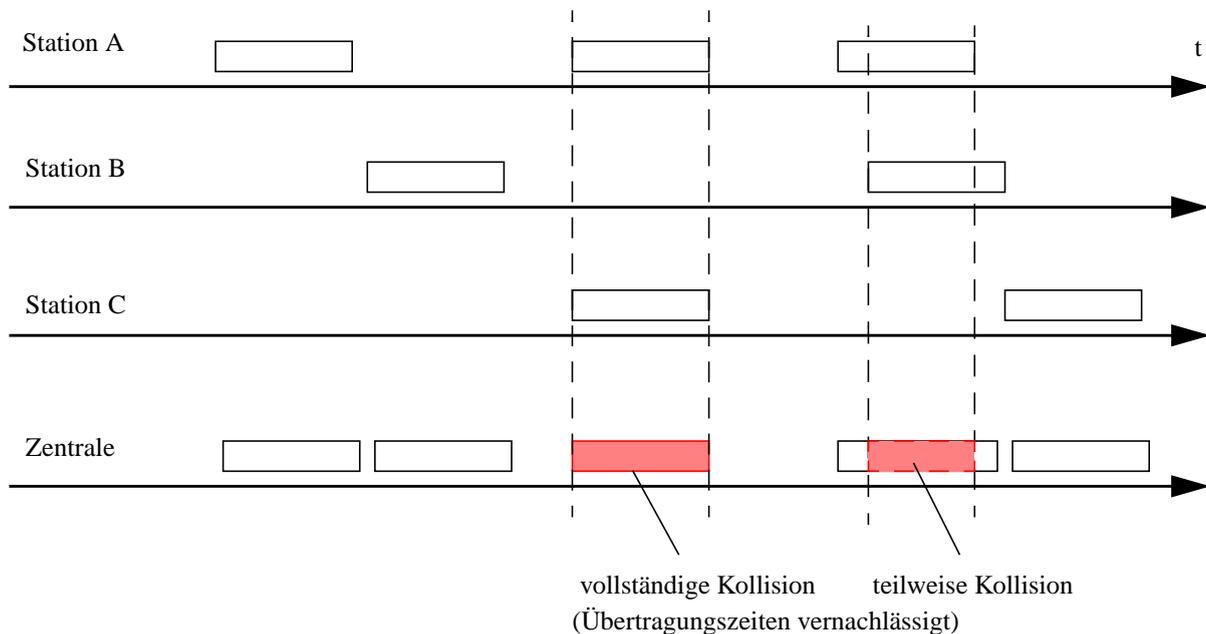


Abb. 8-16: Pure ALOHA

- Maximal-Durchsatz: ca. 18 % der Kanalkapazität

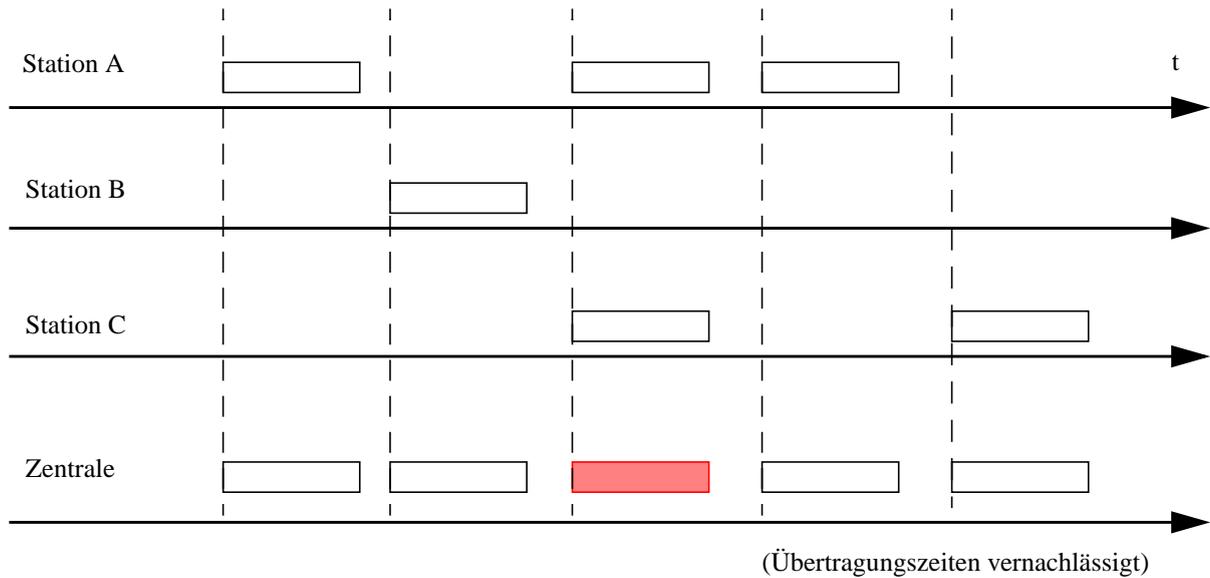


Abb. 8-17: Slotted ALOHA

- Sendeerlaubnis nur zu Beginn einer Taktperiode
- Kollisionswahrscheinlichkeit etwa halbiert
- Taktung z.B. durch die Zentrale möglich
- Maximal-Durchsatz: ca. 36 % der Kanalkapazität

Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

- Prinzip: „Abhören vor Senden“
- Trotzdem Kollision möglich

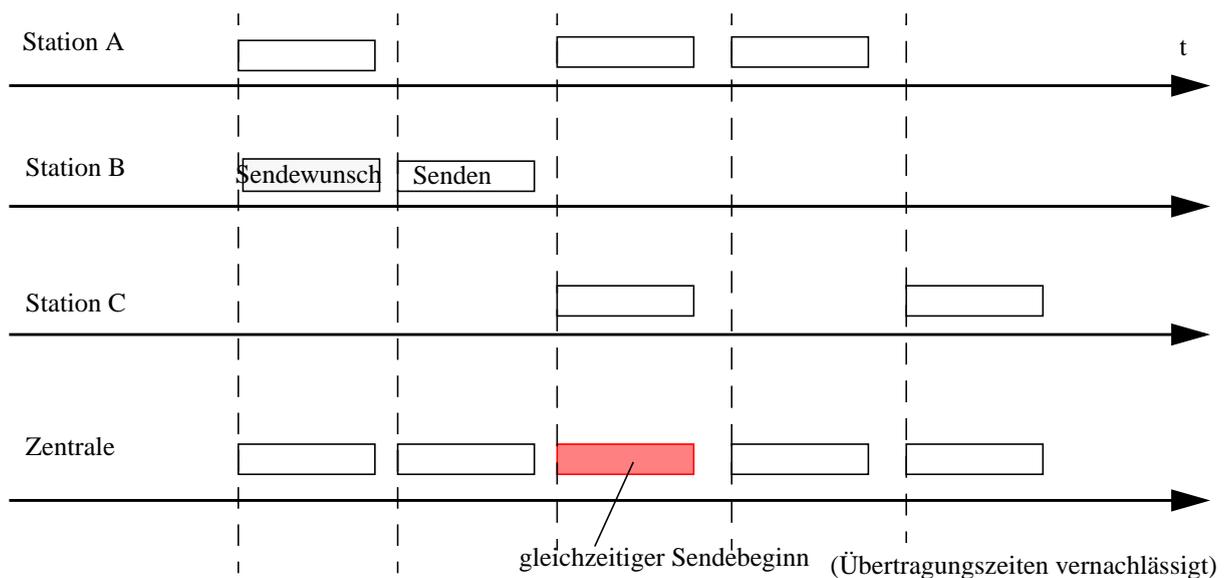


Abb. 8-18: CSMA: Abhören des Kanals vor dem Senden

Varianten

- nonpersistent CSMA: Kanal wird nur vor dem Senden abgehört; wenn belegt, wird Sendewunsch um eine *zufällige Verzögerungszeit* zurückgestellt.
- p-persistent CSMA: Prüfe Kanal, sende bei frei mit Wahrscheinlichkeit $p \rightarrow$ *geometrisch verteilte Verzögerungszeit*
- 1-persistent CSMA: $p=1$, d.h. es wird immer bei freiem Slot gesendet \rightarrow Vielfachkollision bei mehreren anstehenden Sendewünschen (hohe Last)

Leistungsbewertung

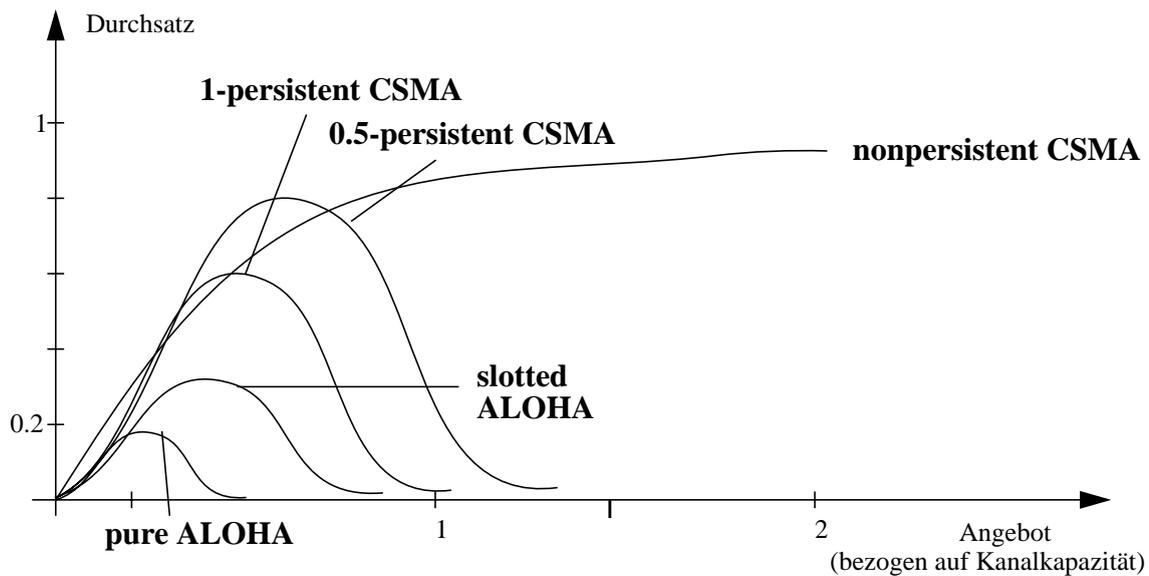


Abb. 8-19: Durchsatz vs. Angebot für verschiedene Zugriffsverfahren

CSMA mit „Collision Detection“: CSMA/CD

- Mithören *während* des Sendevorgangs; dadurch schnellere Kollisionserkennung
- Laufzeit (Propagation Delay) auf einem Segment: $\max. T_D$
- Prinzip: nach Kollisionserkennung sendet die Station ein „Jam-Signal“, welches nach maximal $2 \cdot T_D$ von der anderen Station erkannt wird; somit minimale Paketlänge $2 \cdot T_D$

8.5.3 Verfahren

Ethernet (IEEE 802.3)

- CSMA/CD, 10 Mbit/s, Bus
- Kabeltechnik: Koaxialkabel; Thickwire (alt); heute Thinwire
heute meistens UTP (verdrilltes ungeschirmtes Kabel)

Token Ring (IEEE 802.5)

