

Kommunikations-Systeme

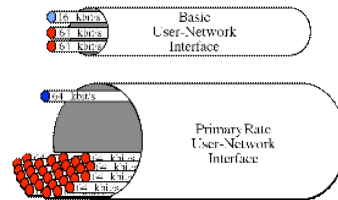
Prof. Dr. Konrad Froitzheim (frz@informatik.tu-freiberg.de)

Vorlesungsunterlagen:

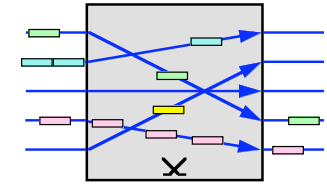
<http://ara.informatik.tu-freiberg.de/vorlesungen/KommSys2006.doc>

Inhaltsübersicht

1. Informationsbegriff
2. Signalübertragung
 - 2.1 Physik und Elektrotechnik
 - 2.2 Übertragungsmedien
 - 2.3 Modulation
 - 2.4 Multiplex
 - 2.5 Kanaltypen
 - 2.6 Rahmenübertragung
 - 2.7 Lokale Netze
 - 2.8 Mobilfunknetze



3. Vermittlungsdienste
 - 3.1 elektrische Durchschaltung
 - 3.2 Bit- und Bytevermittlung
 - 3.3 Zellvermittlung
4. Netzwerkinterface
 - 4.1 Hardware
 - 4.2 Device Driver
 - 4.3 Protokollimplementierung



Literatur

- Black, U.: ATM: Foundation for Broadband Networks; Prentice Hall, 1995.
- Carne, E.B.: Telecommunications Primer; Prentice Hall, 1999.
- Froitzheim, K.: Multimediale Kommunikationsdienste, 1996.
- Halsall, F.: Data Communications ...; Addison-Wesley, 1995.
- Häckelmann, H.: Kommunikationssysteme; Springer, 2000.
- Pecar, J. et al.: Telecommunications Factbook; McGraw-Hill, 1992.

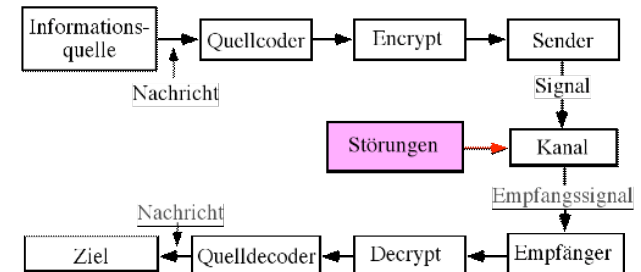
1. Überblick und Taxonomie

1.1 Informationsbegriff

- Shannon, 1948:
 - Definition als mathematische Größe
- Nachrichtenquelle
 - Nachrichten mit Wahrscheinlichkeit p
 - Wahrscheinlichkeit bestimmt Informationsgehalt
- Definition: Entropie $H = -\log_2 p$ bit
- Beispiel Münzwurf
 - Ereignisse Kopf und Zahl
 - $p(\text{Kopf}) = 1/2$, $p(\text{Zahl}) = 1/2$
 - $\Rightarrow H(\text{Kopf}) = -\log_2 1/2 \text{ bit} = \log_2 2 = 1 \text{ bit}$
- Beispiel Würfel
 - Ereignisse 1, 2, 3, 4, 5, 6
 - $p(i) = 1/6$
 - $\Rightarrow H("3") = -\log_2 1/6 \text{ bit} = 2,58... \text{ bit}$

- Wahrscheinlichkeit einer Symbolfolge $s_1 s_2 \dots s_n$
 - Symbole haben Wahrscheinlichkeit $p(s_i) = p_i$
 - $p = p(s_1) * p(s_2) * \dots * p(s_n)$
 - $p("the") = 0,076 * 0,042 * 0,102 = 3,25584 * 10^{-4}$
- Entropie einer Nachricht: $H = -\log_2 p$ [bit]
 - $H("the") = 11,6 \text{ bits}$
- Wahrscheinlichkeit $p(s_i)$
 - allein $\neq$ im Kontext
 - $p(s_i = 'h') = 0,042 \Rightarrow H('the') = 11,6 \text{ bits}$
 - $p(s_i = 'h' | s_{i-1} = 't') = 0,307 \Rightarrow H('the') = 6,5 \text{ bits}$
- Informationsrate in
 - englische Buchstaben: 4,76 bit/Buchstabe
 - englischem Text: 4,14 bit/Buchstabe
 - englischem Text: 9,7 bit/Wort, $\sim 2 \text{ bit/Buchstabe}$

- Satz von der rauschfreien Quellkodierung
 - $H(N) = x \text{ bit} \Rightarrow \exists \text{ Kode } K \text{ mit } \text{Länge}_K(N) = x \text{ Bits}$
 - Mittlere Kodelänge kann Entropie annähern
- Kode = Nachricht + Redundanz
- Übertragung



- Quellkodierung reduziert ungewollte Redundanz
- Sicherheitskodierung verhindert Mithören
- Kanalkodierung (Fehlerkontrollcodes) gegen Störungen

- Kanalkapazität

$$C = \text{Bandbreite} \log_2 \left(1 + \frac{\text{Signalleistung}}{\text{Rauschleistung}} \right)$$

- Satz [Shannon]

Für jeden Kanal mit Kanalkapazität C existieren Codes, so daß in diesem Kanal Informationen mit einer Rate kleiner C übertragen werden können mit beliebig kleinem Fehler.

- Existenzbeweis
- Coderate = Anzahl Nachrichten / Anzahl Symbole im Code
- Hamming: Error Detecting and Error Correcting Codes [1950]
 - konstruktiver Ansatz
 - kombinatorische Codes
 - z.B. Parity
- Hamming-Abstand
 - Anzahl Elemente, in denen Codeworte v und w unterschiedlich

- Kommunikation [Shannon, Weaver]:
 - Lebewesen oder Maschine beeinflußt anderes Lebewesen oder Maschine
 - technisches Problem
 - semantisches Problem (Symbole und ihre Bedeutung)
 - Effektivitäts-Problem (Einfluß der Bedeutung)
- Speziell: Datenaustausch
 - über immaterielle Träger
 - größere Distanzen
 - zwischen Mensch und/oder Maschine
- Immaterielle Träger
 - Energieflüsse, z.B. elektromagnetische Wellen
 - kein CD- oder Diskettentransport

2. Übertragungsdienste

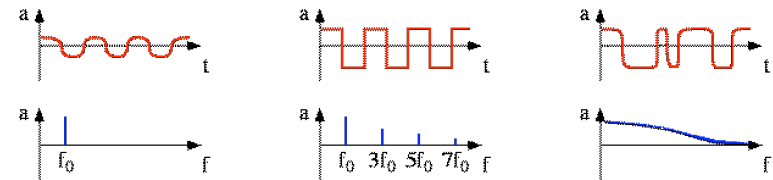
2.1 Physik, Elektrotechnik und Leitungseigenschaften

- Physikalisches Signal zur Darstellung von Datensymbolen:
 - Schallwellen
 - Licht
 - elektrischer Strom & Spannung
 - Mikrowellen
- Transport über einen Übertragungskanal
 - Luft
 - Draht, Telefonleitung
 - Lichtleiter für Lichtimpulse
 - Funkkanal für Radiosignale
- Eigenschaften des Kanals
 - Wellenwiderstand und Reflexion
 - Laufzeit
 - Wellengleichung und Phasengang
 - Dämpfung
 - Bandbreite

- Jedes periodische Signal kann dargestellt werden als
 - Summe von Sinus und Cosinus [Joseph Fourier, 1822]

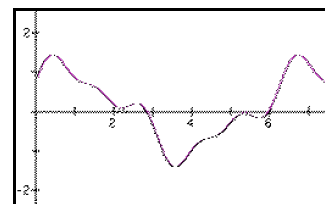
$$v(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos n\omega t$$

- a_0, a_n, b_n sind die Fourierkoeffizienten
- Berechnung mittels Fourieranalyse
- a_0 ist der Gleichstromanteil
- Signal und Frequenzspektrum

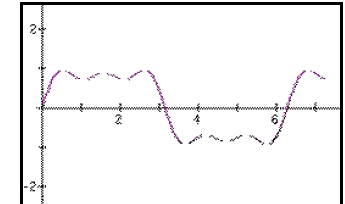


- Übertragungsleitung als Filter
 - dämpft unterschiedliche Frequenzen verschieden
 - Hochpass, Tiefpass, Bandpass
 - Verzögerungswirkung auf Frequenzen
 - Reaktion auf Phasen
- Lineare Schaltkreise und Sinuswellen
 - verändern Frequenzen nicht
 - können relative Amplituden ändern
 - können relative Phase verschieben

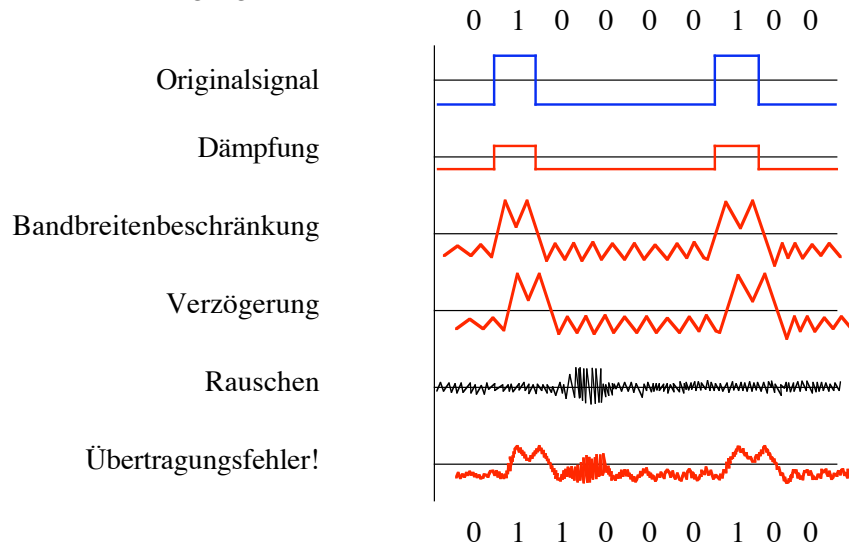
$$\sin(x+\pi/4) + 1/3 \sin(3x) + 1/5 \sin(5x)$$



$$\sin(x) + 1/3 \sin(3x) + 1/5 \sin(5x)$$

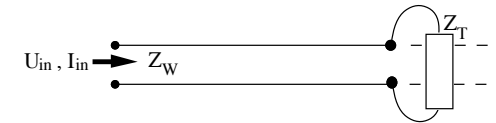


- Effekte bei der Übertragung



- Leitung abschneiden

- abgeschnittenen Teil ersetzen durch einen Widerstand Z_T
- Termination (Abschluss)

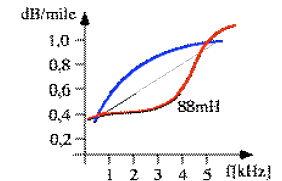


- $Z_T \neq Z_W$ Rückwirkungen auf den Eingang, sogenannte Reflektionen
- Abschlußwiderstand Z_T

- absorbiert gesamte Energie $\Leftrightarrow Z_T = Z_W$
- z.B. Thinned 50Ω

- Erhöhung der Impedanz

- mit Induktivität
- Übertragung mit weniger Strom und höherer Spannung
- z.B. bei Telefonleitungen (Spulen mit 88 mHenry alle 2000 m)



2.1.1 Wellenwiderstand und Reflektionen

- Wellenwiderstand

- Ohmsches Gesetz: $R = U/I$
- Widerstand R nur wenn U und I sich 'langsam' ändern
- Impedanz $Z = U/I$
- frequenzspezifisch
- Eigenschaft des Übertragungsmediums

- Unendlich lange Leitung bietet am Eingang Wellenwiderstand Z_W

- Leitungseigenschaft $Z_W = U_{in}/I_{in}$



- Reflektion durch abrupte Änderung des Wellenwiderstandes

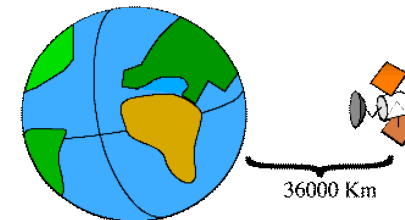
- Bsp. Schall an der Grenze Luft-Wasser
- Bsp. Koaxialkabel mit verschiedenen Geometrien

2.1.2 Laufzeit

- Lichtgeschwindigkeit c : obere Grenze von 299.792,458 km/sec

- Ausbreitungsgeschwindigkeit auf Leitungen $< c$
- Strom im Kabel ca. 200.000 km/sec
- Schall 0,343 km/sec, Erdbebenwellen 8 km/sec

- Signalverzögerung beim Telefonieren über Satelliten:



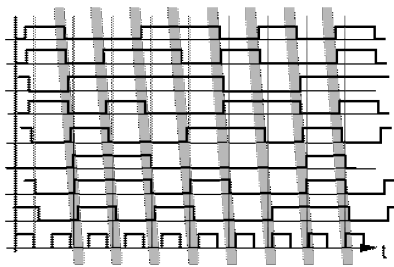
- Zusätzliche Verzögerungen im Vermittlungsrechner

- Medium wird Speicher

- 5000 km $\Rightarrow$ Laufzeit 25 ms
- 64 kbit/s $\Rightarrow$ 1600 bit
- 2 Mbit/s $\Rightarrow$ 50000 bit

- Probleme bei paralleler Datenübertragung

- Adern gleich lang und gleich schnell?
- 20 cm Draht = 1 Nanosekunde
- Skewing: störende Laufzeitunterschiede

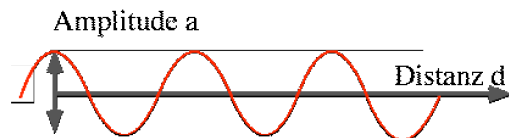


- Taktflanke trifft eventuell nicht immer die Mitte des Datenbits
- siehe z.B. PCIe

2.1.3 Wellengleichung und Phasengang

- Signalamplitude zur Zeit t am Ort d:

$$a(t,d) = A \cdot \cos(2\pi(f \cdot t - d/\lambda)) = A \cdot \cos(\varphi)$$

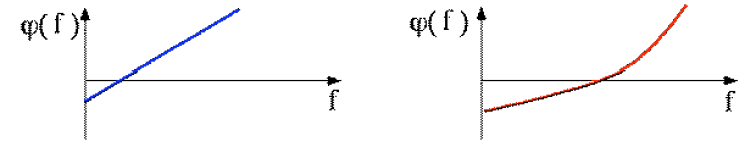


- Phase φ für ein bestimmtes t_0 und d_0 auf einer Leitung:

- φ = Phase = $2\pi(f \cdot t - d/\lambda) = \varphi(f,t,d)$
- Ausbreitungsgeschwindigkeit c, Wellenlänge λ : $f = c/\lambda$

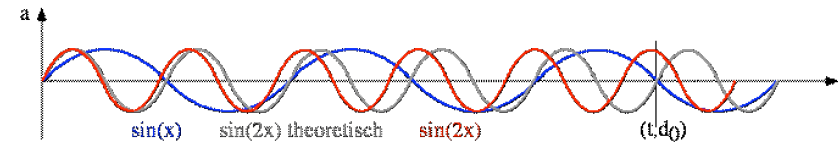
- Phasengang linear: frequenzunabhängiger Einfluß auf
 - (Wellenlänge, Geschwindigkeit)

- Linear in f: $\varphi(f) = 2\pi(f \cdot t_0 - d_0/\lambda) = 2\pi(f \cdot t_0 - d_0 \cdot f/c)$



- Nicht linear in f: $\varphi(f) = 2\pi f(t_0 - d_0/c(f))$

- höhere Frequenzen breiten sich langsamer aus (λ wird kleiner)



- Frequenzabhängige Laufzeit (Dispersion)

- führt zu Verzerrungen und Intersymbolinterferenz
- Phasengeschwindigkeit und Gruppengeschwindigkeit
- Kompensierung (Equalization)

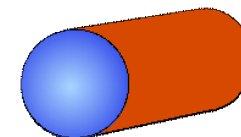
2.1.4 Dämpfung

- Abschwächung des Signals

- Ohmscher Verluste

- Skin Effekt

- höhere Frequenz => Selbstinduktion
- höhere Impedanz im Kern
- Strom fließt auf der Oberfläche (=> weniger leitende Fläche)
- erhöhte Abstrahlung



- Dielektrischer Verluste

- isolierte Drähte bilden 'Kondensator'
- Energieverlust durch den Isolator

- Abstrahlungsverluste

- Reflexionen

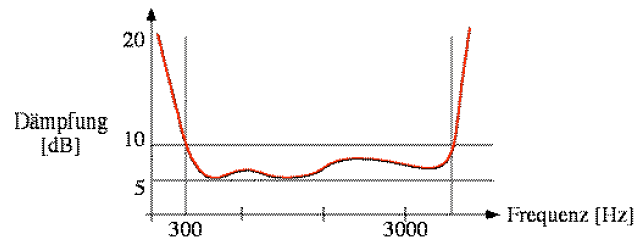
- Dämpfung $G = 10 \log(P_{in}/P_{out}) = 20 \log(U_{in}/U_{out})$ [dB]
 - additive Eigenschaft einzelner Leitungsabschnitte
 - exponentiell in der Entfernung
 - Referenzpegel von 1mV



- Frequenzabhängige Dämpfung => Filter, lineare Verzerrung
 - Korrektur mit Equalizer

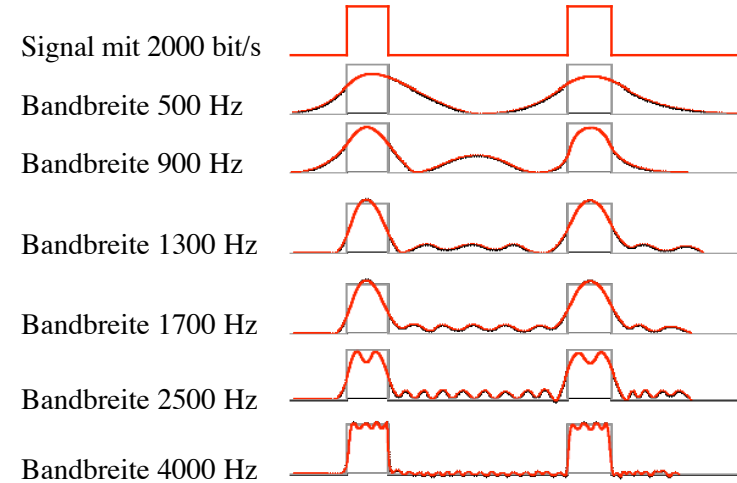
2.1.5 Bandbreite

- Intervall zwischen unterer und oberer Grenzfrequenz
 - dazwischen einigermaßen gleichmäßige Dämpfung
 - linearer Phasengang
- Beispiel Telefonverbindung:



- Begrenzung nicht ideal
 - keine vertikalen Flanken
 - Abschneidefrequenzen festlegen
 - breiteres Frequenzband reservieren

- Einfluß der Bandbreite auf digitales Signal



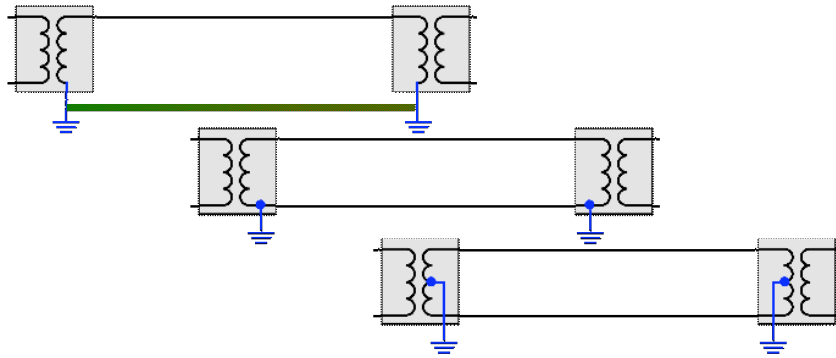
2.1.6 Störspannung (Rauschen)

- Einschaltspitzen
 - Elektrogeräte
 - Funkenbildung
- Übersprechen
 - zwischen Kabeln in einem Kabelkanal
 - zwischen Adern im Flachbandkabel
 - Funkfrequenzen
- Thermisches Rauschen
 - Kühlen von Leitungen
- Halbleiterrauschen
- Reflexionen
- Störpegel gemessen in dBmV
- Signalstörung
 - transient: stochastischer Prozeß
 - permanent: weisses Rauschen
 - Impulsstörungen

2.2 Übertragungsmedien

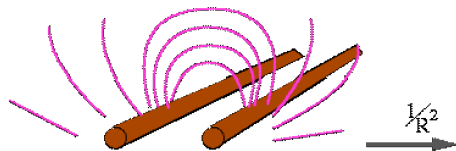
2.2.1 Stromleiter = Kupferkabel

- Leiter meist aus Kupfer
 - früher teuer



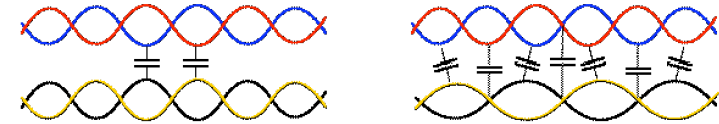
- Isolation aus Polyäthylen oder PVC
 - früher Papier oder Holzmark
 - Luftleitungen an Telegraphenmasten