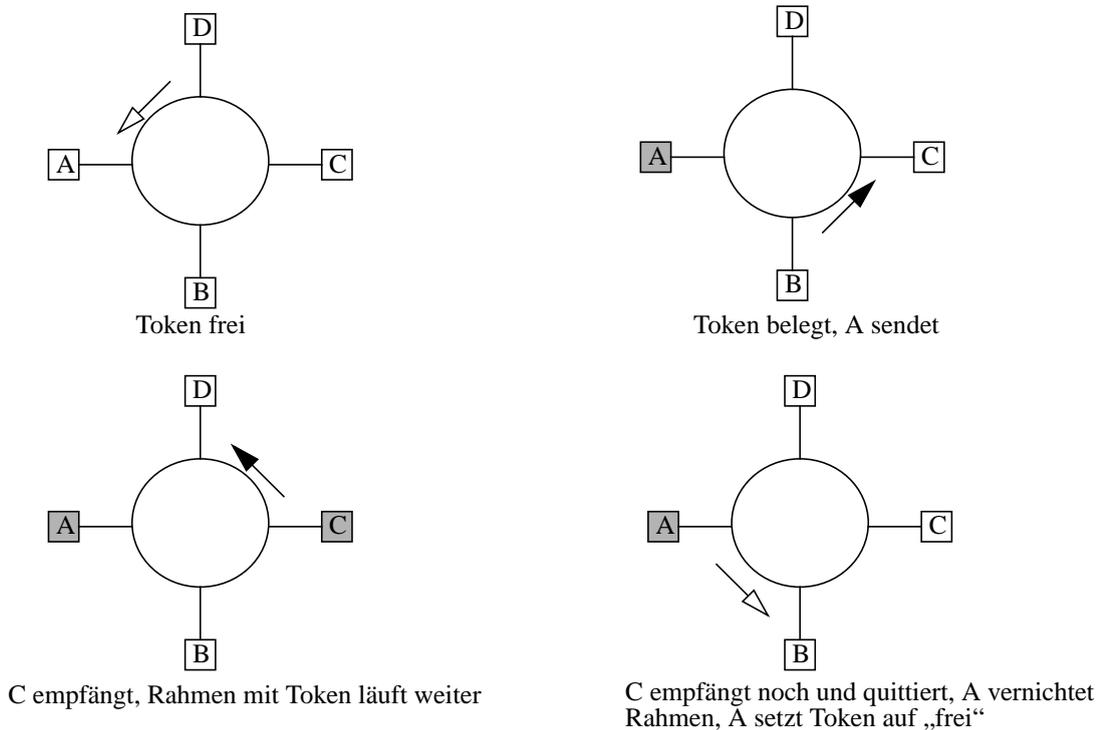


Abb. 8-20: Zugriffsverfahren beim Token Ring

Charakteristika

- deterministisch, realzeitfähig, fairer Zugriff
- effizient, da keine Kollisionen, somit gut geeignet für Hochlast
- Prioritätsstufen möglich
- Übertragungsrate: 4 und 16 Mbit/s

Besonderheiten

- Überwachung durch „Master-Station“; dies ist die erste Station im Netz, die das Token generiert hat
- getrennte Signalleitungen Senden-Empfangen (Vierdraht-Technik)
- Aktive Stationen (Signalverstärker)
- Nachricht darf auch länger sein als Laufzeit über den Ring

Token Bus (IEEE 802.4)

- physikalischer Bus, aber logischer Ring (für Token-Weitergabe)
- realzeitfähig, Prioritäten möglich
- Token muß durch explizite Adressierung weitergegeben werden
- entwickelt für den Einsatz in Fertigungssystemen, Initiator: General Motors; Teil der MAP-Architektur (Manufacturing Automation Protocol)

Weitere MAC-Standards

- 802.3a: Fast Ethernet, 802.3d Gigabit Ethernet
- 802.6: DQDB als MAN-Standard (in D: DATEX-M der Telekom)
- 802.11: Wireless LAN (HiperLAN)

	Ethernet	Token Ring	Token Bus
Installation/Verwaltung	einfach	aufwendig	aufwendig
Stationsankopplung	passiv	aktiv	passiv
phys. Medium	Bus UTP, Fiber	Ring UTP	Bus UTP, Fiber
Ü.-Rate	10 .. 1000 Mbit/s	4 bzw. 16 Mbit/s	10 Mbit/s
Realzeitfähigkeit	nein / eingeschränkt	ja	ja
Prioritäten	nein	ja	ja
Eignung für Hochlast	nein	ja	ja
Fehlerbehandlung	trivial	einfach	komplex
Verbreitung	sehr groß	gering	sehr gering

Abb. 8-21: Vergleich: Eigenschaften lokaler Netze

8.6 Audio- und Videocodierung

Grundziel ist die Umsetzung des analogen Eingangssignals in ein digitales Signal möglichst geringer Datenrate, um viele Kanäle parallel zu realisieren bzw. knappe Ressourcen (Funkkanal) effizient zu nutzen.

8.6.1 Audiocoder

Verfahren

Signalformcoder setzen das Eingangssignal direkt um. Ein typischer Vertreter ist die Pulse Code Modulation (PCM). Die Art der Quantisierung kann individuell festgelegt werden, s. Abschnitt 3.2.3. Beim Audiostandard G.711 wird z.B. eine logarithmische Quantisierung gewählt. Die Differential PCM (DPCM) berücksichtigt Korrelationen zwischen benachbarten Werten. Dies ermöglicht bei Sprache eine Reduzierung der Datenrate von 64 auf 32 kbit/s. Eine weitere Reduktion ist mit Adaptive DPCM (ADPCM) möglich, wobei das Prädiktionsfilter der DPCM adaptiv eingestellt wird. Hier kommt man dann auf 16 kbit/s.

Vocoder (VOICE CODER) sind Codierer, die nach einem Modell der menschlichen Sprachzeugung arbeiten. Dabei wird versucht, den menschlichen Sprachtrakt durch ein lineares System (lineares Filter) nachzubilden. Hierzu werden stimmhafte Laute durch Erregung des

linearen Systems mit periodischen Impulsen erzeugt, wogegen stimmlose Laute durch Erregung mit Rauschsignalen erzeugt werden, s. Abb. 8-22:.

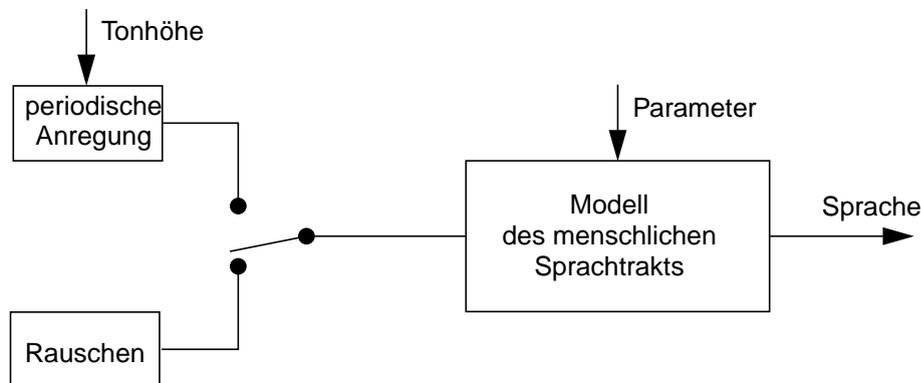


Abb. 8-22: Modell der Spracherzeugung in einem Vocoder

Die Tonhöhe der Sprache wird durch die Pulsfrequenz bestimmt. Die verschiedenen Vocoder-Prinzipien unterscheiden sich in der Art, wie die Modellparameter für das den Sprachtrakt darstellende lineare System eingestellt werden.

Vocoder erreichen zwar eine sehr geringe Datenrate, wobei die rekonstruierte Sprache allerdings sehr synthetisch klingt.

Als Kompromiss zwischen Datenrate und Sprachqualität werden sog. hybride Coder eingesetzt. Das Codebook-Excited-Linear-Prediction-Verfahren (CELP) benutzt Ansteuersequenzen, die eine Gauß-verteilte Wahrscheinlichkeitsdichte haben. Diese sind in einem Codebook eingetragen. Mit diesen Sequenzen wird das lineare System nacheinander erregt und die Abweichung (Fehlergewichtung) zum Original-Sprachsignal gemessen. Der Eintrag der Sequenz, bei dem die geringste Abweichung auftritt, wird an den Empfänger übermittelt.

Standard	Sample-Frequenz/ Quantisierung/ Codierung	resultierende Übertragungsrate	Anwendung
G.711	8 kHz/ nichtlinear 8 Bit PCM	64 kbit/s	ISDN
G.722	16 kHz/ linear 14 Bit/ SB-ADPCM ^a	64 kbit/s	HQ-Sprache
G.723.1	8 kHz/ linear 16 Bit/ CELP	6.3 kbit/s	Videotelefonie über PSTN
G.728	8 kHz/ konvert. lin. 10 Bit/ LD-CELP ^b	16 kbit/s	Video-Konferenz
G.729	8 kHz/ linear 16 Bit/ CS-ACELP ^c	8 kbit/s	Video-Konferenz

Tab. 8-1: Beispiele aktueller Audiostandards

Standard	Sample-Frequenz/ Quantisierung/ Codierung	resultierende Übertragungsrate	Anwendung
MPEG-1 ^d	32, 44.2, 48 kHz/ bis zu 24 Bit/ Teilbänder/Layer	32 .. 448 kbit/s	CD
MPEG-2	16, 22.05, 24, 32, 44.1, 48 kHz/ bis zu 24 Bit/ Mehrkanal-Codierg.	ab 32 kbit/s	DAB, digitales Fernsehen
MPEG-4	-	ab 2 kbit/s	zukünftige Multimedia- Anwendungen
GSM (Full Rate)	8 kHz/ 13 Bit/ RPE-LPC ^e	13 kbit/s	Mobilfunk

Tab. 8-1: Beispiele aktueller Audiostandards

- a. Subband Adaptive Differential PCM
- b. Low-Delay CELP
- c. Conjugate Structure Algebraic CELP
- d. Motion Pictures Expert Group
- e. Regular Pulse Extraction Linear Predictive Coding

8.6.2 Videocodierung

Digitalisierte Videosignale haben eine hohe Datenrate, z.B. ca. 170 Mbit/s für ein Standard-PAL-Fernsehsignal. Auch bei der Videocodierung steht die Datenreduktion im Vordergrund, wobei Prädiktions- und Transformationsverfahren eingesetzt werden.

Verfahren

Die *prädiktive Codierung* ermittelt mithilfe eines Prädiktors (z.B. lineare Extrapolation) einen Schätzwert des nächsten Bildpunkts. Die Differenz zwischen Schätzwert und Abtastwert wird dann als Differenz quantisiert, codiert (DPCM) und übertragen.

Bei *Frequenzcodierverfahren* wird durch eine lineare Transformation oder lineare Filterung eine dekorrelierte spektrale Repräsentation des Bildsignals gewonnen, die anschließend einer Codierung unterzogen wird, bei der durch die vorige Entfernung von Abhängigkeiten ein Codiergewinn erzielt werden kann. Beispiel: Discrete Cosine Transform (DCT) - Transformation durch Aufteilung des Bildes in Blöcke, bei MPEG-1: 8 x 8 Blöcke

Bei der *Vektorquantisierung* wird ein Codebuch aus Muster-Bildblöcken (mehrdimensionale Referenzvektoren) gebildet, das beim Coder und Decoder gespeichert ist. Von jedem Bildblock wird jetzt nur noch der Index des Codebucheintrags übertragen, bei dem die kleinste Abweichung zum aktuellen Bildblock festgestellt wird.

Die *fraktale Codierung* benützt die Selbstähnlichkeit von natürlichen Objekten, um sie äußerst effizient zu beschreiben. So kann z.B. ein Farnblatt mit einem einfachen linearen Gleichungssystem und 24 Koeffizienten wirklichkeitsnah beschrieben werden. Allerdings muss man bei

der Codierung eines Bildes die mathematische Abbildung dafür suchen, um es möglichst genau zu beschreiben, d.h., es ist das inverse Problem zur Darstellung zu lösen.

Hybride Codierverfahren kombinieren die o.g. Mechanismen. Beispiel Hybrid-Discrete Cosine Transform: Es gibt drei Verfahren zur Codierung von Einzelbildern.

- **I-Frame** (intra picture). Die gesamte Bildinformation wird für das erste Bild einer Sequenz gespeichert, z.B. nach einem Szenenwechsel (Intracodierung).
- **P-Frame** (predicted picture). Information wird durch Verweise auf das vorherige Bild und als Abweichung zur Prädiktion gespeichert (Intercodierung).
- **B-Frame** (bidirectional predicted picture). Ähnlich dem P-Frame, allerdings wird der Inhalt durch Interpolation zwischen vergangenem und zukünftigen Bild vorhergesagt. Die Abweichungen werden codiert übertragen.