- Preisgünstig für kurze Entfernungen oder kleine Datenraten
- Relativ hoher Wellenwiderstand
 - Twisted Pair 0,9 mm 120 Ω ??? dB/mile
 - Telefonfreileitung 2,7 mm 600 Ω 1 dB/mile
 - FM Bandkabel 300 Ω
 - angenehm für den Leitungstreiber
- Vieladrig für grössere Installationen
- Wenig oder keine Abschirmung
- Verdrillt
 - Reduktion der Abstrahlung (twisted pair)
 - Störungen wirken auf beide Adern gleich
 - Feld der Doppelader nimmt ab mit $1/R^2$



- Geschwindigkeit 130 - 200 Mm/s

- Besonderheiten der Verdrillung
 - Verdrillungslänge $\ll$ Wellenlänge
 - in Mehrfachkabeln unterschiedliche Verdrillungslänge



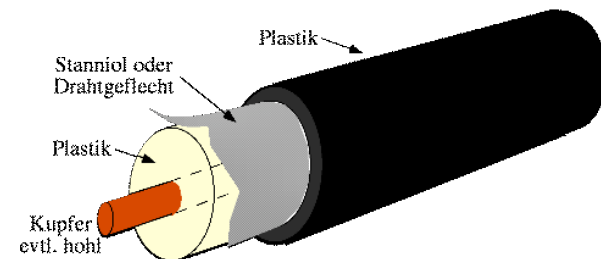
- Unshielded Twisted Pair (UTP)
 - 26 American Wire Gauge $\sim$ 0,4 mm
 - 19 AWG $\sim$ 0,9 mm

- Kategorieeinteilung in USA

CAT 1	Sprache, langsame Daten	bis 56 kbit/s
CAT 2	Daten bis 1 Mbit/s	
CAT 3	Übertragung bis 16 MHz	10BaseT, 4 Mbit/s Tokenring
CAT 4	Übertragung bis 20 MHz	16 Mbit/s Tokenring
CAT 5	Übertragung bis 100 MHz	100BaseT, ATM

Koaxial-Kabel

- Antennenkabel, Ethernet



- Wellenwiderstand 50 Ω oder 75 Ω , 200 - 240 Mm/s
- Kennzeichnung: Verhältnis Innenleiter/Außenleiter 2,6/9,5 [mm]
- Widerstandsverluste wachsen mit Wurzel der Frequenz $\Rightarrow$ 2 bis 10 GHz
- Signalausbreitung im Dielektrikum zwischen den Leitern
- metallische Ummantelung gegen Störung und Abstrahlung
 - Aussenfeld vernachlässigbar
 - reduziert Überprechen drastisch
 - unter 100 kHz unwirksam

Hohlleiter (Waveguide)

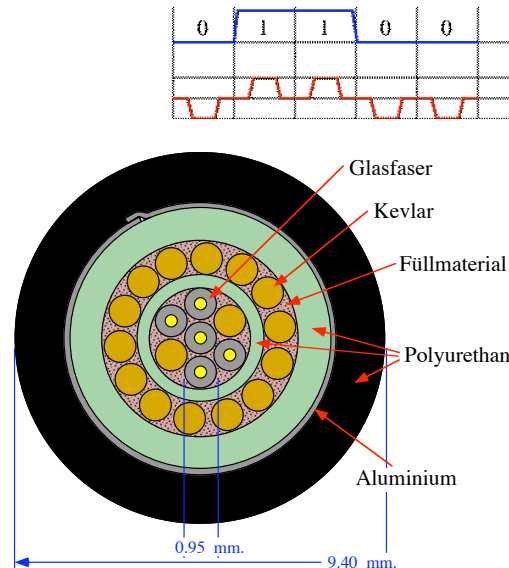
- vgl. 'Gartenschlauch-Telefon'
- Metallischer Hohlkörper
 - gefüllt mit Luft oder Stickstoff
 - rund, elliptisch oder rechteckig



- Geführte Ausbreitung
 - elektromagnetische Wellen
 - sehr hohe Frequenzen (Mikrowellen)
 - fortlaufende Reflexion
 - hohe Energien
- Heute noch als Zuleitungen für Richtfunkanlagen
- 2GHz - 110 GHz

2.2.2 Lichtwellenleiter

- Licht als Datenträger
- Intensitätsmodulation
 - meist dreiwertig
- Glas oder Plastik als Leiter
- Komplexe Handhabung
 - spleißen
 - Endstücke konfektionieren
 - biegen und brechen
- Gute Störsicherheit
- Sender
 - LEDs oder Laserdioden
- Empfänger
 - Photodioden
 - Phototransistor
- Erbium-Glas verstärkt

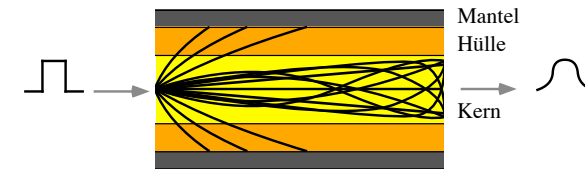


• Allgemeine Funktion



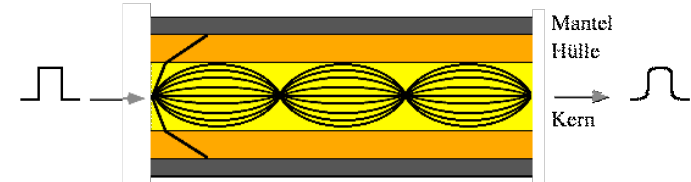
• Multimode Glasfaser mit Stufenindex

- Brechung oder Reflexion beim Übergang Kern zu Hülle
- Kern und Hülle aus Glas
- Hülle mit niedrigerem Brechungsindex



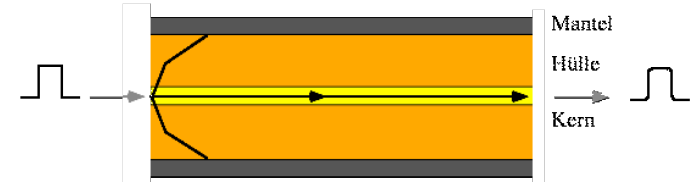
- Absorption durch Mantel.
- Unterschiedliche Pfadlänge.
- Kern 50–125 μm , Hülle 125–500 μm

• Multimode Glasfaser mit Gradientenindex



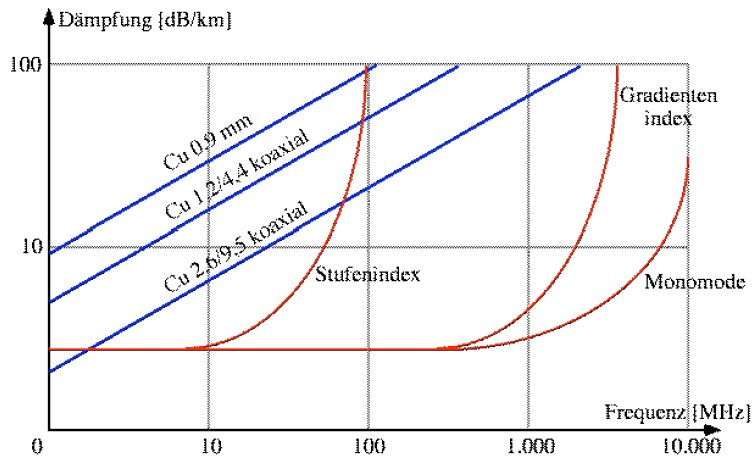
• Monomode Glasfaser (single mode)

- Fernleitungen für Telefongespräche ...



- Kernradius $\approx$ Wellenlänge, 3–10 μm
- gleiche Pfadlänge für alle Photonen
- (Amplituden-)Modulation mit bis zu 50 GHz
- Wellenlängen 850, 1300 oder 1500 nm.

• Dämpfungsvergleich



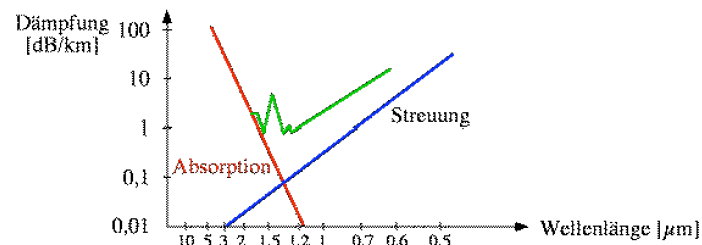
• Glasfaserdämpfung komplexer

• Dämpfung in Glasfasern

- Absorption (thermisches Rauschen, Verunreinigungen)
- Streuung (lokale Änderungen im Brechungsindex)
(vgl. blauer Himmel bei Sonnenschein)
Rayleigh Streuungs-Grenze abhängig von λ
- Spleißstellen und Biegungen

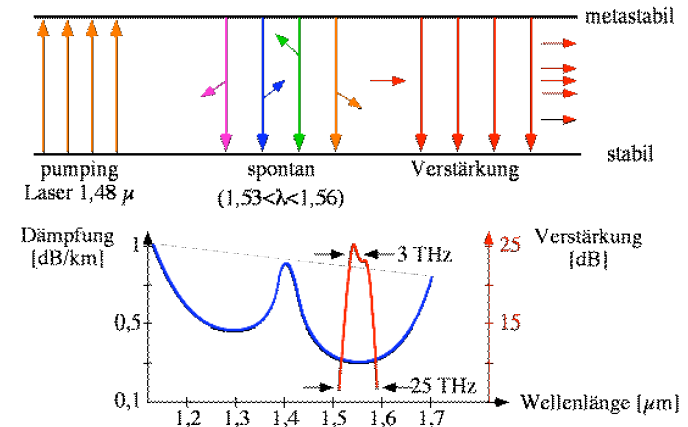
• Absorption und Streuung können unterschiedliche Vorzeichen haben

- gegenseitiges Aufheben
- Lokale Minima (1,3 μm und 1,45 μm)
- besondere Profile des Brechungsindex



• Optischer Verstärker

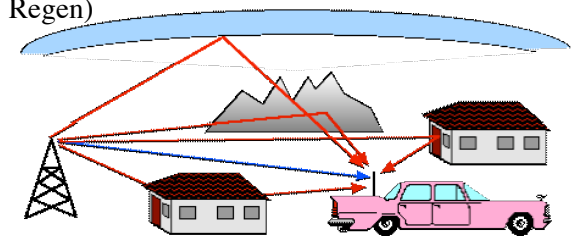
- 1987 Erbium-dotierte Glasfaser [Univ. Southampton]
- Erbium-Ionen mit Laser (1,48 μm) in metastabilen Zustand bringen
- spontane Rückkehr mit diffuser Photonenabgabe
- Signalphotonen regen sofortige Rückkehr an
- Photonenabgabe in Richtung des Signalphotons



2.2.3 Funk

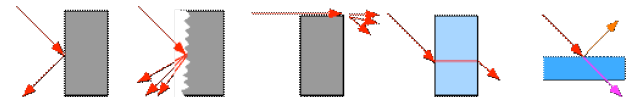
• Reduzierte Zuverlässigkeit:

- Wetterverhältnisse (Schnee, Regen)
- Atmosphärische Störungen
- Mehrwegausbreitung
- Abschattung



• Störungen bei der Ausbreitung des Funksignales

- Reflexion, Beugung



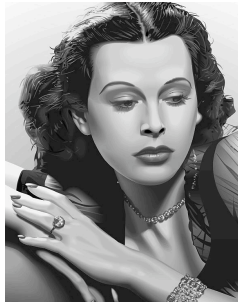
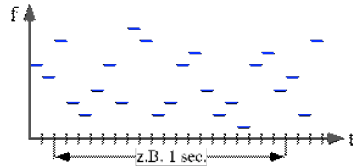
• Problem

- Mehrwegausbreitung $\Rightarrow$ Signal verwaschen
- andere Funksignale überlagern dauerhaft

- Spread Spectrum [Hedy Lamarr, 1941]

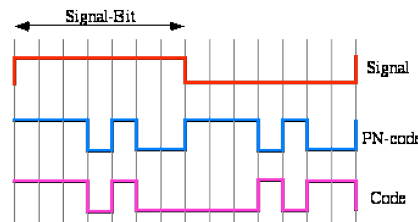
- Mehrfaches Frequenzband verwenden
- Signal schmalbandig kodieren
- auf Trägerfrequenz aufmodulieren
- Trägerfrequenz in Sekundenbruchteilen wechseln
- Frequenz-Sequenz aus Pseudozufallsfolge
- Spreizen des Signales

- Frequency Hopping (FHSS)



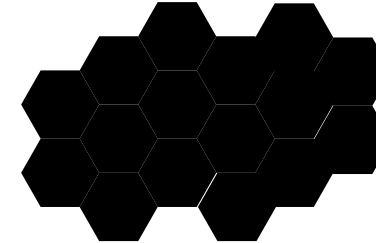
- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

- lange, digitale (pseudo-Zufall) Bit-Sequenz pro Datenbit
- Empfänger 'sucht' Bit Sequenzen



- Frequenz-Wiederbenutzung durch Zellstruktur

- hexagonale Struktur theoretisch
- Landschaft bestimmt Zelltopologie
- Gerätedichte bestimmt Zellgröße
- Antennen mit Richtcharakteristik
- Simulationssysteme und Messungen

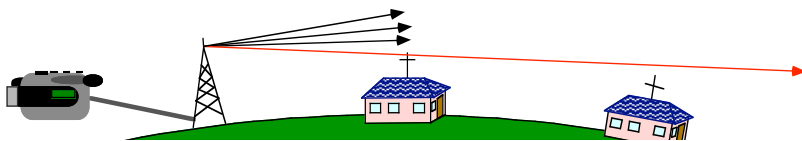


- Mobile Einheit wählt Zelle

- Signalstärkemessung
- komplexe Adressbindung
- Handover während der Verbindung?
- Spezialantennen zur 'Verfolgung' der Mobilstation

- Terrestrischer Funk

- Betriebsfunk
- Öffentliche Mobilfunknetze (GSM 900 und 1800 MHz)
- Rundfunk, Fernsehen

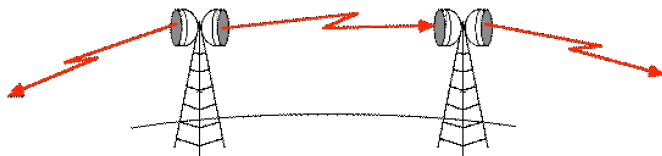


- Ausbreitung

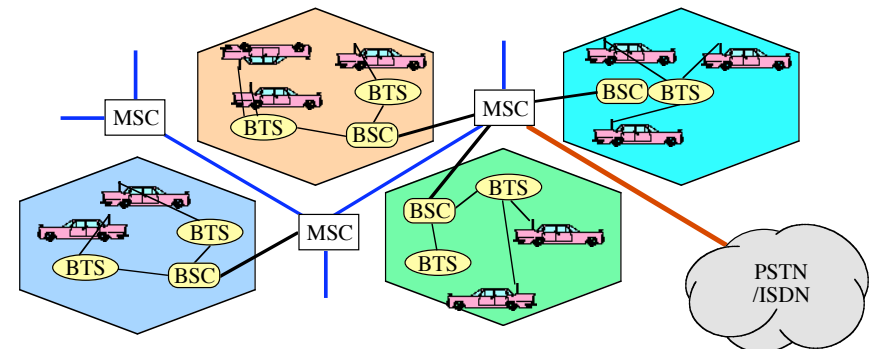
- entlang der Erdoberfläche bis 700 km
- reflektiert an Erde und Ionosphäre bis 7000 km

- Mikrowellenrichtfunk im Fernmeldenetz

- point - to point, line-of-sight
- AR6A: 6 GHz, 6.000 Telefonate, AT&T 1980: 800.000 km



- GSM-Organisation

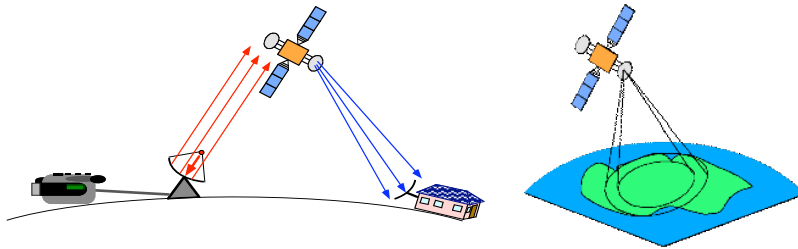


- Kürzelinflation

- MS - Mobile Station
- BSS - Base Station Subsystem
- BTS - Base Transceiver Station, BSC - Base Station Controller
- MSC - Mobile Switching Center
- IWF - InterWorking Function

- Direktstrahlende Satelliten

- TV-Satelliten (Astra, 10-12 GHz; Eutelsat, ...)
- VSAT - Very Small Aperture Terminal: Telefonie
- Inmarsat



- Iridium, Teledesic ...
- Footprint

- Transponder

- Empfänger und Demodulator
- Regenerator
- Modulation und Sender
- Strom kein Problem

- Satelliten als Relaisstationen

- Telstar, Intelsat, ...
- ähnlich Richtfunk
- Fernsehrelaisstrecken, Telefonie im Multiplex

- Satellitentypen

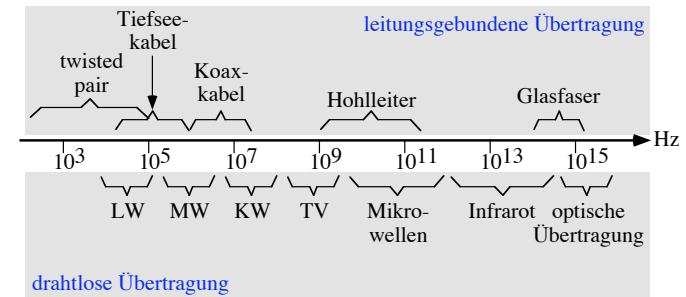
- GEO - Geostationary Orbiter
- MEO: Medium Earth Orbiter
- LEO: Low Earth Orbiter
- Umlaufbahn bestimmt Eigenschaften und Startkosten

	GEO	MEO	LEO
Flughöhe	35.786 km	6.000 -12.000 km	700 - 2.000 km
Umlaufdauer	24 h	4 - 12 h	1,5 - 2 h
Satelliten	3 - 4	10 - 15	> 40
Zellen	< 800	~ 800	> 3.000
Verzögerung	> 300 ms	150 ms	< 50 ms

- Iridium: 66, 6 Bahnen, 780 km, 10 min sichtbar, 4.000 Kanäle

- Teledesic: 840, 21 Bahnen, 700 km, 2.500 Kanäle

- Einteilung des Spektrums



- Regulatorische Vorgaben

- bei der leitungsgebundenen Übertragung frei
- Abstrahlung reguliert (EMV)
- bei drahtloser Übertragung reguliert durch Behörden

2.3 Signalbildung und Modulation

a) Analoge Daten, Analoges Signal

- klassische Technik
- direkte Übertragung
- Modulation zur Mehrfachausnutzung
- nicht in dieser Vorlesung diskutiert

b) Digitale Daten, Digitales Signal

- Kanal ohne wesentliche Frequenzbeschränkung

c) Analoge Daten, Digitales Signal

- Bsp. Telefonie im ISDN
- Kostenvorteile digitaler Vermittlungstechnik
- Multimedia-Kommunikation
- Transport mit b) oder d)

d) Digitale Daten, Analoges Signal

- Kanal mit echter Frequenzbeschränkung
- Medien, die nur analoge Signale übertragen
- Telefon, Glasfaser, Funk, ...

- Digitale Daten, Analoges Signal
 - Möglichst viele Datenbits übertragen
 - Übertragungskanal hat eingeschränkte Bandbreite
 - Telefonleitung 300 .. 3400 Hz
 - Fernsehkanal 7 MHz
- Energie auf Frequenzen außerhalb des übertragenen Bandes
 - verloren
 - stört andere
 - Energiespektrum des Signals muß Übertragungskanal entsprechen
- Ausgestrahlte Leistung > Grundrauschen im Kanal
- Taktrückgewinnung
 - separate Leitung?
 - aus dem Signal
- Basisband
 - (fast) unendliches Spektrum bei digitalen Signalen
- Modulation
 - bandbreitenbeschränkte Kanäle, Mehrfachausnutzung
 - Trägerfrequenz

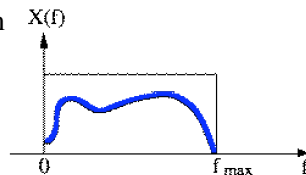
2.3.1 Abtasttheorem und Kanalkapazität

- Abtast-Theorem [Whittaker, 1915/1929, Borel 1897]
 - wie häufig muss ein Signal abgetastet werden?
 - eindeutige Identifikation/Rekonstruktion
 - frequenzbeschränkt
- Minimale Abtastfrequenz > $2 f_{\max}$ Abtastwerte pro Sekunde
 - Bsp.: $\sin(2\pi t)$: 1 Hz, 2 Abtastwerte: $\sin(0) = 0$, $\sin(\pi) = 0$
- Wieviele Symbole/sec über nach oben frequenzbeschränkten Kanal?

$$v(t) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \sin i\omega t + \sum_{j=1}^n b_j \cos j\omega t$$

- Kanal überträgt alle durch $f_{\max}$ beschränkten Fourierspektren
- Beschreibung durch je einen Satz Fourierkoeffizienten
 - endliche Menge bei periodischer Funktion
 - unendliche Menge bei aperiodischer Funktion
 - mehr Spektren werden nicht übertragen
 - mehr Koeffizienten werden nicht übertragen

=> Kanal kann maximal $2f_{\max}$ Symbole/sec übertragen



- Annahmen
 - mehrwertige Symbole bzw. Abtastwerte: 2, 3 Bit, 1 Byte, 12 Bit ...
 - Symbolrate bzw. Bitrate
 - Symbole mit mehreren Bits erhöhen die Menge der Information
 - Abtastrate gemessen in Baud (Symbolen pro Sekunde)
- H. Nyquist, 1924
 - rauschfreier Kanal
 - V = Anzahl diskrete Signalstufen
 - max. Datenrate = $2 * f_{\max} * \log_2 V$ [bit/s]
- Beispiel
 - $f_{\max} = 3.000$ Hz, 4 Signalstufen
 - $D_{\max} = 12.000$ bit/s
- => Viele Signalstufen erhöhen Datenrate
- C. Shannon, 1948
 - Kanal mit zufälligem Rauschen
 - wieviele Signalstufen kann man noch sicher unterscheiden?

- Signal/Rauschverhältnis S/N begrenzt die Anzahl der Bits pro Symbol
- Anzahl übertragbare Bits pro Sekunde:
 - Shannon Limit = $f_{\max} * \log_2 (1 + S/N)$ [bit/s]
 - S/N = 0 : keine Information
 - S/N = 1 : $\sim f_{\max}$ Bit/sec
- Telefonleitung:
 - analog: 24 dB => S/N $\sim$ 250; $f_{\max} = 3000$ Hz => 24.000 bit/s
 - heute begrenzt Quantisierungsrauschen von G.711 (μ -law)
 - theoretisch: 39,5 dB, praktisch: 35 dB => S/N = 3162
 - => 34.882 bit/s (theoretisch 39.365 bit/s)
- Agenda
 - wie moduliert und codiert man auf einer vorgegebenen Leitung?
 - Modems: wie kommt man auf Telefonleitungen nahe an 35.000 bit/s?
 - 56 kbit/s?
 - wie kann man G.711 umgehen, um höhere Datenraten zu erreichen?

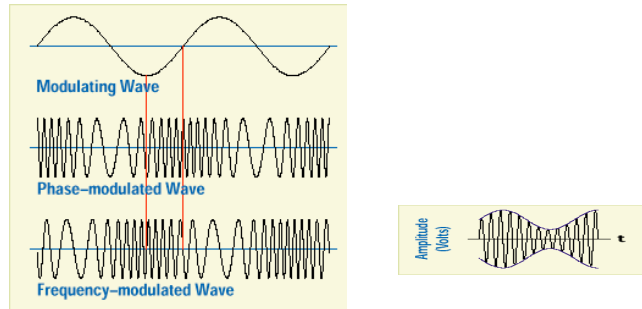
2.3.2 Modulation und Modems

- Modulation

- Charakteristika einer Trägerfrequenz ändern
- proportional zur Amplitude des Basisbandsignales
- Empfänger mißt Charakteristika

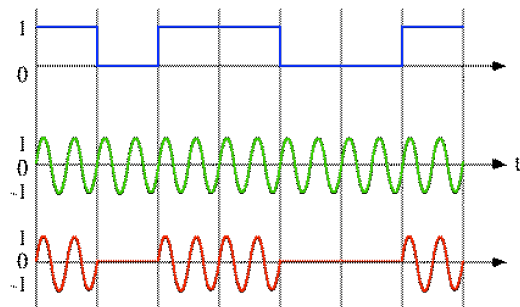
- Amplitude und Winkelposition (Frequenz, Phase)

- Wellengleichung $e(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$
- Frequenz: Abweichung von der Trägerfrequenz [Armstrong, 1933]
- Phase bezogen auf $t=0$



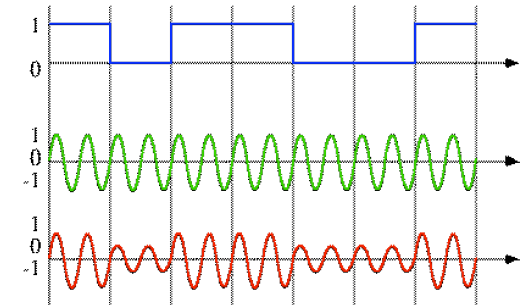
- 'on-off' Keying (ooK)

- keying: Sender ein/ausschalten bzw. umschalten
- Umschaltrate = Symbolrate = Bitrate

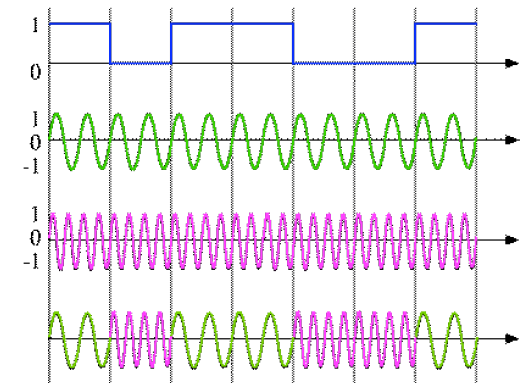


- Amplitude Shift Keying (ASK, Amplitudenmodulation)

- Amplitude umschalten (Intensitätsmodulation)
- für analoge und digitale Daten
- ständig Trägerfrequenz senden/empfangen
- Umschaltrate = Symbolrate



- Frequency Shift Keying (FSK)

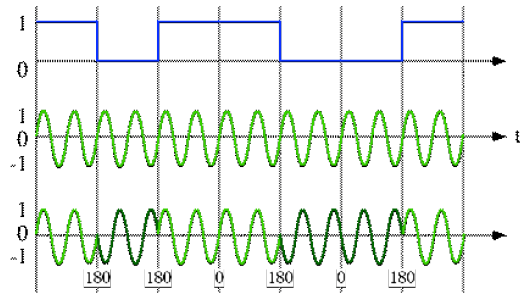


- V.21-Modem: Space (0) and Mark (1)

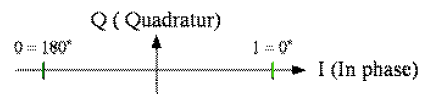
- 980 und 1180 für Originale-Seite (Bell 103: 1070 und 1270)
- 1650 und 1850 für Answer-Seite (Bell 103: 2025 und 2225)
- Echo-Unterdrückung abschalten
- 300 bps vollduplex

- Phase Shift Keying (PSK)

- $180^\circ = \text{Space (0)}$, $0^\circ = \text{Mark (1)}$
- erfordert Referenzsignal



- Phasendiagramm (Länge = Amplitude)



- Differentielles PSK: 'Taktgewinn' aus ständigem Phasenshift

- MNP: MicroCom Networking Protocol

- Paketisierung: Fehlererkennung und Korrektur
- Kompression mit LZ77
- V.42: CRC, LAP/B, LZW

- Synchrone Modems

- ohne Byte-Rahmen
- Protokoll um Füllmaterial und Nutzdaten zu unterscheiden
- z.B. HDLC (siehe später)

- Funktionen des Senders

- Takt erzeugen
- Scrambler (genug 0/1 Übergänge)
- Modulator
- D/A-Wandler und Tiefpass
- Equalizer präkompensiert für Kanal (Amplitude und Delay)

- Funktionen des Empfängers

- adaptiver Equalizer gesteuert vom Demodulator
- Taktrückgewinnung
- Demodulator
- Descrambler

Telefon Modems

- V.21 / Bell 103 siehe oben

- DPSK (V.22)

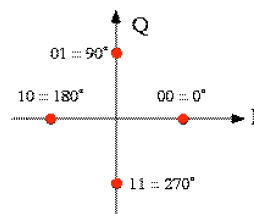
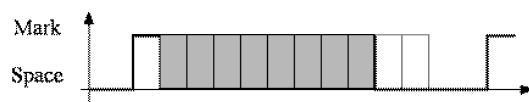
- DiBit PSK (auch: QPSK)

DiBit	00	01	10	11
Phasen-Shift	90°	0°	180°	270°

- 600 baud, 1200 bit/s
- Bell 212A: 600 bit/s
- Fallback nach FSK
- V.22bis mit 2400 bit/s

- Asynchroner Betrieb

- Kennzeichnung der Bytes wie V.24
- Startbit + Stopbit(s)



- Digitales Backbone-Netz

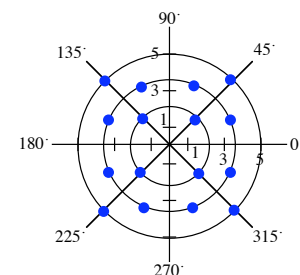
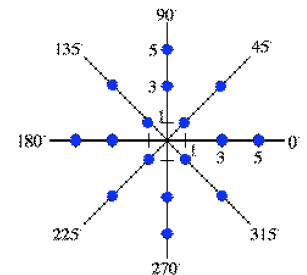
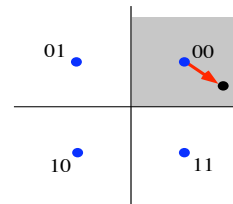
- Signal auf weiten Strecken als PCM übertragen
- nur Vermittlung und Anschlußleitung analog

- Quadrature Amplitude Modulation QAM

- Phasenmodulation und Amplitudenmodulation

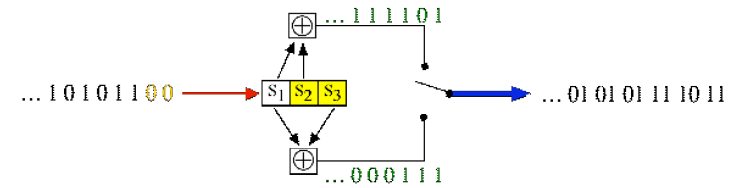
- Amplitude und Phase ergeben Vektor

- Konstellation
- Entscheidungsregionen
- Fehlervektor minimieren

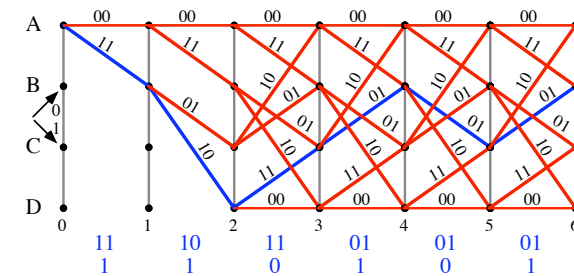


- z.B. V.29 (9600 bit/s) halbduplex, z.B. in Fax-Geräten
 - 4 Bit pro Symbol
 - 1. Bit bestimmt Amplitude, 2,3,4 wählen Phase
 - Hilfskanal moduliert Fehlervektor
- V.61 [Gordon Bremer, AT&T]
 - simultaneous voice and data
 - Fehlervektormodulation
 - V.70 DSVD
- V.32: Daten mit 9.600 bit/s
 - 2400 Baud, 4 bit pro Symbol
 - 2400 Hz, 1800 Hz Trägerfrequenz => 600 - 3000 Hz
 - Echounterdrückung für Vollduplexbetrieb
 - 16-Konstellation
 - 32-Konstellation mit TCM

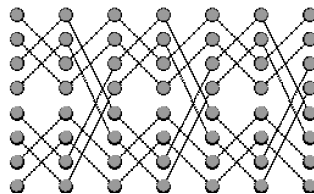
- Faltungskodierer (hier $r = 0,5$)



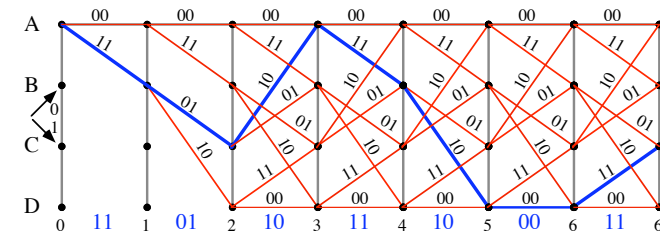
- Trellis-Diagramm



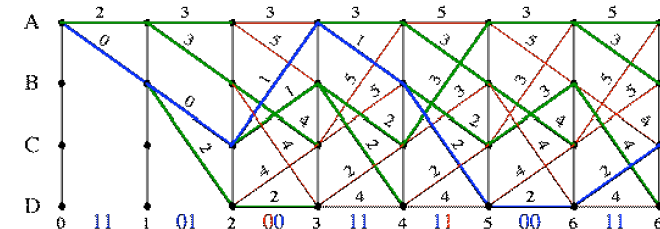
- Trellis Coded Modulation [Gottfried Ungerböck, IBM Rüschlikon]
 - 6 dB Gewinn durch Kodierung
 - 3 dB Verlust durch 1 Bit mehr pro Symbol
 - trellis = dt. Spalier



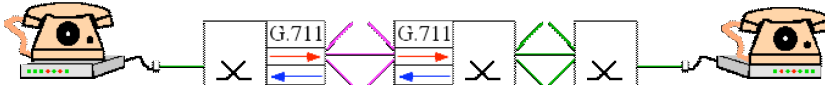
- Zustandsautomat
 - Zustand -> Folgesymbol
 - mehr Punkte in der Konstellation als gültige Symbole
 - Zustand definiert Untermenge der Folgepunkte
 - Bsp: 4 Punkte, Eingabe (0 / 1) wählt aus 2 Folgepunkten einen aus
 - V.32: 32 Punkte (5 Bit), 16 Codeworte (4 Bit), $r = 4/5$



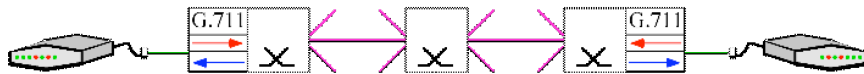
- 11 01 10 11 10 00 11 Störung: -> 11 01 00 11 11 00 11 ...
- Empfänger: entscheidet rückwärts
 - minimiert Distanz zum nächsten Punkt in der Konstellation
 - Viterbi: suche Pfad mit minimalem Gewicht



- V.32
 - (Q1, Q2, Q3, Q4) -> (Y0, Y1, Y2, Q3, Q4)
 - Viterbi-Pfadlänge $\approx 5 \cdot \text{Länge des Faltungskodierers} = 15 \approx 16$
- Telefonleitungen werden besser
 - digitale Fernleitungen
 - digitale Vermittlungen
- Telefonnetzwerk klassisch
 - Rauschen in analogen Vermittlungen und Leitungen
 - G.711 Quantisierungsrauschen



- Telefonnetzwerk im ISDN-Zeitalter



- V.34 (V.fast): 28.800 bzw. 33.600 bit/s
 - 3429 Baud, 9 bit, 2048 Konstellation
 - dreidimensionale Trellis-Codierung
 - Trägerfrequenz 1959 Hz
- Wie umgeht man den G.711-Quantisierer?
- Telefonnetzwerk für ISP



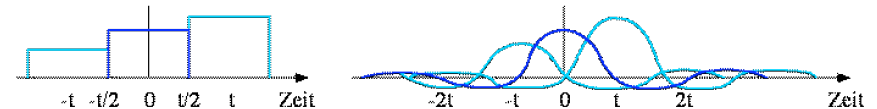
- eine Richtung ohne G.711 A/D (ISP -> Subscriber)
- G.711 D/A ohne Quantisierungsrauschen
- Übertragungsweg fast vollständig digital
 - PCM von der 1. Vermittlung bis zum ISP
 - nur Teilnehmeranschlußleitung analog
- G.711 D/A an der Teilnehmerleitung 'Teil' des 56k-Modems
 - analoge Pulsform vorhersagbar ähnlich D/A im V.34 Modem
 - Codec-Eigenheiten, Filter vor der Leitung, ...
 - Vorschriften (BAPT, FCC, ...)

- 56 kbit/s Modems (V.90)
 - Rockwell: K56flex
 - US Robotics: x2
 - spezielle Netzwerkkonfiguration
 - 56 kbit/s downstream, max. 33.600 upstream
- Leitung aus der 'analogen' Sicht des 56k Modems



- Puls-Amplituden-Modulation PAM
 - vorgegeben durch 'Mitbenutzung' des G.711-DAC
 - 56.000 kbit/s, 8.000 samples/s => 128 Signalwerte
 - G.711 erzeugt Treppenfunktion aus diskreten PCM-Werten
 - Filter in der Vermittlung glättet Treppenfunktion
 - linearer ADC sampled glatte Treppenfunktion
 - DSP sucht und interpretiert Treppenstufen als diskrete Werte

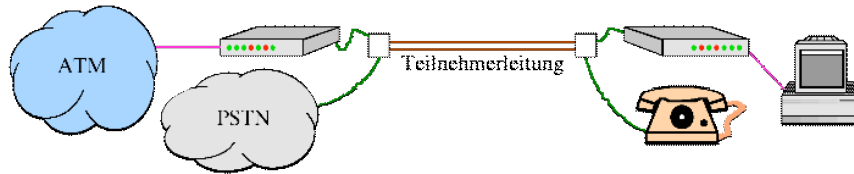
- Einfluß des Filters in der Vermittlung (line card)



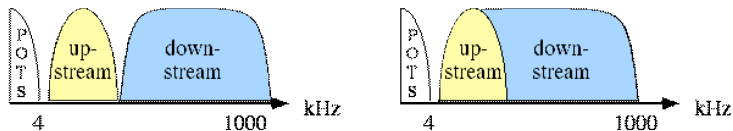
- SNR auf Teilnehmerleitung und im client-modem
 - 14 bit ADC: 86 dB
 - Shannon(56 kbit/s, 3800 Hz) = 45 dB
- Warum nicht 64 kbit/s?
 - nicht alle 256 Werte nutzbar
 - ungleichmäßige Quantisierung: Werte um Null 'dichter'
 - 'robbed bit signalling' auf T1-Leitung (jedes 6. sample)
 - maximale Energie von FCC vorgegeben: -12dBmV
 - Extremwerte nur eingeschränkt verwenden
 - 144 Quantisierungspunkte (-> TCM)
 - evtl Fallback auf 48, 40, 32 kbit/s (x2 auch 52 kbit/s mit 92 Stufen)
- Weiterentwicklung
 - raffiniertes shell-mapping mit bis zu 224 Symbolen => 62 kbit/s
 - Symbole mit n,m Bits, z.B. 7,5

Modems für die Teilnehmeranschlußleitung

- Kupferkabel von der Vermittlung zum Teilnehmer
 - meist keine aktiven Komponenten, evtl. Spule
 - 75% < 2 km; 98% < 8 km
- HDSL - High Speed Digital Subscriber Loop
 - 2 MBit/s (high: > ISDN)
 - ETSI TM3
- ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Loop
 - viele Applikationen sind asymmetrisch: Upstream vs. Downstream
 - POTS auf demselben Kabel
 - 5,5 km / 0,5 mm Kabel / 1,5 Mbit/s / 16 kbit/s
 - 2,7 km / 0,4 mm Kabel / 6,1 Mbit/s / 576 kbit/s

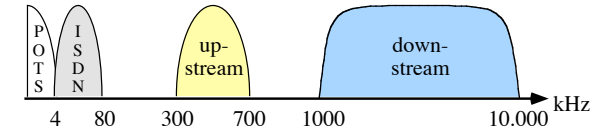


- downstream $n * 1536$ bzw. $n * 2048$ kbit/s
- upstream 16, 64, 160, 384, 544, 576 kbps
- Twisted Pair
 - 90 dB bei 1 MHz und 5 km
 - typische Telefonleitung mit 22 Spleiss-Stellen [Bellcore]
 - FEC Fehlerkorrektur
 - DMT: Discrete Multitone 255 * 4 kHz Sub-Kanäle
 - pro Kanal QAM
- Frequenzmultiplex oder Echo-Unterdrückung



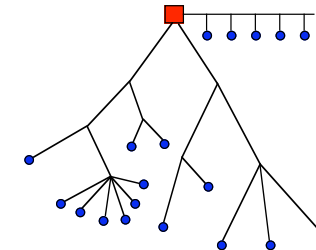
- Erfolgreich
 - ADSL-Forum
 - Standardisierung in ANSI T1E1.4: T1.413
 - Hersteller z.B. Orckit, TuT, Amati, NetSpeed...