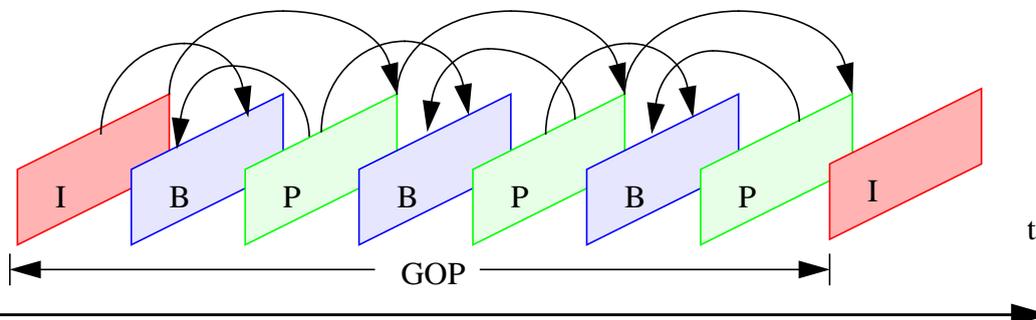


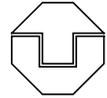
Abb. 8-23: Zeitlicher Zusammenhang zwischen den P- und B-Frames nach einem I-Frame als Szenenstart

Standard	Motion-JPEG ^a	H.261	H.263	MPEG-1	MPEG-2 (H. 262)	MPEG-4
typisches Bildformat	QCIF ^b bis CIF ^c	CIF 352x288 10 Hz ^d , 4:2:0	QCIF 176x144 8.33 Hz, 4:2:0	CIF 352x288 25 Hz, 4:2:0	CCIR 601 ^e 25 Hz, 4:2:2	QCIF bis CCIR 601
Eingangsbirtrate	2.5.. 30.4 Mbit/s	12.2 Mbit/s	2.5 Mbit/s	30.4 Mbit/s	166 Mbit/s	2.5 .. 66 Mbit/s
Ausgangsbirtrate	1.15 .. 4 Mbit/s	n x 64 kbit/s	8.. 20 kbit/s	1.15 Mbit/s	4 .. 9 Mbit/s	10.. 1000 kbit/s
Datenkompression	4 .. 100	bis 200	125 .. 313	26	18 .. 42	ca. 300
Verfahren	DCT	blockbasierte Hybrid DCT				
Anwendung	Multimedia	Bildtelefon über ISDN	Bildtelefon	Video-CD	TV	Multimedia, Studioanwendungen?

Tab. 8-2: Beispiele aktueller Videostandards

a. Joint Pictures Expert Group

b. Quarter CIF: 176 x 144 Pixel(1/4 von CIF, s.u.)



- c. Common Intermediate Format: 352 x 288 Pixel
- d. übertragene Bildfrequenz (Bildwiederholrate)
- e. TV-Standard 625 Zeilen, PAL

9 Realisierte Netze

9.1 Fernsprechnet

- Größter Automat der Welt mit 851 Mio. Tln (12.1998)
- weltweite Wachstumsrate 7% pro Jahr
- in Deutschland 46.5 Mio. Hauptanschlüsse (12.1998)
- Netz der Deutschen Telekom: hierarchisches Netz mit 5 Ebenen
 - 8 Zentralvermittlungsstellen (ZVSt), vollständig vermascht (B, D, F, HH, H, M, N, S)
 - 62 Hauptvermittlungsstellen (HVSt), sternförmig an die ZVSt angeschlossen
 - 720 Knotenvermittlungsstellen (KVSt), sternförmig an die HVSt angeschlossen
 - ca. 6200 End- bzw. Teilnehmervermittlungsstellen (EVSt, TVSt), sternförmig an die KVSt angeschlossen
 - Quer- und Diagonalleitungen (wo ausreichende Verkehrsbeziehungen, dann als Erstweg, Zweitweg über Kennzahlweg)
- assoziierte Signalisierung im Orts- und Regionalnetz, nicht-assoziert im Verbindungsnetz (eigenes ZZK7-Netz)
- Übertragungsnetz vollständig digitalisiert, z.T. bereits SDH, Übertragungsstrecken größtenteils Glasfasertechnik; Bitraten 565 Mbit/s (PDH), 622 Mbit/s, 2.5 Gbit/s (SDH)
- Digitalisierung der Vermittlungstechnik seit dem 18.12.1997 abgeschlossen
- Neues Netzkonzept: nur noch zweistufige Hierarchie (23 bzw. ca. 900 VSt, in der Realisierung); abgesetzten Multiplexern im EVSt-Bereich
- auch für Telefax genutzt (per Modem)
 - z.Zt. ca. 12 Mio. Tln, mit sehr großer Zuwachsrate
 - Fax Gruppe 3: 9600 bzw. 14400 bit/s, inzwischen auch 33600 bit/s
 - Vertikalauflösung: 100/200 dpi¹; Horizontal 200 dpi
 - Übertragungsdauer einer Standardseite: 30/60 s (9600 bit/s)
- seit 01.1998: neue Netzbetreiber (carrier) auch für den Dienst Telefonie zugelassen
 - Verbindungsnetzbetreiber-Auswahl: „Call-by-Call“ oder „Preselection“, Vorwahl „010xy“ zur Wahl des Carriers per CbC
 - neue Carrier zahlen Entgelt für die Durchleitung über das Anschlussnetz der Telekom; Übergabepunkte an den OVSt der Telekom; Errichtung eines eigenen Anschlussnetzes meist nicht wirtschaftlich - technologisch interessante Alternativen: DECT, Powerline Communications
 - sehr unterschiedlich ausgebaute Netzstrukturen der neuen Carrier
 - sehr unterschiedliche Entgeltstrukturen und -höhen; Kunden setzen „Least Cost Router“ ein

1. dots per inch

9.2 IDN (Integriertes DatenNetz)

Telex

- „Fernschreiben“, ältester Datendienst - seit 1933
- Übertragungsrate: 50 Bit/s \Rightarrow ca. 4 Min. pro A4-Seite
- halbduplex-Betrieb
- maximal 130 000 Tln Anfang der 80er Jahre, jetzt noch immer 10 000 Tln; zuverlässigster Dienst im Verkehr mit Entwicklungsländern

Teletex

- „Bürofernschreiben“ mit erweitertem Zeichensatz aller europäischen Schrift-Sonderzeichen
- keine Grafik!
- Kommunikation Speicherschreibmaschine zu Speicherschreibmaschine
- eingeführt 1981
- Übertragungsrate: 2400 Bit/s über Datex-L, 64 kbit/s im ISDN
- maximal 15 000 Tln
- kein Erfolg, durch Fax substituiert, inzwischen abgeschaltet

Datex-L

- Durchschaltvermittelte Verbindungen (**L**eitungsvermittlung)
- 2400 ... 64000 Bit/s
- kurze Verbindungsaufbauzeit $< 1s$
- Bitfehlerrate $< 10^{-6}$

Datex-P

- **P**aketvermittelte Verbindungen, UNI: X.25, NNI: X.75
- 2,4, 4,8, 9,6, 64 kbit/s Anschlussleitungen, Zugang auch über ISDN
- im Netz bis 2 Mbit/s
- eingeführt 1981
- max. ca. 100.000 Tln, rückläufig

Datex-M

- MAN (Metropolitan Area Network), hybrides System, wahlweise paket- oder durchschaltvermittelt
- Teilnehmeranschluss 64 kbit/s ... 34 Mbit/s

- Transportdienste SMDS (Switched Multimegabit Data Service) oder FR (Frame Relay)
- eingeführt 1992, bereits rückläufig

Btx

- Bildschirmtext, später Datex-J, heute T-Online
- Zugang über Modem mit anfangs 1200/75 bit/s, jetzt bis 56 kbit/s, auch ISDN 64 kbit/s sowie ADSL (T-DSL)
- einfache alphanumerische Benutzerschnittstelle (CEPT-Standard)
- interaktive Anwendungen (Auskunftsdienste, **Home Banking**, el. Dienstleistungen, ...)
- seit 1994 neue fensterorientierte Oberfläche (KIT-Standard)
- ca. 5 Mio. Tln, da hier auch Internet-Zugang möglich, stark steigend

9.3 ISDN (Integrated Services Digital Network)

Eigenschaften

- volldigitales Netz
- standardisiert seit 1980 (ITU I-Serie, ETSI, ETS300 xxx)
- international einheitliche Kommunikationsschnittstelle (Steckdose, Protokoll) für verschiedene Endgeräte, allerdings unterschiedliche Leitungscodierung: in D: 4B3T
- Teilnehmeranschluss:
 - Basisanschluß: S_0 : 2B+D; zwei 64 kbit/s Nutzkanäle parallel verfügbar, transparent; sowie ein 16 kbit/s Signalisier- und Datenkanal
 - Direktanschluß oder Bus für max. 8 betriebsbereite Endgeräte
 - bis zu 10 Mehrfachrufnummern verfügbar
 - Primärmultiplexanschluß: S_{2M} ; 30B+D64
- Kommunikationsprotokoll: E-DSS1 (europäischer Standard), anfangs ITR6 (nationaler Interimsstandard)
- einheitliches Rufnummernschema (übernommen aus dem analogen Netz)
- Verbindungsentgelte wie im analogen Netz

Dienste im ISDN

- ISDN-Fernsprechen
 - PCM mit A-Kennlinie
 - verbesserte Sprachqualität („High-Q. Audio“) nach G.722 möglich: bei geeigneten Endgeräten: Bandbreite 7.1 kHz
- ISDN-Bildtelefon
 - Bildübertragung mit 64 .. 112 kbit/s, Ton 64 .. 16 kbit/s, H.261
 - Bewegtbild oder Dokumentabtastung
 - mittlere bis schlechte Bildqualität, nur eingeschränkt geeignet für Bewegtbilder
- ISDN-Telefax (Gruppe 4)

- höhere Übertragungsrate (64 gegenüber 9.6 kbit/s) \Rightarrow ca. 10 s / A4 Seite
- Farbe übertragbar (Standard T.30)
- Endgeräte noch teuer; Durchbruch erkennbar
- ISDN-Btx
 - Seitenaufbauzeit ca. 0.2 s
 - Verbindungsaufbauzeit < 1 s
- ISDN-Datenübermittlung
 - Nutzung der B-Kanäle, des D-Kanals
 - PC als multifunktionales Endgerät mithilfe aktiver/passiver ISDN-Karte;
 - Programmierschnittstelle: *Common ISDN Application Programming Interface (CAPI)*, ETSI-Standard

Dienstmerkmale

1. Rufnummeranzeige des Anrufers (CLIP), - des erreichten B-Tlms (COLP)
 2. Dreierkonferenz
 3. Makeln
 4. Anrufrufweitschaltung
 5. Anklopfen
 6. Entgeltanzeige
 7. Dienstwechsel während einer Verbindung (z.B. Telefonie <--> Fax)
- 1..6 inzwischen auch für Tln mit analogen Engeräten verfügbar.

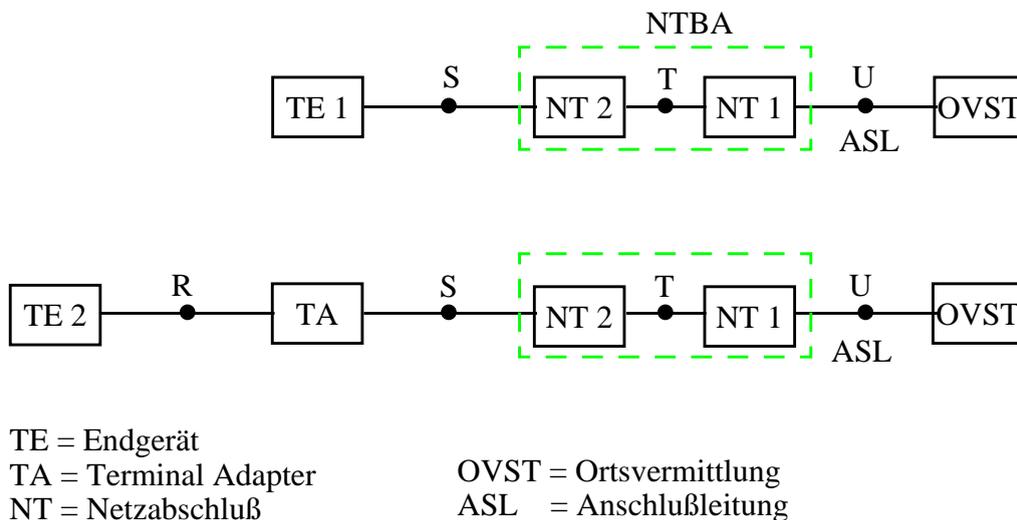


Abb. 9-1: ISDN-Teilnehmeranschluss

U-Schnittstelle

- U_{k0} (zweidrahtig) auf der Anschlussleitung des Netzbetreibers; in Deutschland: Leitungscode 4B3T mit 120 kBaud Symbolrate, sonst: 2B1Q
- U_{p0} (zweidrahtig) auf der Teilnehmerleitung in privaten TK-Anlagen einiger Hersteller; Leitungscode 2B1Q mit 80 kBaud Symbolrate