- VDSL - Very high rate Digital Subscriber Loop
 - Bruchteil der ATM-Rate 155.52 MBit/s
 - 1500 m: 12.96 MBit/s, 1000 m: 25.92 MBit/s, 300 m: 51.84 MBit/s
 - asymmetrisch: upstream 1.6, 2.3, 19.2 MBit/s
 - symmetrisch: echo-cancellation
 - Platz für Telefon und ISDN

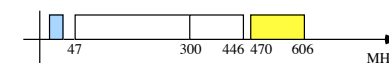


- Übertragungscode
 - CAP Carrierless AM/PM (QAM, QPSK upstream)
 - DMT Discrete Multitone basiert auf DFT von Einzel-Carrieren
 - DWMT Discrete Wavelet Multitone
 - SLC Simple Line Code: Basisband gefiltert
 - FEC: Reed Solomon
- Mehrgerätekonfigurationen
 - NT aktiv: Ethernet-Hub, NT passiv: FDM

- Kabelverteilsnetze (CATV)
 - Umbau zum bidirektionalen Netz

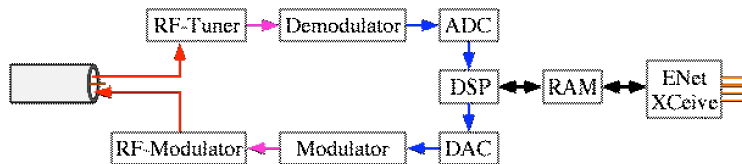


- Cable-Modems
 - downstream in einem TV-Kanal: 6 MHz
 - upstream 2 MHz Band im Bereich 10 - 32 MHz
 - alternativ Kanäle (blau, gelb) außerhalb des TV-Spektrums



- Ähnlich konventionelle Modems

- höhere Symbolrate
- downstream QAM mit 64/256 Konstellation: 43 MBit/s
- upstream QPSK 600 kbit/s - 10 MBit/s



- Schnittstelle 10BaseT, 100BaseT

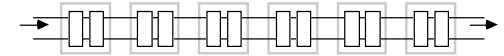
- Gemeinsames Medium

- mit anderen Teilnehmern geteilt
- downstream durch Router verteilt
- mehrere TV-Kanäle verwendbar
- Sequentialisierung im upstream-Kanal: S-CDMA
- 10% Protokolloverhead
- Verschlüsselung

2.3.3 Digitale Signalübertragung

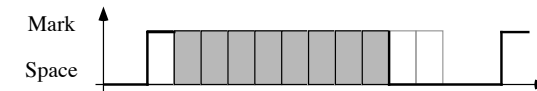
- Aufgaben

- sichere Dekodierung der Daten (Rauschabstand)
- Fehlerkorrektur
- Bandbreitenbeschränkung
- Taktleitung und Nulldurchgänge
- Gleichstromanteil minimieren

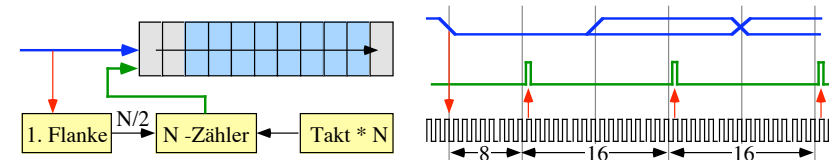


- Asynchrone Übertragung

- Unterscheidung Leerlauf gegen Signal

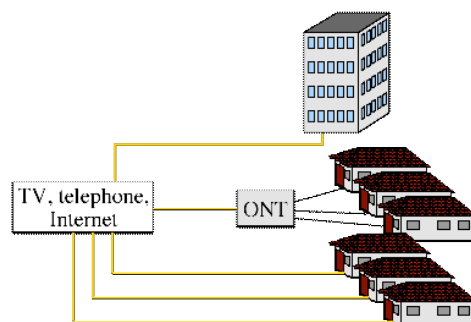


- Takt-Resynchronisation mit jedem Startbit



- Verteilstruktur bis zur Vermittlung/Hauptverteiler

- für xDSL und Cable Modems
- ATM
- HFC: Hybrid Fiber Coax Network

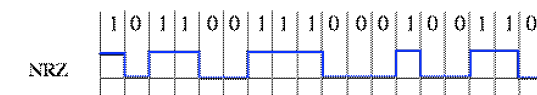


- FTT{C,B,N,H}: Fiber to the {Curb, Building, Neighborhood, Home}
- 500 - 3000 Teilnehmer an einer Trunk-Glasfaser

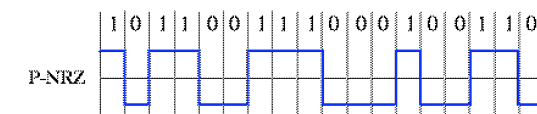
- Synchrone Übertragung

- weniger Durchsatz-Verschwendung
- separate Taktleitung
- evtl. auch für Signalisierung
- oder Füllen von Lücken mit Sonderzeichen

- NRZ: Non-Return-to-Zero



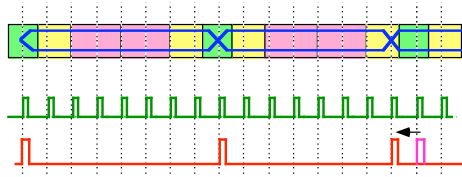
- Gleichstromreduktion: PNRZ



- Gleichstrom bei ungleicher Anzahl 1 und 0

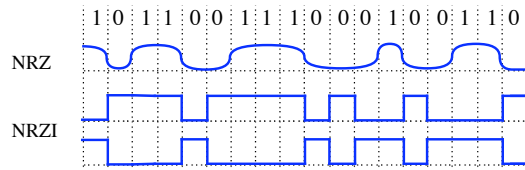
- Digital phase-locked-loop (DPLL)

- genauer Taktgeber
- justiert aus dem Empfangssignal



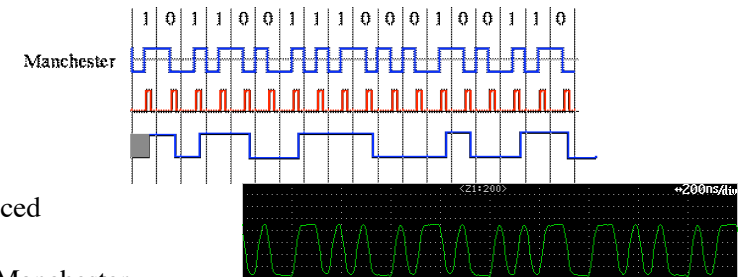
- NRZI: non return - zero inverted

- '0' wird mit Übergang kodiert



- DPLL funktioniert nur bei genügend Übergängen
- HDLC/LAP-B etc. haben höchsten 6 '1' nacheinander

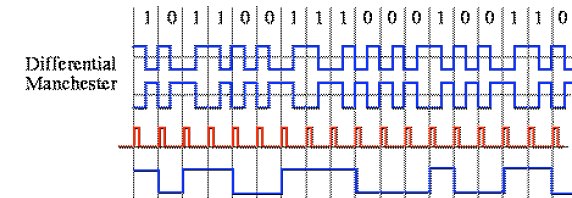
- Diphase-Codierung (Manchester) => Ethernet



- DC-balanced

- Differential Manchester

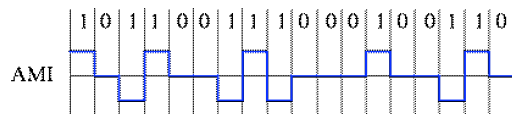
- Übergang am Anfang nur bei 0-Bit



- differentieller Empfänger => Polarität irrelevant

- AMI Alternate Mark Inversion (z.B. T1)

- return to zero

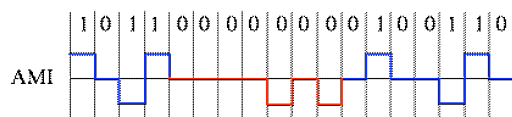


- Takt im Signal
- Einfügen von '1' um genügend Übergänge zu erzielen
- Scrambler

- Codebedingung: '1' alterniert

- Verletzung der Codebedingung

- Fehlersituation
- Überlagerung bei Mehrfachzugriff
- Taktübertragung trotz '0'-Ketten (DDS, B8ZS für T1)



- Taktübertragung im idle-Zustand

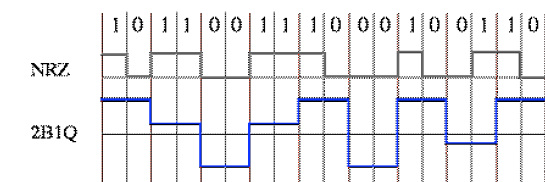
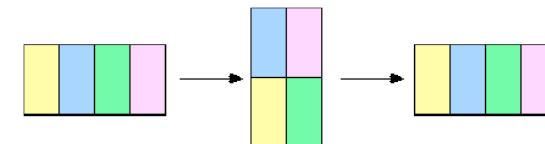
Gruppencodierungen

- Baudratenreduzierung mBnL

- m B-Zeichen werden auf n L-Codesymbolen abgebildet
- mehrere Signalstufen pro Codesymbol L

- 2B1Q Codierung

- 2 Binärstellen codieren
- 1 quaternäres Zeichen (quat) übertragen



- 4B3T Codierung

- 4 Binärstellen = 16 Werte, 3 Ternärstellen = 27

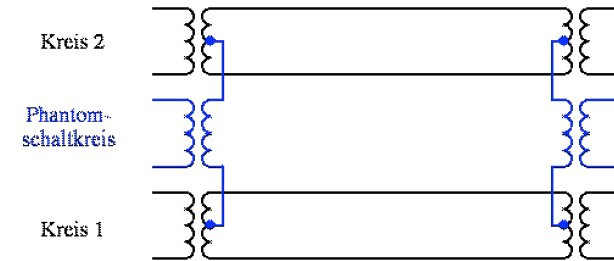
Code	nächster Zustand	Code	nächster Zustand	Code	nächster Zustand	Code	nächster Zustand
0001	0 - + schwarz	0 - + rot	0 - + blau	0 - + magenta	0 - +	0001	0 - + schwarz
0111	- 0 + schwarz	- 0 + rot	- 0 + blau	- 0 + magenta	- 0 +	0111	- 0 + schwarz
0100	- + 0 schwarz	- + 0 rot	- + 0 blau	- + 0 magenta	- + 0	0100	- + 0 schwarz
0010	+ - 0 schwarz	+ - 0 rot	+ - 0 blau	+ - 0 magenta	+ - 0	0010	+ - 0 schwarz
0011	+ 0 - schwarz	+ 0 - rot	+ 0 - blau	+ 0 - magenta	+ 0 -	0011	+ 0 - schwarz
1110	0 + - schwarz	0 + - rot	0 + - blau	0 + - magenta	0 + -	1110	0 + - schwarz
1001	+ - + rot	+ - + blau	+ - + magenta	- - - schwarz	- - -	1001	+ - + rot
0011	0 0 + rot	0 0 + blau	0 0 + magenta	- 0 0 rot	- 0 0	0011	0 0 + rot
1101	0 + 0 rot	0 + 0 blau	0 + 0 magenta	- 0 - rot	- 0 -	1101	0 + 0 rot
1000	+ 0 0 rot	+ 0 0 blau	+ 0 0 magenta	0 - - rot	0 - -	1000	+ 0 0 rot
0110	- + + rot	- + + blau	- + + rot	- - + blau	- - +	0110	- + + rot
1010	+ + - rot	+ + - blau	+ + - rot	+ - - blau	+ - -	1010	+ + - rot
1111	+ + 0 blau	0 0 - schwarz	0 0 - rot	0 0 - blau	0 0 -	1111	+ + 0 blau
0000	+ 0 + blau	0 - 0 schwarz	0 - 0 rot	0 - 0 blau	0 - 0	0000	+ 0 + blau
0101	0 + + blau	- 0 0 schwarz	- 0 0 rot	- 0 0 blau	- 0 0	0101	0 + + blau
1100	+ + + magenta	- + - schwarz	- + - rot	- + - blau	- + -	1100	+ + + magenta

2.4 Multiplex

- Viele Adern pro Kabel

- Phantomschaltung

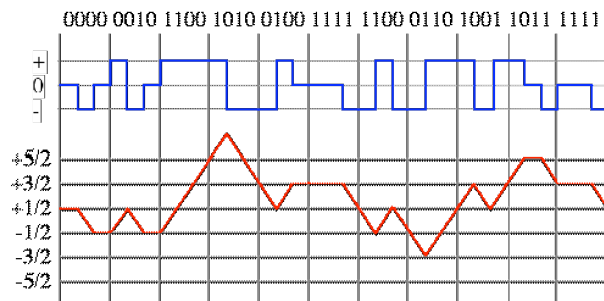
- zusätzliches Signal aufgeteilt auf jeweils zwei Drähte
- wenig Übersprechen



- auch 4+3

- Baudrate 3/4 der Bitrate

- Gleichstromkompensation:



- Mehrere Codierungen können dasselbe Symbol darstellen

- stromgesteuerte Auswahl erlaubt DC-Kompensation

- ungültig Codierungen erlauben Synchronisierung auf Gruppenanfang

- auch bei Festplatten oder Audio-CDs

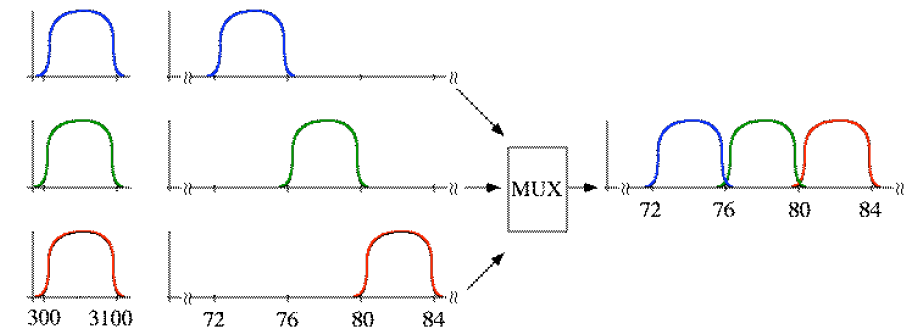
2.4.1 Frequenzmultiplex

- Frequency Division Multiplex (FDM)

- Amplitudenmodulation

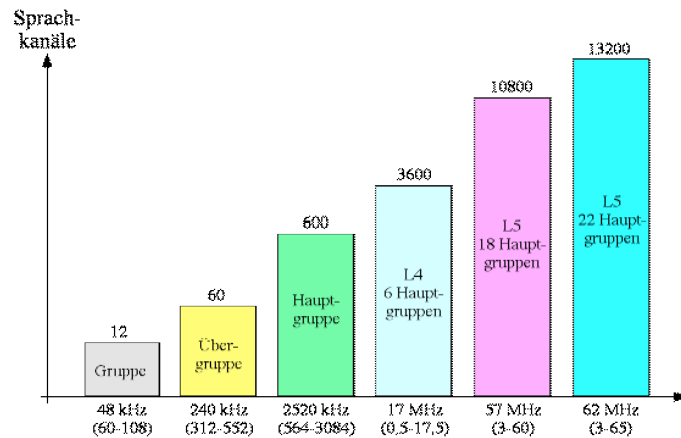
- Sinusschwingung mit Signal modulieren
- unteres Seitenband ausfiltern
- Frequenzbandumsetzung

- Wiederholung der Frequenzbandumsetzung



• Analoge Übertragungshierarchie

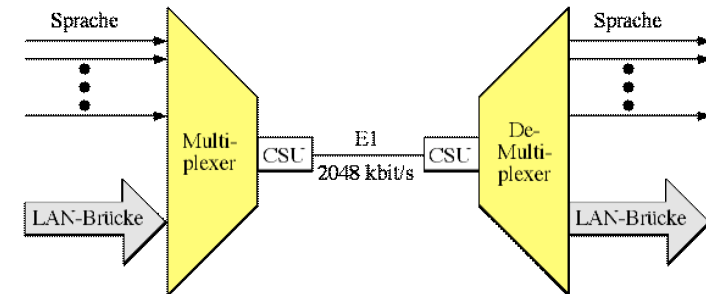
- LE5 auf Koaxialkabel, Verstärker nach 1,5 km: 13200 Telefonate
- TAT-7: Verstärker nach 10 km, 4200 Telefonate
- Gegenkopplungsverstärker



T1/E1

• Übertragung von PCM-Samples zwischen Vermittlungen

- DS0: 64 kbit/s
- T1 (DS1): 24 Telefonkanäle * 64 kbit/s = 1.544 MBit/s
- E1: 2.048 MBit/s: 30 Kanäle + Signalisierungskanal + Sync-Kanal
- Pulsamplitudenmodulation AMI
- verdrehte Kupferadern, digitale Repeater nach 900 m
- ab 1962
- vermietet an Kunden, heute auch für Daten
- CSU: Channel Service Unit

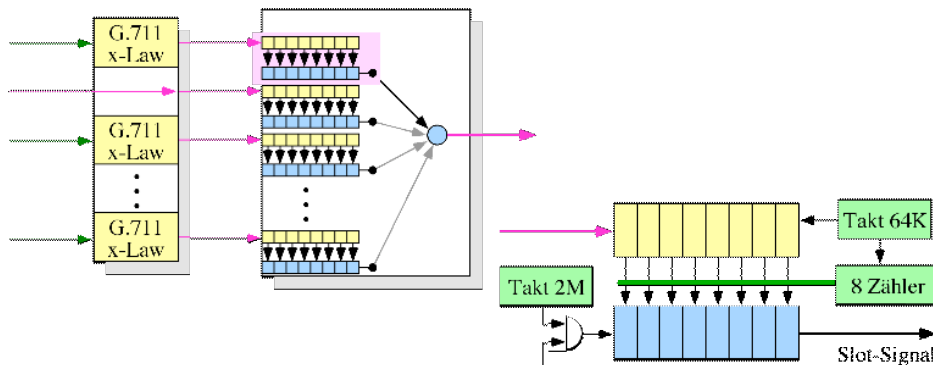


2.4.2 Zeitmultiplex

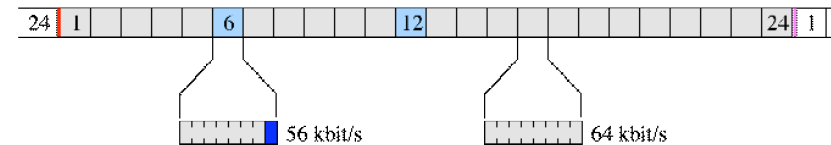
• Time Division Multiplexing (TDM)

• Einteilung der Zeit in Bereiche (Zeitschlitz)

- Leitung mit hohem Bittakt
- Eingangssignale mit niedrigem Bittakt
- Zuweisung von Zeitschlitz an Eingangsleitungen
- Einfügen und Entnehmen des langsamen Signales mit hohem Takt



• Synchrone Übertragung mit Rahmenstruktur



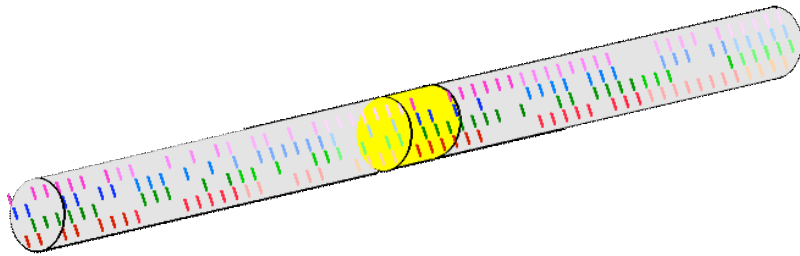
- $22 * 8 \text{ bit} + 2 * 7 \text{ bit} + 2 \text{ bit Signalisierung} + 1 \text{ bit Frame} = 193 \text{ bit}$
- $8.000 * 193 = 1.544.000$
- B7ZS (64R), B8ZS siehe oben

• DS-Hierarchie, Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)

Mbit/s	Telefonkanäle	US&CA	ITU-T	MBit/s
0,064	1	DS0		0,064
1,544	24	DS1	E1	2,048
6,312	96	DS2	E2	8,448
44,736	672	DS3	E3	34,368
139,264	1920	DS4E	E4	139,264
274,176	4032	DS4	E5	565,148

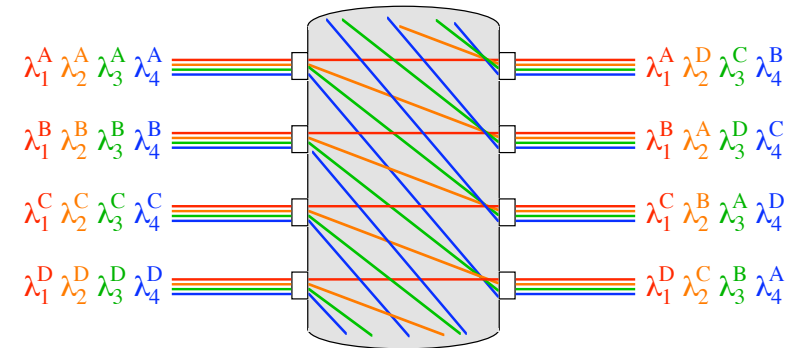
2.4.3 Wavelength Division Multiplex (WDM)

- Typische Glasfaser: 1,55 μ , 0,2 dB/km, 250 MBit/s
- Injection Laser Diodes
 - sehr schmales Spektrum
 - verschiedene Wellenlängen
- Mischen (multiplexen) mehrerer Lichtwellen auf einer Glasfaser
 - theoretisch 25 THz zur Verfügung
 - 1022 Kanäle