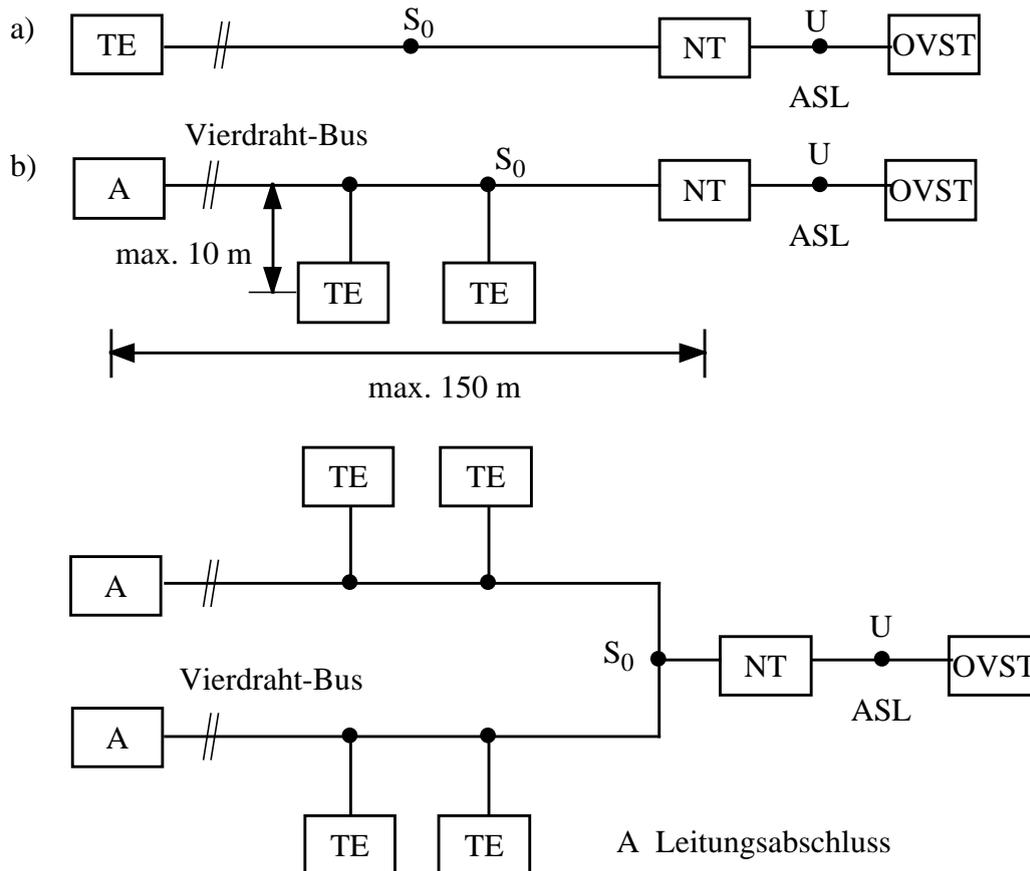


Abb. 9-2: Installationsformen des ISDN-Basisanschlusses: a) ohne b) mit S_0 -Bus

9.4 Breitbandverteilstz

- ca. 16 Mio. Anschlüsse (Ende 1995)
- mehr als 60% der Haushalte erreichbar; Kosten-Problem: ländliche Gebiete
- vielfach private Betreibergesellschaften in den NBL
- > 38 Fernsehprogramme
(mit digitalen Kompressionstechniken > 500 bei Digital Video Broadcast - DVB)
- > 30 UKW-Programme + Einspeisung des Digitalen Satelliten Radios (DSR); wurde 1999 abgeschaltet

- Basis: Kupfer-Koaxialleitungen
- Einspeisung in lokalen Kopfstationen (terrestrischer + Satellitenempfang)

9.5 Mobilfunknetze (in Deutschland)

9.5.1 Funkrufdienste (Paging)

- Eurosignal (seit 1974)
 - Ton und Anzeige von bis zu vier Signalen
 - eingeführt in D, F, Benelux, abgeschaltet 1997
- Cityruf (seit 1989)
 - in Ballungsgebieten (Städte > 20.000 EW)
 - 3 Rufklassen: Ton, Numerik, Alphanumerik
 - > 400 000 Tln
 - kleine Geräte: Scheckkartenformat, Swatch-Uhr
- SCALL: für den Empfänger gebührenfreie, funktionseingeschränkte Variante von Cityruf
- SKYPER: zusätzlich Alphanumerik, Nachrichtenabonnement
- Euromessage : Cityruf in europäischen Großstädten
- Omniport (ab 1996)
 - Nutzung des Radio-Daten-Systems
 - europaweit verfügbar
 - bereits wieder eingestellt; kein kommerzieller Erfolg
- ERMES (European Radio MESSage)
 - neuer Standard, seit langem verzögert, Einführung ?

9.5.2 Funktelefondienste

- Netz A (1958-1980)
 - handvermittelt
 - FM, analoge Übertragung, 150 MHz
 - Kapazität: max. 10 000 Tln
- Netz B, B2 (1972-1994)
 - Selbstwähltechnik, Aufenthaltsort (Basisstation) musste ungefähr bekannt sein
 - FM, analog, 150 MHz
 - max. 27 000 Tln
- Netz C (seit 1986)
 - zellulares System (ca. 25 km Radius) mit Handover¹
 - FDMA, analog, mit Sprachverschleierung, 450 MHz
 - nur in D, CH, P; zahlreiche weitere analoge, inkompatible Systeme weltweit

1. Zellenwechsel während eines Gesprächs

- max. 800 000, heute 200 000 Tln, rückläufig, Abschaltung Ende 2000
- GSM¹ 900 (D-Netze, D1, D2, seit 1992)
 - zellulares System (ca. 1..35 km Radius) mit Handover und Roaming²
 - FDMA, TDMA, digital, kryptografischer Schutz der übertragenen Daten, 900 MHz
 - max. Kapazität ursprünglich jeweils 4 Mio. Tln, heute (07.2000) ca. 13.5 bzw. 13 Mio. Tln
 - weltweiter Standard, z.Zt. Roaming in > 90 Ländern möglich
 - Hauptanwendung: Telefonie
 - verbesserte Sprachcodierung Enhanced Full Rate (EFR), Half Rate (HFR) zur Kapazitätserhöhung: in der Einführung
 - ISDN Leistungsmerkmale inkl. Datenübertragung mit max. 9600 bit/s (14400 bit/s ohne Fehlerschutz)
 - zusätzlich Kurzmitteilungen im Signalisierkanal: „Short Message Service“ (SMS); ersetzt Pager, bidirektional
 - Cell Broadcast für News-Dienste o.ä., kostenfrei
 - Paketdatenübertragung GPRS mit max. 112 kbit/s ab Herbst 2000 geplant; später EDGE mit bis 384 kbit/s
- PCN³ (Eplus-Netz, seit 1994, E2 seit 1998)
 - in D: GSM 1800; in den USA: 1900 MHz
 - mikrozellulares System hoher Kapazität (ca. 0.3..8 km Radius), sonst wie GSM 900
 - max. 30 Mio. Tln, heute (07.2000) ca. 4.5+1.2 Mio.
- weltweit 466 Mio. Mobilfunkteilnehmer (12.1999), davon 311 Mio. in GSM-Netzen (05.2000); jährliche Steigerung ca. 60%

Weitere Mobilfunkdienste

- Chekker (Bündelfunk), für regionale geschlossene Benutzergruppen (Firmen, öffentliche Dienstleister)
- Modacom (Mobile Data Communications), für reine Datenkommunikation (Transportdienste)
- GPS (Global Positioning System), Broadcast, zur Navigation
- Inmarsat (International Maritime Satellite) mit geostationären Satelliten: Sprache, Daten niedriger Bitrate (2.4 kbit/s)
- Zellulare Satelliten-Mobilfunksysteme mit niedrigfliegenden Satelliten (LEO: Low Earth Orbit z.B. Iridium⁴, Globalstar, ...), ab 11.98
 - Vorteile: niedrige Laufzeit, geringe Dämpfung, weltweite Erreichbarkeit
 - Nachteile: niedrige Lebensdauer, viele Satelliten: 30 .. 300, Inter-Satellite Links erforderlich, (noch) hohe Entgelte: ca. 10 DM/min.

-
1. Global System for Mobile Communications (ursprünglich: Groupe Special Mobile in ETSI)
 2. Erreichbarkeit auch in fremden Netzen
 3. **Personal Communications Network**
 4. in Konkurs, da wirtschaftlich erfolglos

9.6 B-ISDN

- Breitbandnetze, wenn individuell schaltbare Bandbreite Ende zu Ende > 2 Mbit/s
- Übermittlungstechnik: ATM
- Erprobung der Technologie in europäischen ACTS-Projekten (Advanced Communications Trial Systems in Europe), Pilotsysteme in Basel, Leidschendam, München, Madrid, ...
- BB-Netze entstehen z.Zt. weltweit
- in Deutschland: T-Net ATM mit z.Zt. 40 VSt, seit 04.97 im Wirkbetrieb
- Übertragungsstrecken SDH (STM-1, 155 Mbit/s) und PDH (34 Mbit/s)
- Teilnehmeranschlüsse von ISDN (2B+D), ATM25: 25 Mbit/s, bis zu 155 Mbit/s
- Anwendung vorwiegend als Transportmechanismus für Internet-Dienste und Corporate Networks

Weitere Entwicklung

- Netzerweiterungen der Telekom und der neuen Netzbetreiber werden ausschließlich mit ATM-Technik durchgeführt
- intensive Standardisierungsarbeit im ATM-Forum, ITU und ETSI
- Nutzung durch Datenkommunikation dominierend - für den Anwender nicht sichtbar im Transportnetz. Breitbandige Tln-Schnittstellen in ATM-Technik vermutlich nicht zu erwarten.

9.7 Internet

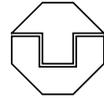
Wie der Name sagt, ist das Internet das „Netz der Netze“, also ein Zwischennetz, das andere Netze verbindet. Das Netz ist von seiner Historie ein Datennetz.

Chaotisches Netz mit einem Minimum an Vereinbarungen

- Kommunikationsprotokolle, spez. Schicht 3 (IP): völlig dezentral
- Adressierungs- und Adressvergabeverfahren
- Regularien für die Weiterentwicklungen: Requests for Comment (RFC) werden öffentlich diskutiert und nach Abstimmung eingeführt
- Internet Engineering Task Force (IETF) wichtigstes Gremium zur Fortentwicklung der Technik und Protokolle
- Netzmanagement und Routing durch Austausch von Statusinformationen mit den Nachbarknoten, sog. „Hello-Messages“ alle 30 s übermitteln Status, Erreichbarkeit, ...

Dienste:

- Datenkommunikation, s.o.
- Informationsdienste aller Art
- ... durch Hypertext-System (www, Browser als Client beim Anwender) sehr einfaches Adressieren von Querverweisen, sog. „Links“



- interaktive Dienste: Sprachkommunikation „Internet-Telefonie“, Videokommunikation „MBone“, ...
- Download komprimierter Audio-Dateien, z.B. MP3, Wiedergabe auf einem „Solid State Walkman“
- Stream Mode: „Rund“-Funk; Radio bzw. Video

Entwicklung:

- Ursprünglich für den File-Transfer (ftp), Nachrichtenaustausch (email) und Datenfernzugang (telnet) im wissenschaftlichen Bereich entwickelt
- Nach Einführung des Hypertext-Systems „World Wide Web“ (1993) rasanter Teilnehmer- und Verkehrszuwachs
- heute ca. 500 Mio. Tln, ca. 300 Tsd. Server
- riesiges Informationsangebot, nur noch durch Suchmaschinen (einigermaßen) zu überblicken
- Verkehrszuwachs im Internet wesentlich höher als im Fernsprechnet (300% vs. 7% pro Jahr); Verkehr im Internet hat in vielen Ländern bereits den in der Telefonie übertroffen