- elektronische Regeneratoren nur für ein Signal, langsam
- optische Verstärker

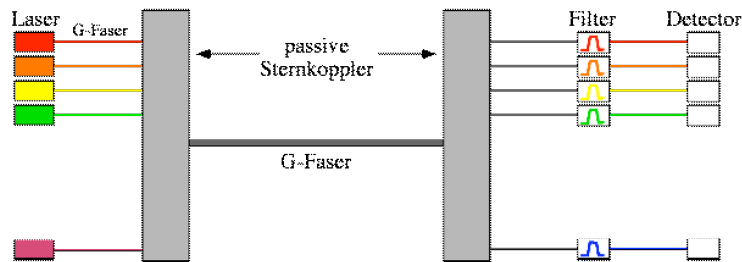
• Passiver Wellenlängen Router



- Experimentelle Resultate
 - 1,1 TB - 150 km, 'normale' Faser, 55 Kanäle á 20 GB [1996]
 - 2,6 TB, 126 Kanäle á 20 GB [1997]
 - 0,1 TB - 9000 km
- Kommerziell 30 GBit/s WDM
- Zu lösen: Vermittlungstechnik, Signalisierung

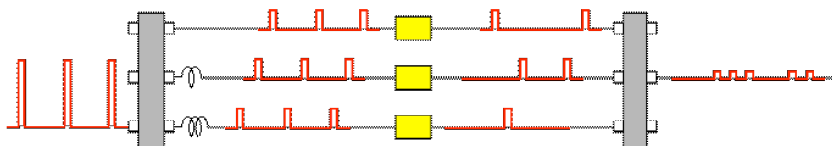
• WDM-Schema

- Kanal-Zwischenraum 50 - 500 GHz (0,4 - 4 nm)



• Delay-Line Multiplexing

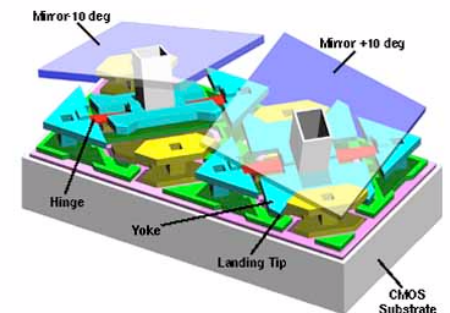
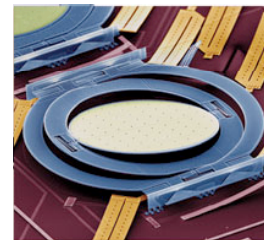
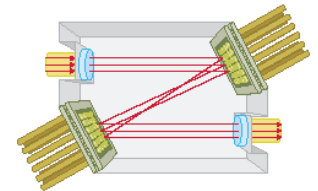
- Datenraten >100 GBit/s erwünscht, Laser mit hohem Pulstakt schwer
- 400 GBit/s pro Kanal



• Prismen zerlegen in Einzel-Wellenlängen

• Optical Cross Connect

- viele kleine Spiegel auf einem Chip
- MEMS: microelectromechanical systems
- jeder Spiegel individuell ansteuerbar
- pro Datenstrahl ein Spiegel



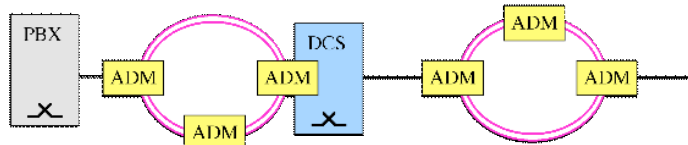
• evtl. Frequenzumsetzung

<http://www.bell-labs.com/org/physicalsciences/projects/mems/mems.html>

2.5 Digitale Kanäle

2.5.1 SONET/SDH

- Synchronous Optical Network [Bellcore]
- Europa: SDH synchronous digital hierarchy
- Vorher: T1, ..., DS3 = 28 * T1
 - einzeln synchron
 - 3 gemischte Rahmensignale
 - vollständiges Demultiplexen um Unterkanäle zu extrahieren
- Einfaches (De-)Multiplexen
 - add and drop
 - einzelne Kanäle bis auf 64 kbit/s
- Ringstruktur mit Add/Drop Multiplexern (ADM)
 - doppel- oder vierfach-Ring
 - Ringe werden mit Digital Cross-Connects verbunden (DCS)



Konrad Froitzheim: Kommunikations-Systeme

89

OC-Kanal-Hierarchie

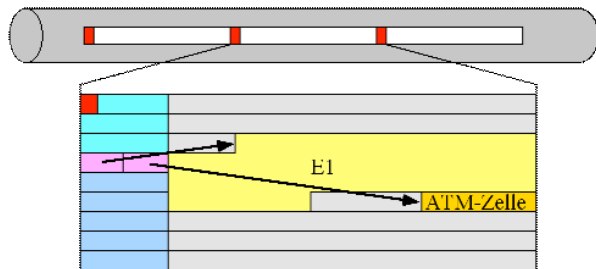
- Standards und Schnittstellen von Glasfasern
 - zwischen Vermittlungsstellen
 - Verbindungen im synchronen optischen Netzwerk
- Optical Carrier: 256 Interfaces

Datenrate (Mbit/s)	OC-Ebene	SONET	SDH
51,84	OC-1	STS-1	-
155,52	OC-3	STS-3	STM-1
466,56	OC-9	STS-9	STM-3
622,08	OC-12	STS-12	STM-4
933,12	OC-18	STS-18	STM-6
1244,16	OC-24	STS-24	STM-8
1866,24	OC-36	STS-36	STM-12
2488,32	OC-48	STS-48	STM-16

Konrad Froitzheim: Kommunikations-Systeme

91

- Sonet-Rahmen = Synchronous Transport Signal - Level 1
- Synchronous Transport Module - level 1: STM-1 (STS-3)
 - 155.52 MBit/s
- 8000 STM-1 Rahmen /Sekunde
 - 9 Zeilen á 270 Bytes (9 Byte Overhead pro 261 Byte Nutzlast)
 - 2016 DS0 Kanäle (64 kbit/s)

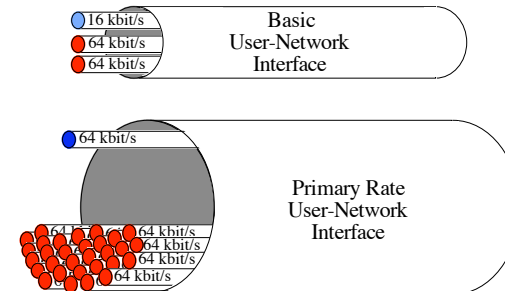


- Management (overhead)
 - Framing, Parity, Signalisierung, Bitfehlertest, Schleifen, Statistik
 - Zeiger auf Virtual Container (VC)
 - Sprachkanäle für Personal

Konrad Froitzheim: Kommunikations-Systeme

90

2.5.2 ISDN-Leitungen

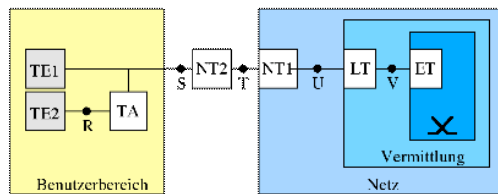


- 64-Kbps, unrestricted, 8-kHz structured
 - 8000 Bytes pro Sekunde
 - transparent, unrestricted
- 64-Kbps, 8-kHz structured, usable for speech information transfer
 - PCM-Samples
 - wird A-Law nach μ -Law oder entgegengesetzt konvertiert
 - Sprache kann auch weiter komprimiert werden

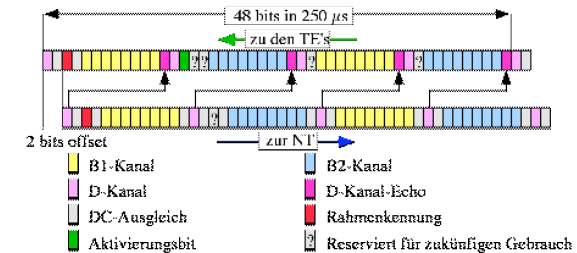
Konrad Froitzheim: Kommunikations-Systeme

92

- 64-Kbps, 8-kHz structured, for 3.1 kHz audio information transfer
 - PCM-samples
 - A-Law nach μ -Law
 - keine weitere Kompression, für Modemsignale geeignet
- Alternate speech/64-Kbps, unrestricted, 8-kHz structured
 - Umschaltung zwischen dem ersten und dem zweiten Modus
- 2x64-Kbps, 384-Kbps, 1,536-Kbps, 1920-Kbps unrestricted
 - 8-kHz structured
 - Simultanverbindung
 - phasengleicher Schaltung von 2, 6, 24 bzw. 30 B-Kanälen
 - H-Kanäle
- ISDN Schnittstellen und Leitungen

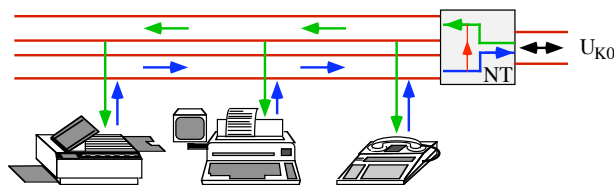


- 2 B-Kanäle à 64 KB:
 - für gleichzeitigen Betrieb mehrerer Geräte
 - Mehrtelefonbetrieb im Haus
- D-Kanal (-Protokoll) für alle gleichzeitig:
 - Signalisierung beim Verbindungsaufbau
 - Behelfsmässiger Datenverkehr

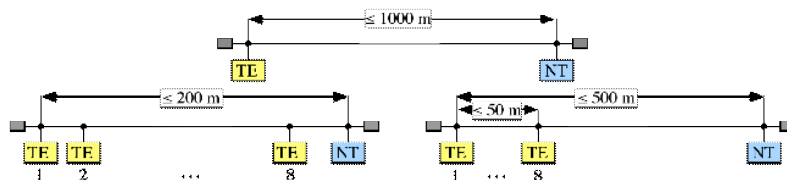


- S₀-Rahmen für 2B+D auf dem 4-adrigen Bus
 - Doppelader "inbound"
 - Doppelader "outbound"

- Teilnehmerschnittstelle: S₀
 - Netzabschluss (NT) wandelt 2 auf 4-adrigen hausinternen Bus
 - eingeschränkte Stromversorgung
 - Bis zu 8 Endgeräte am S₀-Bus

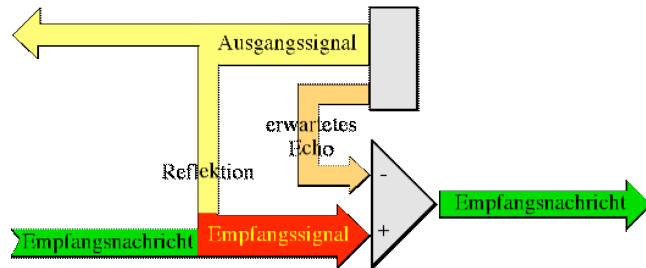


- Für kurze Anschlussdistanzen
 - 500 Meter für Busbetrieb
 - 1000 Meter für Einzelanschluss



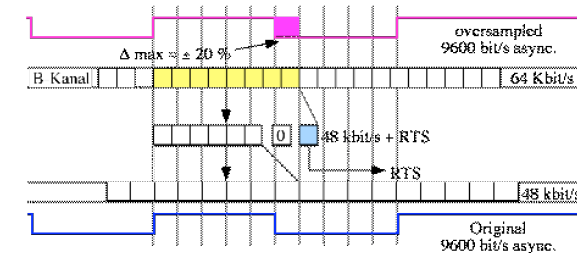
- Netto 144 kbit/s, brutto 192 kbit/s pro Richtung
 - 2* 64 KBits/sec (B-Kanäle)
 - 1* 16 KBits/sec (D-Kanal)
 - outbound 16 KBits/sec D-Kanalecho
 - Rahmenbildung ...
- Kollisionsfreie Zugriffsregelung für den D-Kanal mit Echobits
 - ähnlich CSMA/CD, aber zerstörungsfrei
 - Sender hört im Echo-D-Kanal mit
 - senden falls Kanal frei
 - evtl. Kollision
 - Kontrolle im Echo-Kanal: Sendestop falls Empfang $\neq$ Sendesignal
 - '0'-Bits stärker als '1'
 - Adressfeld des Rahmens unterschiedlich
- S_{2m} wie T1/E1

- Teilnehmeranschlußleitung: U
- U_{K0}
 - MMS43 (Modify Monitor Sum, 4B3T-Code)
 - Rahmen 1 ms: 11 Sync-Symbole, 1 Meldesymbol, 4*27 Nutzbauds
 - 36 Bits: 2 Byte B1-Kanal, 2 Byte B2-Kanal, vier Bit D-Kanal
 - 2 Drähte mit Echokompensation
 - 8 km

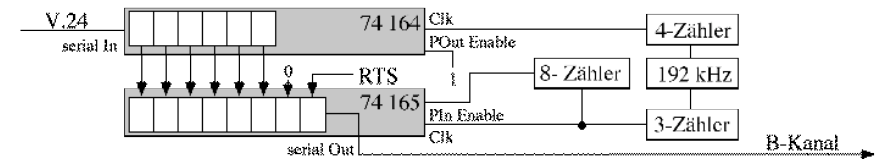


- EuroISDN auch 2B1Q

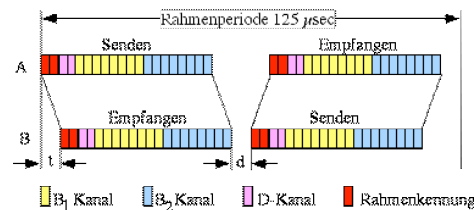
- Bitratenadaption
 - Benutzerraten kleiner als 64 kbit/s: 8, 16, 32, ... kbit/s
 - asynchrone Raten: 1200, 9600, 19200 bps
- Bitstrom abtasten mit 64 kbit/s



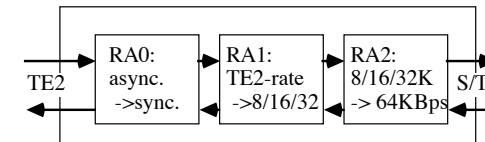
- extrem einfache Hardware



- U_{P0}
 - 2B1Q
 - 2 Drähte mit Ping-Pong
-
- 125 μ sec
- Distanz < 2 km
 - höhere Übertragungsrate: 384 kbit/s
 - evtl. proprietäre Verfahren
 - 1 B-Kanal und 160 kbit/s
 - einfacheres Rahmenformat
 - 512 kbit/s, ...



- V.110: Verpacken 80 Bit Blöcke



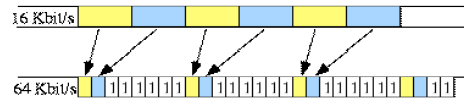
Oktett	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	S1
2	1	D1	D1	D2	D2	D2	D2	X
3	1	D2	D2	D2	D2	D3	D3	S3
4	1	D3	D3	D3	D3	D3	D3	S4
5	1	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
6	1	D4	D4	D4	D4	D4	D4	S6
7	1	D4	D4	D5	D5	D5	D5	X
8	1	D5	D5	D5	D5	D6	D6	S8
9	1	D6	D6	D6	D6	D6	D6	S9

600 => 8000 kbit/s

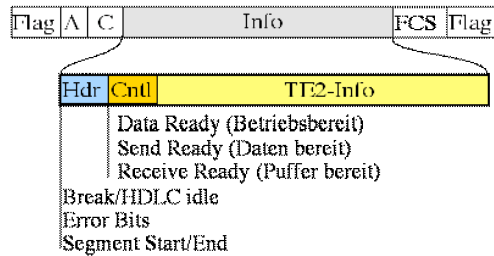
Oktett	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	D1	D2	D3	D4	D5	D6	S1
2	1	D7	D8	D9	D10	D11	D12	X
3	1	D13	D14	D15	D16	D17	D18	S3
4	1	D19	D20	D21	D22	D23	D24	S4
5	1	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
6	1	D25	D26	D27	D28	D29	D30	S6
7	1	D31	D32	D33	D34	D35	D36	X
8	1	D37	D38	D39	D40	D41	D42	S8
9	1	D43	D44	D45	D46	D47	D48	S9

9600 => 16 kbit/s

- Blöcke synchron senden
 - Steuersignale im Blockoverhead kodieren
 - Verpacken jeweils auf $n \cdot 8$ kbit/s Rate
 - auf 64 k Bitstrom auffüllen

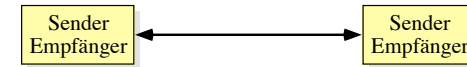


- V.120: Verpacken in HDLC-artiges Protokoll

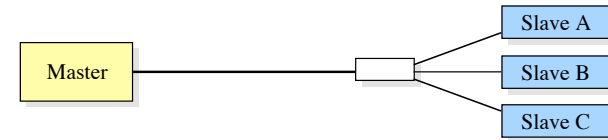


- TA entfernt Start/Stop-Bits, Parity, 8-bit Padding
- Prüfsumme, Statusbits

- Topologien
- Punkt-zu-Punkt

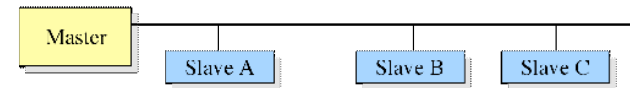


- Multipoint



- Teilstrecke auf einem Übertragungskanal mit Multiplex
- Adressierung

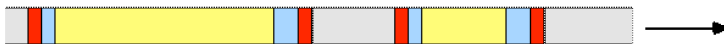
- Multidrop



- ein Übertragungskanal, mehrere Zuhörer
- Adressierung

2.6 Asynchrone Rahmenübertragung

- Synchrone Leitung - asynchroner Datenstrom
 - Rahmenkennzeichen



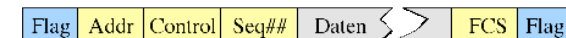
- Füllsignale
 - Synchronisation, ...
 - beliebig Bitanzahl
 - statistischer Multiplex



- Verbindungskontrolle
- Fehlererkennung
 - Wahrscheinlichkeit unentdeckter Fehler, CRC
 - Fehlerkorrektur: Wiederholung, FEC

- Andere Namen: Zellen, Pakete

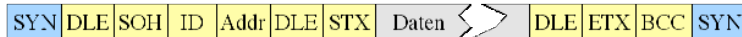
- Exemplarisches Rahmenformat
 - "Link-Layer Protocol Data Unit"
 - bit- oder byteorientiert



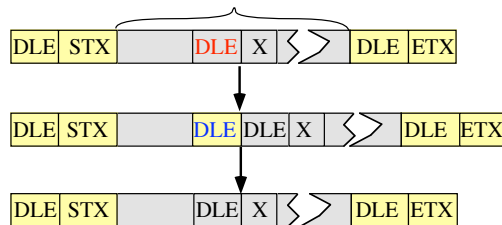
- Flag: Oktettsynchronisierung und Rahmenbegrenzung
- Addr: Adressierung für LAN- und Mehrpunktkonfigurationen
- Control: Art der Meldung
 - Open, Close
 - Bestätigung, Flusskontrolle
 - Informationstransport ...
- Seq##: Laufende Nummerierung
 - evtl. verlorene Meldungen festzustellen
 - Bestätigungen ebenfalls mit Sequenznummer.
- Daten: Von der Sicherungsschicht nicht weiter interpretiert
- CRC: Prüfsumme für Bitfehler (Cyclic Redundancy Check)

2.6.1 Zeichenorientierte Rahmenübertragung: BSC (Bisync)

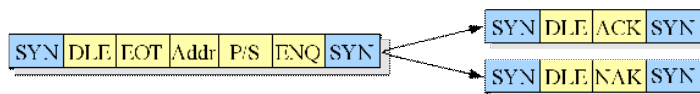
- IBM
 - Terminalansteuerung
 - EBCDIC
 - ISO basic mode mit ASCII
- Spezialbuchstaben für Rahmenbildung und Kontrolle
 - SYN als Lückenfüller
 - SOH: start of header
 - STX: start of text
 - ETX: end of text
 - EOT: end of transmission
 - ACK/NAK: (negative) acknowledge
 - DLE: data link escape
- Zeichenorientierter Rahmen
 - Daten durch (DLE, STX) und (DLE, ETX) eingerahmt
 - Paketanfang (DLE, SOH, Identifier, Stationsadresse)



- Transparenz der Datenübertragung:
 - Daten eine (DLE, . . .) Gruppe als Inhalt => Missverständnis
 - "Zeichenstopfen": ein zusätzliches DLE-Zeichen wird eingefügt
 - vom Empfänger wieder entfernt

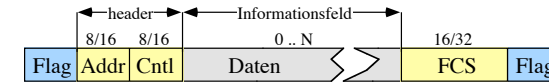


- Poll+Adresse: Master bietet Slave die Möglichkeit, Daten zu senden
- Select + Adresse: Master hat Daten für den Slave



2.6.2 Bitorientierte Rahmenübertragung: HDLC

- High Level Data Link Control [IBM]
 - LAP-B (ISO 4335)
 - LAP-D (ITU Q.921) Link-Protokoll für ISDN-Signalisierung
 - LLC (Logical Link Control, IEEE 802.2) für LANs



- HDLC-Rahmen
 - beliebige Bitanzahl im Rahmen (Paket)
 - Flags 'rahmen' Daten ein
 - Kontrollinformation am Paketanfang (header)
 - CRC-Prüfsumme am Paketende ($x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$)

- Besondere Bitmuster

Flags, '0111 1110'

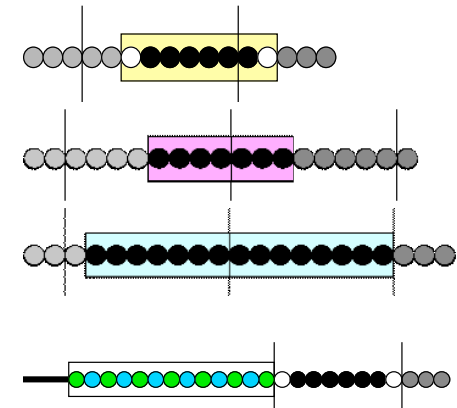
- evtl. auch als Idle-Muster
- Bitstuffing

Abbruchmuster (abort), 7 mal '1'

Idle-Muster, 15 mal '1'

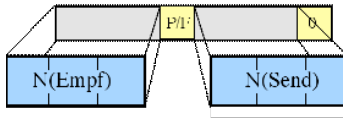
Taktsynchronisation

- zusätzliche Präambel
- falls kein Takt vom Modem
- evtl. >100 Bits,
- gehört zur physikalischen Ebene



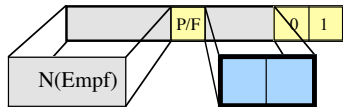
- I-Rahmen (Information):

- Nutzdaten im Informationsfeld.
- 'Huckepack' Bestätigung f. Gegenrichtung.
- Evtl. 16 Bit anstatt 8 Bit Kontrollfeld.



- S-Rahmen (Supervisory):

- Stop & Go Flusskontrolle
- Bestätigungen, falls nicht Huckepack
- Anfordern von Wiederholungen



00	RR	C/R	Receive Ready
10	RNR	C/R	Receive Not Ready
01	REJ	C/R	Reject, letzte N() Rahmen
11	SREJ	C/R	Selective Reject (optional)

- Sequenznummern

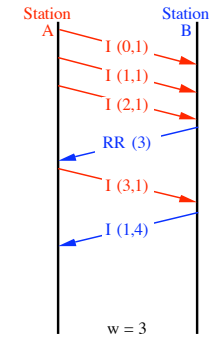
- Fehlerkontrolle und Flußkontrolle
- Fenstermechanismus

- Jede Station unterhält zwei Zähler:

- Z(Send): Sequenznummer des beiliegenden Pakets
- Z(Empf): Sequenznummer des erwarteten Paketes
- Bestätigung für Paket[N-1] in Gegenrichtung
- Zählung Modulo 8 oder Modulo 128

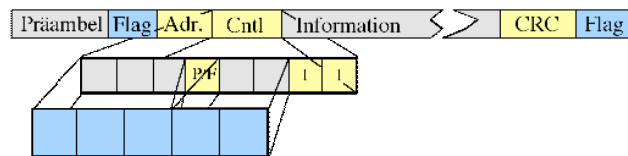
- Regeln

- bestätigte Rahmen im Sender freigegeben
- unbestätigte behalten bzw. wiederholt
- höchstens w Rahmen dürfen unbestätigt sein (w= Window Size)
- Zurückhalten von Bestätigungen bremst Datenfluß



- U-Rahmen (Unnumbered)

- bitorientiertes Kommandofeld

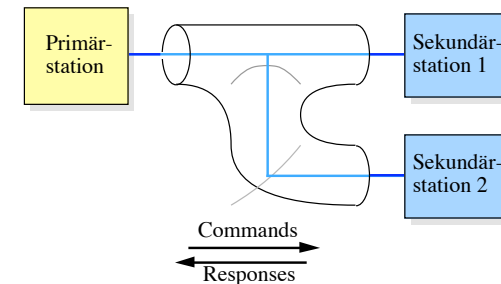


- Kontrollfeldwerte (Pakettypen)

00001	SIM	C/-	Set Initialization Mode
00001	RIM	-/R	Request Initialization Mode
00011	SARM	C/-	Set Asynchr. Resp. Mode
00011	DM	-/R	Disconnected Mode
01000	DISC	C/-	Disconnect
01000	RD	-/R	Request Disconnect
10000	SNRM	C/-	Set Normal Resp. Mode
00000	UI	C/R	Unnumbered Information
00100	UP	C/-	Unnumbered Poll
00111	SABM	C/-	Set Async. Bal. Resp. Mode
01100	UA	-/R	Unnumbered Acknowledge
10001	CMDR	-/R	Command Reject (NRM)
10001	FRMR	-/R	Frame Reject (ABM)
10111	XID	C/R	Exchange Identification

- Normal Response Mode NRM

- Mehrpunktconfiguration
- Zentralrechner bedient mehrere blockorientierte Terminals

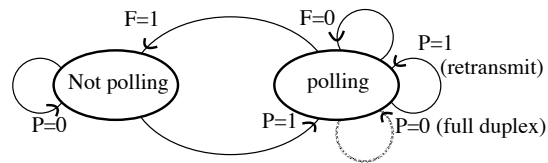


- Sekundärstationen senden nur nach Aufforderung
- Poll/Final Bit im Meldungskopf
- Poll: Sendeerlaubnis von Primärstation
- Final: Sekundärstation ist fertig

- Zustandsautomat für Poll/Final Bit

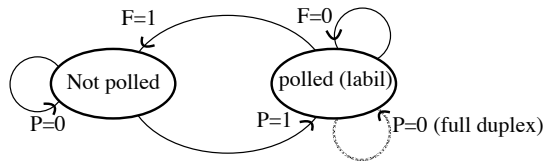
- In der Primärstation

- P senden
- F empfangen

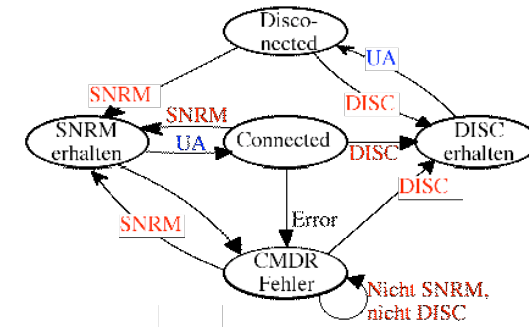


- In der Sekundärstation

- P empfangen
- F senden



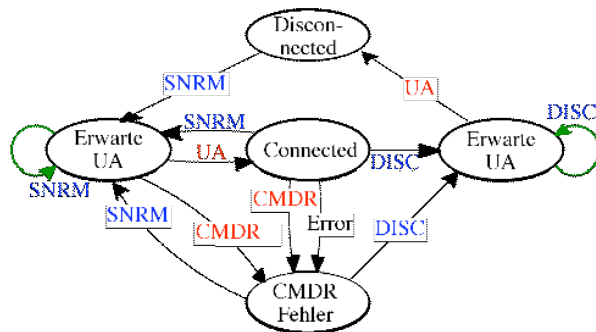
- Zustandsautomat für die Sekundärstation



- **command** empfangen
- **response** gesendet
- eventuell nach **timeout**

- Verbindungsaufbau und -abbau für Normal Response Mode

- Zustandsautomat für Primärstation



- **response** empfangen
- **command** gesendet
- **commands** eventuell nach **timeout** senden

- Protokollablauf NRM



B,RR-P(0)	->		Pollen ob es Daten gibt
B,SIM-P	<-	B,RIM-F	Guten Morgen, brauche Initialisierung
	->		Initialisierung bereit
	<-	B,UA-F	OK Set
B,SNRM-P	->		Download Initialisierung
	<-	B,UA-F	NRM setzen, Reset Ns
B,RR-P(0)	->		OK NRM
B,I(0)-P(0)	->	B,RR-F(0)	Nochmal pollen
	<-	B,I(0)- (1)	gibt nichts
B,I(1)-P(2)	->	B,I(1)-F(1)	Datenpaket 0 zu B
	<-	B,I(2)-F(2)	Datenpaket 0 zu A Bestätigung A0
B,RR-P(3)	->		Datenpaket 1 nach A
B,RR-P(3)	->	B,RR-F(2)	Datenpaket 1 + Bestätigung von B0 und B1
	<-	B,I(3)-F(2)	Datenpaket 2 an A, Bestätigung für A1
	<-		Bestätigung von Datenpaket B2
	<-		gibt nichts
	<-		B pollen
	<-		Übertragung zu A
	<-		Rahmen verloren
B,RR-P(3)	->		B pollen
	<-	B,I(3)-F(2)	Wiederholung B3
B,RR-P(4)	->		B3 bestätigen und pollen
	<-	B,RR-F(2)	gibt nichts
B,DISC-P	->		Abbau
	<-	B,UA-F	Abbau OK

- Asynchronous Response Mode (ARM)
 - spontane Übertragung von der Sekundärstation
- Initialisierung mit SARM für jede Richtung

```

B,SARM-P  ->      ARM, Reset Ns
           <-    B,UA-F  OK ARM
           <-    A,SARM-P  ARM, Reset Ns
A,UA-F     ->      OK ARM
           ...          Duplex DÜ

```

- Asynchronous Balanced Mode (ABM)
 - gleichberechtigte Übertragung
 - Computer-Computer Konfigurationen
 - Huckepack Bestätigungen möglich
- Initialisierung mit SABM für eine Richtung genügt

```

B,SABM-P  ->      ABM, Reset Ns
           <-    B,UA-F  OK ABM
           ...          Duplex DÜ

```

- Adressierung nur mit Adresse der Sekundärstation
 - Primärstation sendet Commands
 - empfängt Replies mit Partneradresse
 - Sekundärstation empfängt Commands
 - sendet Replies mit eigener Adresse
- Commands und Replies anhand der Adresse unterscheiden
 - Senderadresse => Reply
 - Empfängeradresse => Command
- Fehlersituationen
 - Rahmen mit falscher Prüfsumme oder mit Abbruchsequenz verwerfen
 - Überlasteter Empfänger verwirft Rahmen
- Fehlerkorrektur durch erneute Übertragung nach:
 - Time-Out
 - Reject (REJ) nach Empfang des Rahmens N+1 anstatt N
 - Selective Reject SREJ (optional)

- Erneute Initialisierung wird durch Primärstation eingeleitet nach
 - Command Reject (CMDR) im NR Modus
 - Frame Reject (FRMR) im AB Modus
 - internem Fehler

- Optional

DM	Verbindungswunsch ablehnen
RSET	Sequenznummern auf Null
XID	Knotenident. austauschen
RIM	Request Initialization Mode
SIM	Set Initialization Mode

- Erweitertes Kontrollfeld mit SNRME, SARME, SABME.
- Feste Vereinbarung möglich für
 - 16 Bit Adress- & Kontrollfeld
 - maximale Paketlänge
 - Fenstergrösse
 - Initialisierungsbedürfnisse

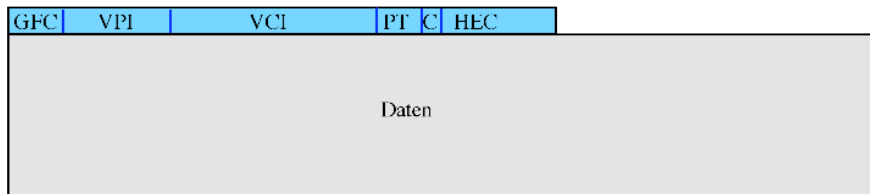
- MLP - Multilink Procedure
 - mehrere physikalische Leitungen für eine logische Strecke
 - Verteilung der Pakete auf mehrere Links
 - Multilink Control (MLC) Feld in jedem Rahmen
 - transparent für Klienten und Single Link Procedure (SLP)



- LAP-M für Modems:
 - X-ON/X-OFF Flußkontrolle mit Unnumbered Information Frame
- LAP-D, Link Schicht der ISDN-Signalisierung
 - Service Access Point Identifiers (SAPI) - Signalisierungsinstanzen
 - Terminal Identifier (TEI)
 - Vergabeprozedur beim Einschalten
 - Adressfeld
 - nur SABME
 - Adressfeld mindestens 16 Bit, Erweiterungsmechanismus
 - verwendet bei Frame Relay

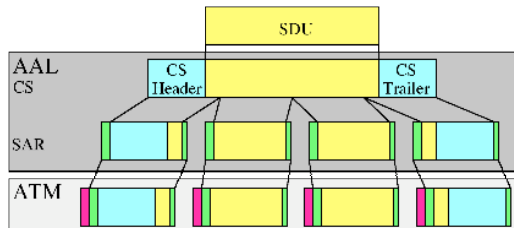
2.6.3 Übertragung mit fester Rahmengröße: ATM-Zellen

- 53 Bytes = 48 Byte Nutzlast + 5 Byte Verwaltung



- Problem: Aufteilung der Nutzdaten auf Zellen
 - Anwendungsdienst (=> application layer framing)
 - zwischengeschaltete Übertragungsdienste (AAL)
 - Ströme: Ton, Video
 - SDUs: Datenpakete
- AAL: ATM Adaptation Layer
 - Verteilung größerer SDUs auf den Nutzlastbereich der ATM-Zelle
 - evtl. Fehlerkorrektur, Framing, etc.

- Convergence Sublayer: Rahmenbildung

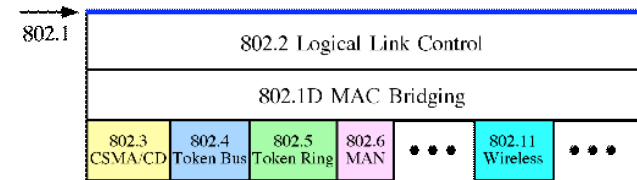


- Segmentation and Reassembly Sublayer
 - bei 140 MBit/s aufwendig

	AAL 1	AAL 2	AAL 3/4	AAL 5
Verkehrstyp	CBR	VBR	ABR/UBR	ABR/UBR
Medien	H.261, G.711	MPEG	Daten	Daten
Nutzlast	46 oder 47	45	44	48
Header in Zelle	Seq#	Seq#		-
Fehler	CRC, FEC?	CRC, FEC?	CRC, Segmentinfo	
CS-Header			Puffergröße	Mngt, CRC

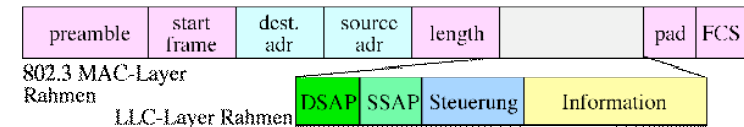
2.7 Lokale Netzwerke

- Broadcast-Topologie
 - einer sendet, alle hören zu
 - Adressauswertung im *Empfänger* entscheidet über Speicherung
- IEEE Standards 802.x
 - MAC: Medium Access control



- 802.1 Interface
 - "verbindungslos", unbestätigt
 - L_DATA.request, L_DATA.indication (auch DL_UNITDATA)
 - "verbindungslos", bestätigt
 - L_DATA_ACK.[*], L_DATA_ACK_STATUS.indication
 - "verbindungsorientiert"
 - L_CONNECT, L_DATA_CONNECT, L_DISCONNECT

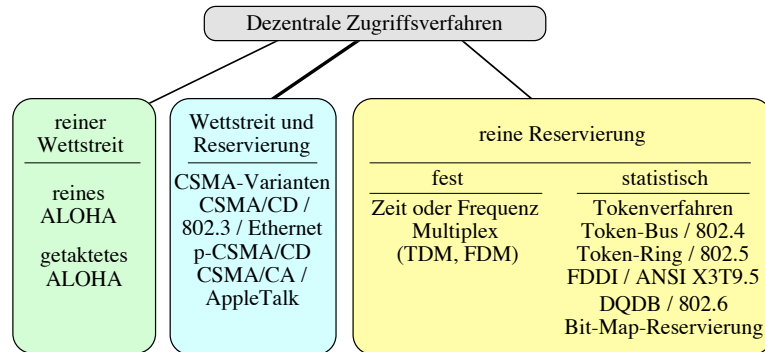
- LLC- und MAC-Rahmen



- Steuerfeld ähnlich wie bei HDLC, LAPB, LAPD ...
 - Quell- und Zieladresse
 - 1 oder 2 Byte Steuerfeld
- Verbindungsorientierte Protokoll-Varianten mit 7 Bit Sequenznummern
- Rahmentypen ähnlich HDLC
 - nur symmetrische Konfigurationen
 - I, RR, RNR, REJ, UI, UA, DISC
 - SABMF, XID, TEST, DM, FRMR
 - UI-Frame für typischen Datagramm-Transfer
- MAC-Services
 - MA_UNITDATA.[request|indication]
 - MA_UNITDATA.confirm bestätigt Übertragung
 - in machen LANs auch Empfang

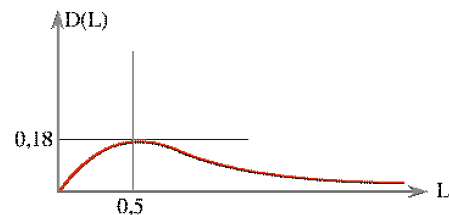
2.7.1 Zugriffssequenzialisierung

- Reservierungsverfahren
 - Anmeldung im Reservierungsrahmen
 - Stationen senden in aufsteigender Folge
 - Verhältnis Reservierung/Datenübertragung ungünstig bei vielen Teilnehmern und niedriger Aktivität.
- konzeptuell dezentrale Verfahren

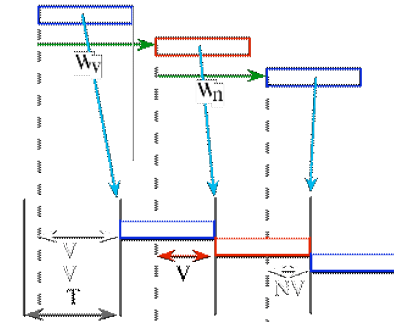


2.7.1.1 Statistische Verfahren

- Aloha
 - Paket sofort senden, wenn es bereit ist
 - Überlagerung/Kollision wird nicht bemerkt
 - höhere Schichten warten auf Bestätigung
 - falls Timeout erneute Übertragung
- Unter Annahme der Poissonverteilung $D < 18\%$

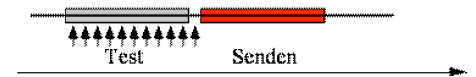


- slotted Aloha
 - Zeitschlitz (Slots) der Dauer $\sim T$
 - Paketlänge fest
 - Übertragung nur zu Beginn eines Slots

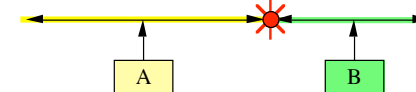


- entweder komplette Überlagerung oder keine
- Annahme Exponentialverteilung: $D < 37\%$

- CSMA: Carrier Sense Multiple Access
- Vor Übertragung hören, ob Medium belegt
 - wenn frei: Senden
 - wenn belegt: warten und nochmal versuchen



- Problem falls zwei (fast) gleichzeitig testen und dann senden
 - Signallaufzeit bis zu allen anderen ist Risikoperiode

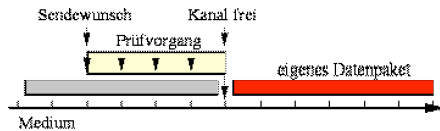


- => $p(\text{Kollision})$ für CSMA ist proportional zur Signallaufzeit
- langes Kabel erhöht Kollisionsgefahr

- Persistent CSMA

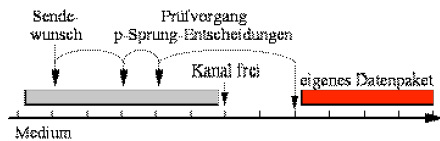
- sofort senden, wenn der Kanal frei ist

```
while carrier
do { persist };
Send;
```

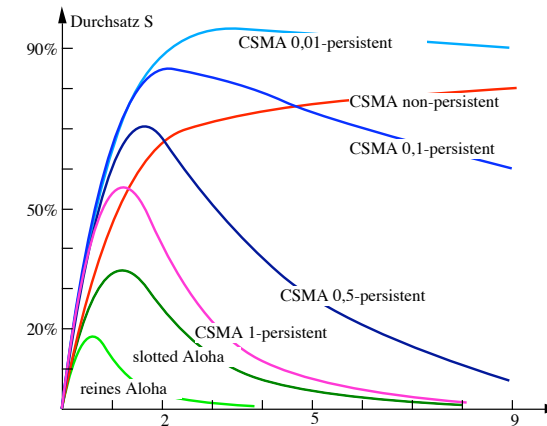


- Non-persistent CSMA:

```
while carrier
do Wait(random);
Send;
```



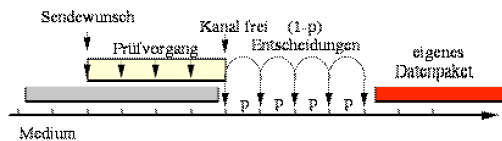
- Poisson-verteilte Last



- p-persistent CSMA

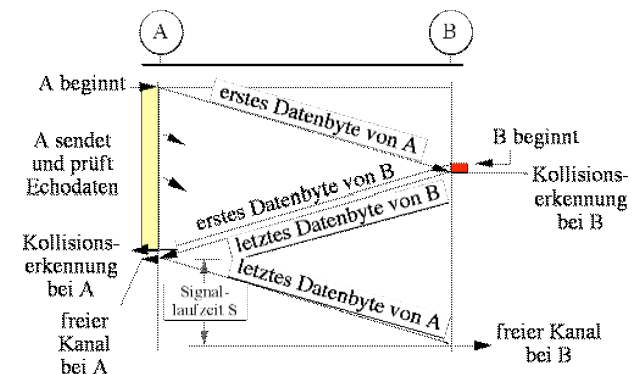
- Medium wird dauernd beobachtet
- nach dem Freiwerden des Mediums Zufallsentscheidung
- nur mit Wahrscheinlichkeit p wird sofort gesendet
- sonst wieder von vorn

```
while (not p or carrier)
do Wait(1);
send;
```



- CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

- Kollision frühzeitig erkennen.
- Transceiver beobachtet Leitung
- Beobachten des Mediums während der Übertragung
- Kollision: Senden abbrechen und Störimpuls senden (Jamming)

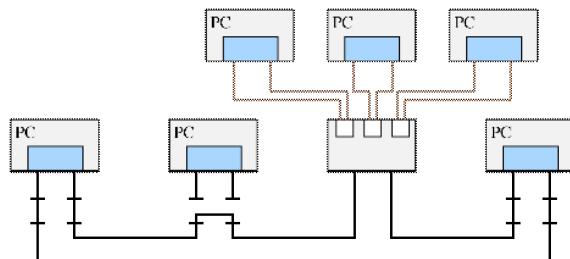


- Kollisionsfenster: $\text{slot-time} = 2 * \text{Laufzeit} + \text{Sicherheitszeit}$

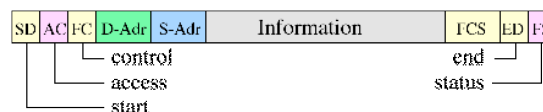
- Exponential Backoff
 - vor Wiederholung nach einer Kollision wird die Wartezeit verdoppelt
 - Begrenzung auf 2^{10} Slots
 - Anpassung an die Netzlast
 - trotzdem oft lange Wartezeiten
- CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision **Avoidance**
 - Probepaket an Empfänger senden (RTS)
 - Auf Antwort warten (CTS)
 - kommt CTS ungestört: Informationspaket senden
 - sichert auch, daß Empfänger bereit
 - RTS/CTS + Wartezeiten verhindert Kollision der Datenpakete
 - RTS kann mit anderem RTS kollidieren
 - > Sender muß nicht mithören, weniger Hardwareaufwand
 - siehe LocalTalk

2.7.1.2 Deterministische Verfahren

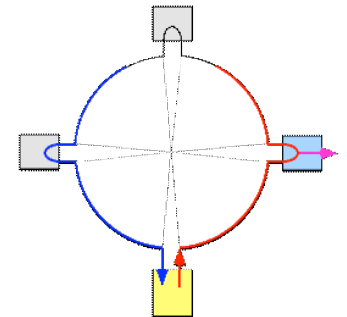
- Token-Ring
 - Interface ist Repeater
 - passiv: mechanische Durchschaltung (Relais)
 - aktiv: elektronische Durchschaltung (Schieberegister)



- Rahmenformat



- Sendeerlaubnis/Token zirkuliert im Ring
 - im access-Feld
 - T-Bit = 0 => Frame ist Token
 - T-Bit = 1 => Frame ist normales Datenpaket
- Empfangen:
 - im Ring zuhören und Adresse erkennen
 - **Bitweise vom Repeater kopieren**
 - Bestätigung am Paketende anbringen
- Senden
 - Token abwarten
 - Token vom Ring entfernen
 - Ring auftrennen
 - **Paket senden**
 - Token senden
 - Auf den eigenen Paketanfang warten
 - **Bestätigung + Paketende empfangen**
 - Ring schließen



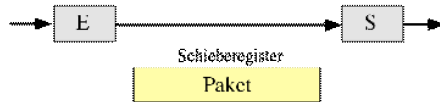
- Problem:
 - Token erkennen und vom Ring nehmen
 - Token und StartOfFrame in einem Bit unterschiedlich
 - ein Bit im Repeater zwischenspeichern,
 - Bit testen und verändern.
 - => mindestens 1 Bit Verzögerung pro Station.
- Kollisionsfrei, Durchsatz nahe bei 100%
- Wartezeit bis zum Senden?
 - Tokenlaufzeit (TRT) + Pakete der Vorgänger
 - Vollast: n-1 Stationen kommen vorher
- Fehler!
- Leerlauf:
 - viele Stationen im Ring => auch im Leerlauf hohe Wartezeiten.
 - Pro Station >1 Bit zusätzliche Verzögerung.
 - CSMA gibt im Leerlauf kurze Wartezeit.
- Protokoll recht umfangreich (Prioritäten etc.)
- TokenBus ist logisch ein Ring, Stationen reichen Token herum

• Registereinfügung

- Schieberegister in jeder Station
- Paketlänge = Schieberegisterlänge
- Senden durch 'Vordrängeln'

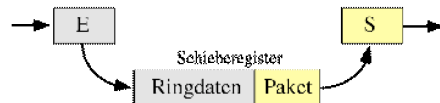
• Station sendebereit

- Paket im Schieberegister
- Warten auf Paketanfang



• Senden

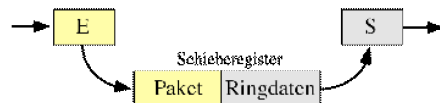
- Ringinhalt in Register schieben
- Paket 'im Ring'



• Paket vollständig gesendet



• Eigenes Paket wieder ins Schieberegister



• Eigenes Paket vollständig im Register

- Ring kurzschließen = Paket vom Ring nehmen



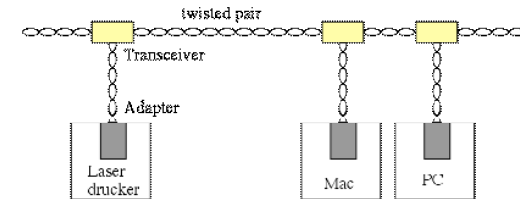
2.7.2 LocalTalk

• Teil der AppleTalk Architektur

- physical layer und link layer

• basiert auf USART

- Zilog 8530 SCC
- HDLC inkl. CRC
- asynchrone und synchrone Funktion
- bis 230 400 bit/s
- zwei Ports



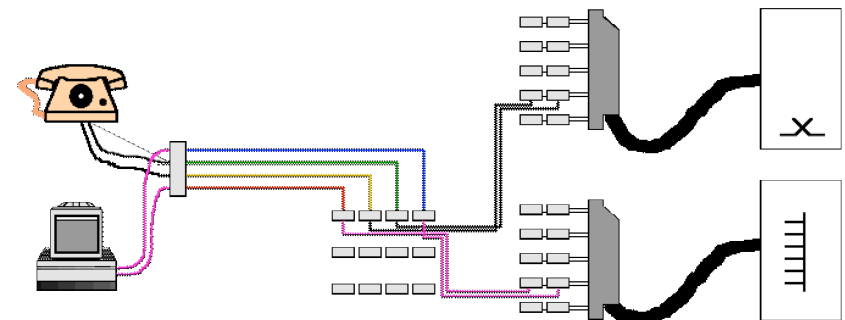
• LocalTalk-Verkabelung

- trivialer Transceiver mit Transformatoren als Übertrager
- einfaches twisted pair Kabel

• PhoneNet auf 2 Telefondrähten

- äußeres Paar der US-Vierdrahtverkabelung
- vorhandene Kabel mit RJ11-Stecker
- Sterntopologie

• Starcontroller

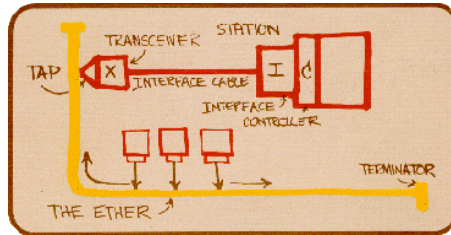


• Link Layer

- HDLC-artiger Rahmen
- dynamische Vergabe der Knotenadressen

2.7.3 Ethernet

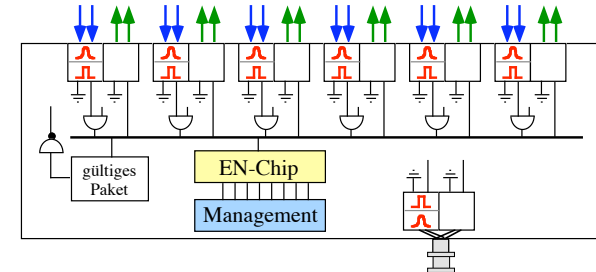
- Bob Metcalfe, Xerox PARC



- CSMA/CD, Kollisionserkennung
 - zwei Pakete auf dem Medium = Signalüberlagerung
=> Manchester - Code - Verletzung
 - Gleichstromanteil $> V_{th}$ => Kollision
- Größenbeschränkung des Kollisionsgebietes
 - 2500 m => Signallaufzeit maximal 23 μsec
 - nach round-trip von 46,4 μsec (= 464 bit) keine Kollision mehr
 - Paketlänge max. 12.144 bit

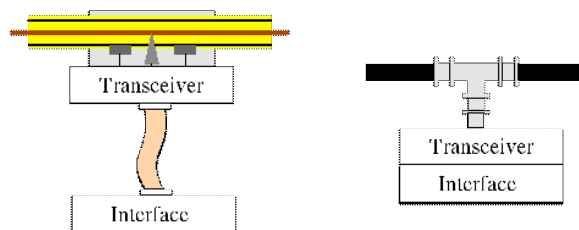
- 10BaseT

- 4 Drähte twisted pair: 2 senden, 2 empfangen
- Verkabelung wie Telefonsystem
- Sternkoppler im 'wiring cabinet'



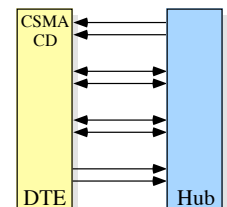
- Gültiges Paket => andere Rx-Leitungen abschalten
- Kollisionen = Carrier-Sense auf dem Empfangspaar AND Senden

- AUI
 - Interface am Computer mit AUI-Stecker
 - Transceiver am Kabel mit Tap
- 10Base5 (ThickNet, Yellow Cable)
 - 50 Ω Koaxialkabel, 10 mm, starr
 - 500 m



- 10Base2 (ThinNet, Cheapernet)
 - 50 Ω Koaxialkabel, 5 mm, RG58A/U, BNC-Stecker
 - 200 m
- 10Broad36 [Sytec]
 - baumstrukturiertes Kabelverteilstz, Koaxialkabel 75 Ω

- Fast Ethernet (802.3u)
 - 100 Mbit/s und GigaBit
- CSMA/CD funktioniert bei dieser Geschwindigkeit nicht mehr dezentral
 - Sterntopologie
 - zentrales CSMA/CD
 - Sternkoppler bietet Möglichkeit der Vermittlung
- 100VGAnyLAN (IEEE 802.12)
 - Demand Priority statt CSMA/CD
 - Baumstruktur
- 100BaseT4
 - 4 Adernpaare bis zu 100 Meter, cat 3, 4, 5
 - 8B6T, Symbolrate 25 MHz



- 100BaseTX

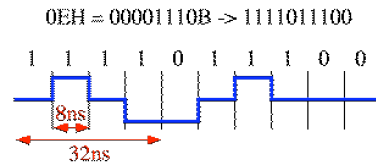
- 2 Adernpaare, cat 5
- 4B5B
- manchesterkodiert 125 MHz: nicht bei cat 5

- Leitungskodierung MLT-3 (NRZI-3)

- reduziert Frequenz
- reduziert Gleichstromanteil
- 11111 -> 32 ns = 31,25 MHz

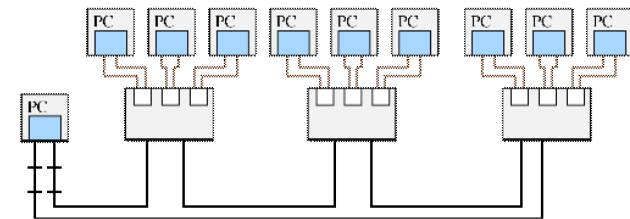
- 4B5B

- 32 mögliche Kombinationen
- 16 für Nutzdaten mit mind. 2 Levelwechseln pro Symbol -> Taktableitung
- Start_of_Frame, End_of_Frame, Idle

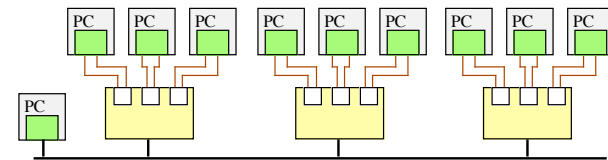


2.7.4 Token Ring

- IBM Zürich
- 4 MBit/s oder 16 MBit/s
- Verkabelung im wesentlichen sternförmig



- Synoptics LatticeNet



- Gigabit-Ethernet (802.3z)

- T: UTP, cat 5, 100m
- Gradienten-Multimode Glasfaser 500m
- SX: (850 nm, max. 5km); LX: (1300nm, max. 500 m)
- CX: 25 m, "TwinAX"

- 1000Base-X

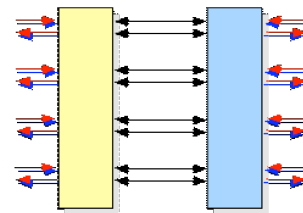
- kleine Pakete vs. Collision-Domain (64 bytes ~ 20 m)
- minimale Frame-Größe 512 bytes
- Padding, Extension, Frame Bursting (folgende kleine Frames sofort senden)

- 1000Base-T

- 4 Paare voll duplex
- Echounterdrückung
- 8 Bit vom Interface = 4*2 Bit
- 125 MSymbole/s pro Paar (125 Mbaud)

- 4D-PAM5 (8B/10B)

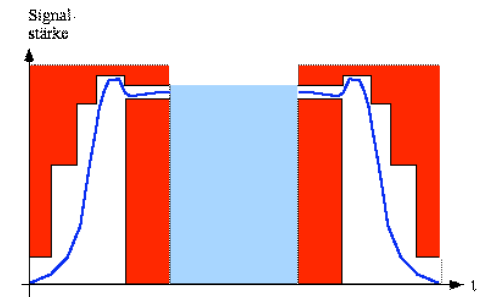
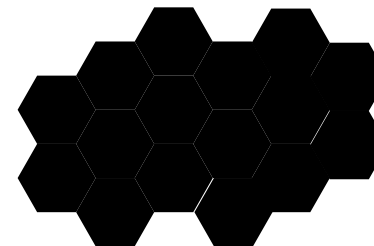
- 2 Bit -> 5 Werte
- 256 Werte in 625 Symbolwerten kodieren
- 512 Werte für Trellis-Kodierung, 113 für Kontrolle
- Viterbi-Decoder



2.8 Technik digitaler Mobilfunknetze

- Zelluläre Struktur

- Frequenzwiederverwendung, Handover

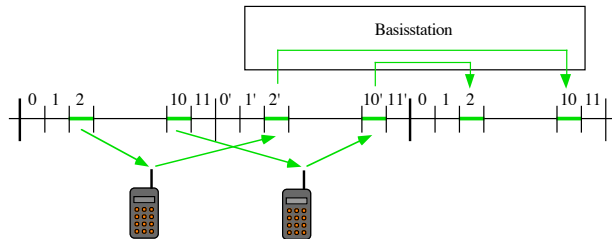


- Zeitmultiplex auf Trägerfrequenz (TDMA)

- Rahmen, Multirahmen, Superrahmen
- Timeslots in Rahmen -> Funkburst
- Schutzzeiten um die Timeslots

2.7.1 DECT (Digital European Cordless Telecommunications)

- Schnurlose Telefonie im Gebäude bzw. Campus
 - evtl. Zellstruktur
 - automatische Zellanordnung
 - Nebenstellenanlagen
- 1880 - 1900 MHz
- 10 Trägerfrequenzen, je 100 Rahmen/sec
- 24 Slots (12 downlink, 12 uplink)
 - 480 bit - Sync - Schutzzone - Header = 320 bit/slot

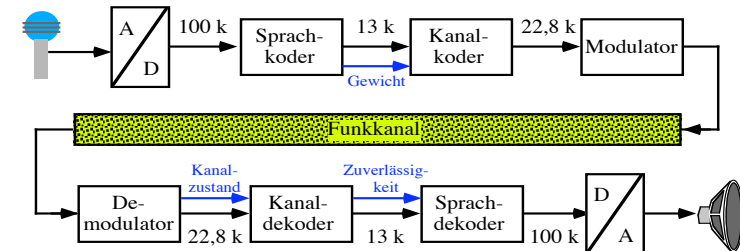


- Sprachkompression auf 32 kbit/s nach G.721 (ADPCM)

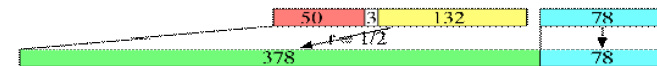
2.7.2 GSM: Global System for Mobile Communications

- Group Spéciale Mobile (GSM)
- später: Global System for Mobile Communication
- 890 - 915 MHz, 935 - 960 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz
 - 125 Bänder, max. 15 pro Zelle
 - 217 Rahmen/sec mit 8 Bursts (= Timeslots)
 - 24,7 kbit/s pro Kanal
 - Gaussian Minimum Shift Keying
- Signalisierungskanäle
 - LAPDm
 - Datenrate 950 bit/s
 - Verbindungskontrolle ähnlich Q.930/931 (ISDN)
 - Mobilitätsmanagement

- komplexe Kanalstruktur: TCH, SACCH, FACCH, SDCCH, RACH...
 - Traffic Channel, Slow (Fast) Associated Control Channel
 - Access Grant Channel, Random Access Channel, ...
 - Mapping der Kontroll-Kanäle im Slot 0
- Integrierte Quell- und Kanalkodierung
 - Einteilung in geschützte und ungeschützte Information
 - Signal-Qualitätsinformation für den Dekoder

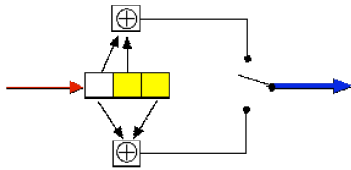


- Nutzkanal TCH
 - Bruttodatenrate 22800 bit/s
 - Sprache 13000 bit/s (Code 260 aus 456)

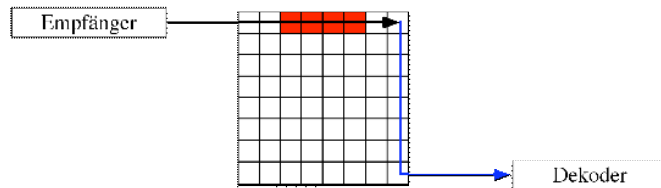


- Daten 12000 bit/s (Code 240 aus 456)
- Bitratenadaption ...
- GSM-Sprachkoder LPC/RPE
 - Linear Predictive Coding, Long Term Prediction, Regular Pulse Excitation
 - Klasse Ia: LPC-Parameter (MSBs), LTP-Parameter
 - Klasse Ib: LPC-Parameter, Gitter-Auswahl, RPE-Daten (MSBs)
 - Klasse II: LPC-Parameter (LSBs), RPE-Daten (LSB)

- Kanal mit hoher Fehlerwahrscheinlichkeit (10^{-3})
 - Faltungscodes zur Fehlerkorrektur

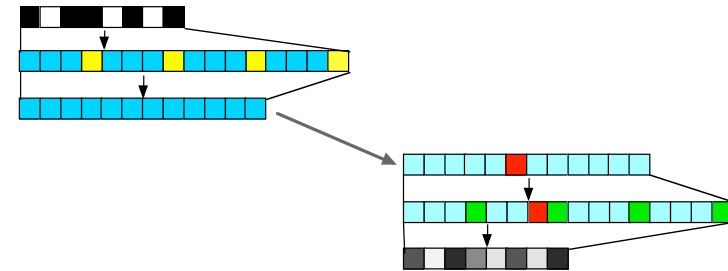


- Interleaving
 - Burstfehler verteilen
 - I = 8 bei Sprache, I = 19 bei Daten



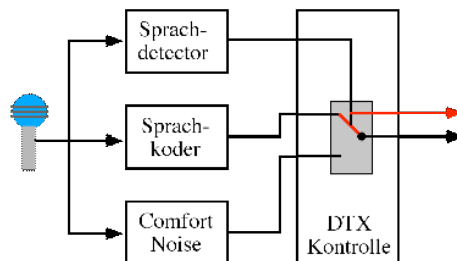
- Faltungscodes gut bei "gestreuten" Fehlern

- Datenübertragung
 - Faltungscode mit Rate 1/2
 - 'Punktierung' = Bits weglassen



- Dekoder würfelt punktierte Bits
- Faltungsdekode korrigiert 'falsch' gewürfelte Bits
- Radio Link Control Protocol
 - ähnlich HDLC / LAP

- Discontinuous Transmission (DTX)
 - Voice Activity Detection
 - In Sprachpausen keine GSM-Bursts senden
 - Periodisch Ruhegeräusch senden
 - Ruhegeräusch im Empfänger abspielen



- reduziert Interferenzen zu anderen Mobiltelefonen
- spart Batterie

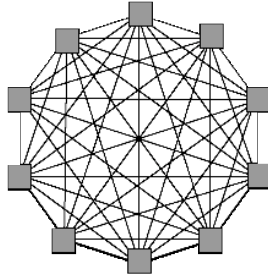
- Radio Resource Management
 - Messung der Kanalqualität
 - Minimierung der Sendeleistung
 - Frequenzhüpfen
 - Zellwechsel
- Mobilitätsmanagement
 - Roaming
 - MS-ISDN: CountryCode + NatDestCode + SubscriberNumber

49
172
7333563
 - Mobile Station Roaming Number (MSRN)
 - Home Location Registry: MS-ISDN -> MSRN
 - Zellwechsel => MSRN im HLR ändern
 - Visitor Location Registry für abgehende Rufe
 - => Mobilstation hinterläßt "Spur"
 - Struktur in der SubscriberNumber durch Vertrieb
 - IMEI: International Mobile Equipment Identity
 - IMSI: International Mobile Subscriber Identifier

3. Vermittlungsdienste

- Welches Problem wird gelöst?

- N Teilnehmer
- paarweise temporäre Kommunikationsbeziehungen
- 'Verbindungen' = Kontext der Kommunikation



- voll verbundenes Netz: $N*(N-1)$ Leitungen

- Historische Lösungen

- Kurier, Post
- Versammlung, Kino
- Telefon, TV

- Was wird transportiert?

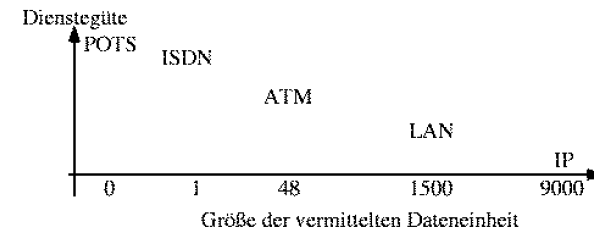
- Medienströme (Telefon, TV, ...)
- Medienpakete (Brief, ...)

- Stromorientierte Vermittlung

- Leitungsvermittlung
- konzeptuell synchron
- Dienstegüte eingebaut

- Paketvermittlung

- Store-and-Forward
- asynchron, schwer vorhersehbar
- inhärent 'best-effort'

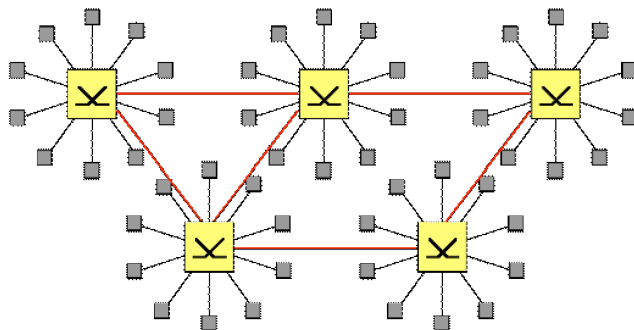
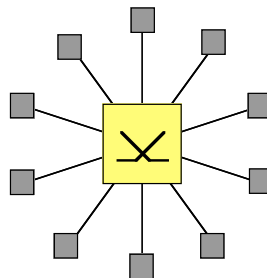


- Lösungsidee: Sternstruktur

- N Leitungen
- 1 Vermittlungsknoten
- evtl. Multiplex

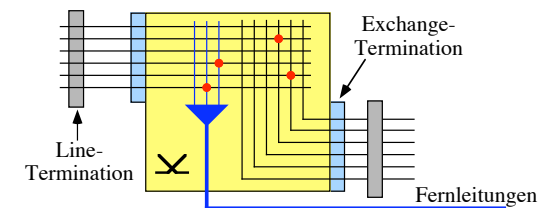
- Skalierung: Vermaschtes Netz von Sternen

- M Vermittlungen, $M \ll N$
- Leitungen zwischen Vermittlungen $\leq M*(M-1)$
- $N \ll N*(n-1)$ Anschlußleitungen



- Aufbau

- Teilnehmeranschlußleitungen
- LT, ET
- Koppelfeld
- Fernleitung



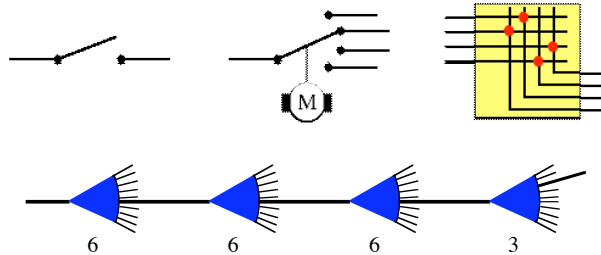
- Koppelfeldtechnik

- elektrische Durchschaltung: Räummultiplex
- Bits/Bytes vermitteln: Zeitmultiplex, Speichervermittlung
- Zellvermittlung
- Paketvermittlung

3.1 elektrische Durchschaltung

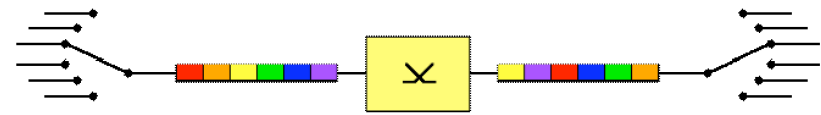
- Einheit der Vermittlung: Elektronen

- Raummultiplex
- Manuelle Vermittlung
- Heb-Dreh-Wähler
- Matrixschalter



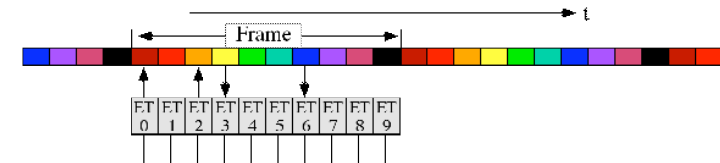
3.2 Bit- und Bytevermittlung

- Zeitlagewechsel



- Zeitkoppelfeld

- Bus mit hoher Übertragungsrate
- Zeitschlitztechnik

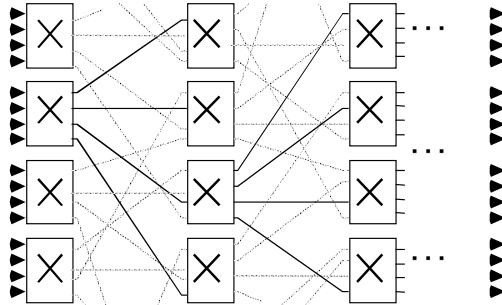


- Vermittlung einfach

- $\text{Frame}[j] := \text{ET}[q]; \text{ET}[p] := \text{Frame}[j];$
- Verbindungssteuerung konfiguriert ETs

- Multicast einfach: m Einheiten empfangen

- Elektronische Schalter



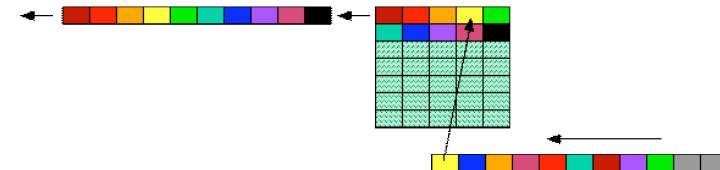
- Aktuelle Variante: Photonic Networks

- Einheit der Vermittlung: Photonen
- Licht wird end-to-end durchgeschaltet
- Wavelength-Division-Multiplex
- Wavelength-Router; Idee: Prisma

- Sonderfall Ethernet: Pakete statt Bytes

- Speichervermittlung: Memory Time Switch

- Bytes kommen im Multiplexstrom an
- Eingabe: Bytes werden einzeln adressiert und in RAM geschrieben
- Ausgabe: Bytestrom wird sequentiell aus RAM ausgelesen
- Ähnlich Video-RAM (VRAM)



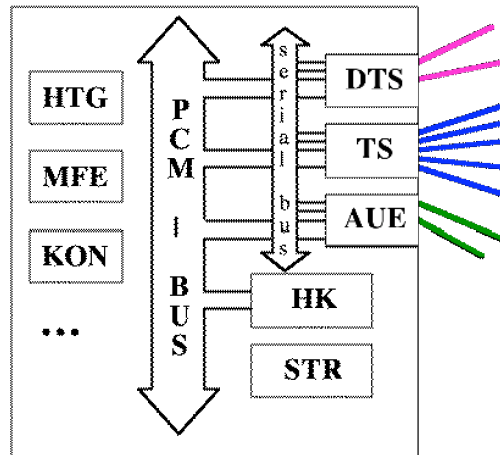
- Verbindungssteuerung

- Adresstabelle verwalten
- Tupel (Zeitschlitznummer, Speicheradresse)

- Multicast = ein Byte in mehrere Speicherzellen schreiben

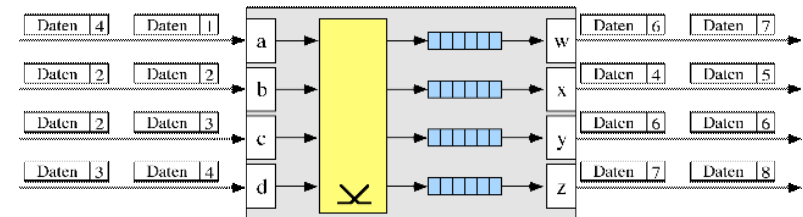
- Aufbau einer Telefon-Nebenstellen-Anlage

- PBX - Private Branch Exchange
- Steuerrechner
- Koppelfeld
- Sonderfunktionen



- Adressbasierte Vermittlung

- (Eingang, Kennzeichen_{n-1}) -> (Ausgang, Kennzeichen_n)
- Dynamische Steuerung der Durchschaltung
- Eingangspuffer und Ausgangspuffer

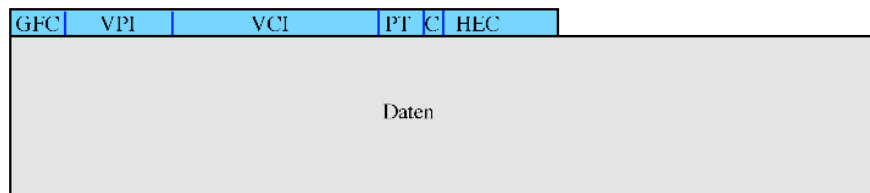


- Adressaustausch

Port in	Header	Port out	Header
a	1	x	5
a	4	w	6
b	2	y	6
b	4	y	7
c	3	z	8
c	2	x	4
d	4	w	7
d	3	z	7

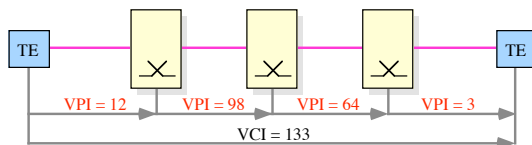
3.3 Zellvermittlung

- 53 Bytes = 48 Byte Nutzlast + 5 Byte Verwaltung



- Header nur auf dem Link (SONET, SDH) konstant

- in jeder Vermittlung geändert (evtl. auch VCI!)
- Tabelle mit (inLink, inHeader, outLink, outHeader)



- Vergabe der Header beim Verbindungsaufbau

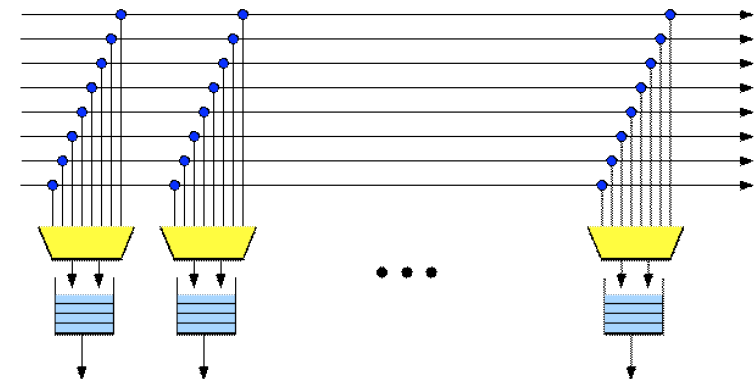
- Protokoll Q.2931 ähnlich ISDN

- Cross-Connect

- Bus mit Zeitschlitten (32 .. 128 bit parallel, 66 MHz)
- z.B. ForeRunner

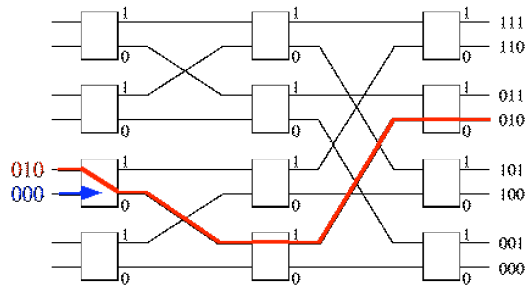
- Crossbar mit Knockout

- Arbiters entscheiden über Annahme der Zelle
- steuern Output-Fifo
- eventuell mehrstufig



- Selbststeuernde Vermittlungsnetzwerke

- Banyan-Delta
- Puffer an Ein- und Ausgängen



- Alternativen: Butterfly, Batcher, Omega, Perfect Shuffle
- Kollisionen an Schaltern
- Multicast ?

- Beispiel Internet Weglenkung

- von uhu.telematik.tu-freiberg.de nach www.adobe.com
- Programm traceroute

Find route to: www.adobe.com. (192.150.12.102), Max 30 hops, 40 byte packets

```

1 139.20.17.254 (139.20.17.254): 7 ms 9 ms
2 vivid.hrz.tu-freiberg.de. (139.20.64.254): 7 ms 7 ms 7 ms
3 cisco.hrz.tu-freiberg.de. (139.20.64.4): 2 ms 3 ms 2 ms
4 tu-dresden1.win-ip.dfn.de. (188.1.7.113): 7 ms 7 ms 15 ms
5 zr-leipzig1.win-ip.dfn.de. (188.1.7.37): 10 ms 11 ms 9 ms
6 zr-berlin1.win-ip.dfn.de. (188.1.144.6): 12 ms 12 ms 20 ms
7 zr-frankfurt1.win-ip.dfn.de. (188.1.144.106): 19 ms 18 ms 18 ms
8 ir-perryman1.win-ip.dfn.de. (188.1.144.78): 117 ms 126 ms 122 ms
9 bordercore3-hssi0-0-0.washington.cw.net. (166.48.41.249): 190 ms 143 ms 141 ms
10 core9.washington.cw.net. (204.70.9.61): 171 ms 163 ms 136 ms
11 * * *
12 112.atm3-0.xr1.tco1.alter.net. (146.188.160.90): 155 ms 138 ms 137 ms
13 293.atm2-0.tr1.dca1.alter.net. (146.188.161.170): 139 ms * 157 ms
14 101.atm6-0.tr1.scl1.alter.net. (146.188.136.222): 242 ms 233 ms
15 199.atm7-0.xr1.scl1.alter.net. (146.188.146.5): 232 ms 233 ms 201 ms
16 195.atm11-0-0.gw2.scl1.alter.net. (146.188.145.137): 226 ms 212 ms 200 ms
17 192.150.13.1 (192.150.13.1): 217 ms 203 ms *
18 www.adobe.com. (192.150.12.102): 225 ms * 211 ms

```

•Trace completed•

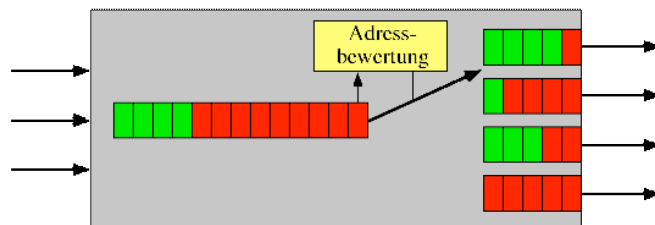
3.4 Paketvermittlung

- Beispiel Internet-Router

- im Kernnetz, beim Provider, in Organisationen
- zu Hause: DSL-Router

- Store&Forward

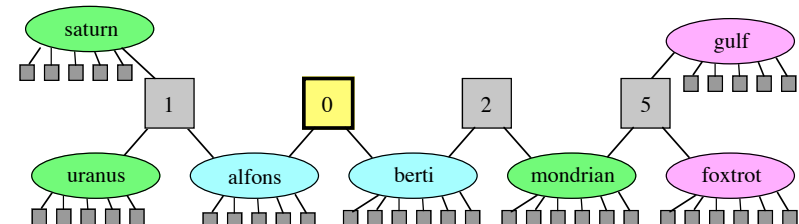
- Eingangsschlange sammelt Pakete
- Ausgangsschlangen vor jeder ausgehenden Leitung
- Adressauswertung ordnet Pakete Queues zu



- Viele Techniken zur Beschleunigung

- ohne Kopien mit Direct-Memory-Access von den I/O-Interfaces
- 'Cut-through' Routing

- Adressabbildung



- Tabelle (Netz, Kosten, Gateway)

- Tabelle beginnt mit lokaler Information

Netz	Kosten	Gateway
alfons	0	0
berti	0	0
saturn	1	1
uranus	1	1
mondrian	1	2
foxtrot	2	2
gulf	2	2

- Tabellen von Nachbarn verbessern Tabelle (DVA)

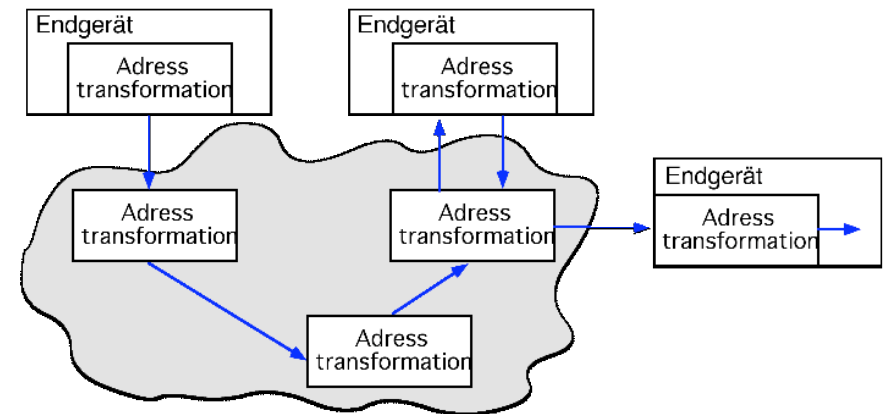
- im Prinzip vollständiges Wissen nötig

- Strategie des Routing
 - Statische Verfahren mit vorher bestimmten Tabellen
 - Dynamische, verteilte Verfahren
 - DVRP: Distance Vector Routing Protocol
 - Metrik: Hops, Verzögerung, Auslastung, ...
 - Link State OSPF: Link State Open Shortest Path First
- Cut-Through-Routing
 - Adressauswertung sehr schnell
 - Paketelemente (Bytes) sofort in den Ausgang bewegen
 - Problemfälle konventionell verarbeiten
- Multicastrouting
 - Pakete im Router replizieren
 - wohin schicken?
 - überall ist einfach
 - selektiv: Multicastbaum
 - evtl. unbekannt

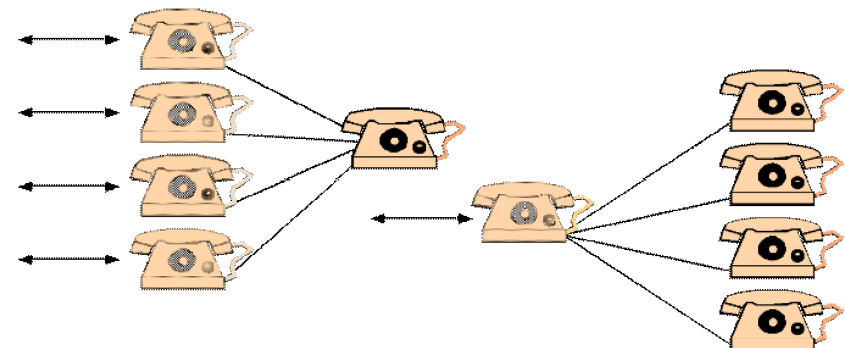
4. Steuerungsdienste

- Verbindungskontrolle
 - Aufbau
 - Abbau
 - Transformation
- Verwaltung
 - Authentisierung
 - Terminalkonfiguration
 - Abrechnung
- Adressübersetzung
- Verbindungsaufbau
 - Ziel: Adressierung
 - Eigenschaften der Verbindung: Dienstegüte (=> Vorl. Rechnernetze)
 - Entscheidung über Annahme der Verbindung: Rufbewertung

- Verbindungsaufbau
 - TCP: Active_Open
 - Wählen am telefon
 - RSVP-Reservierung
- Zielangabe und Adressübersetzung



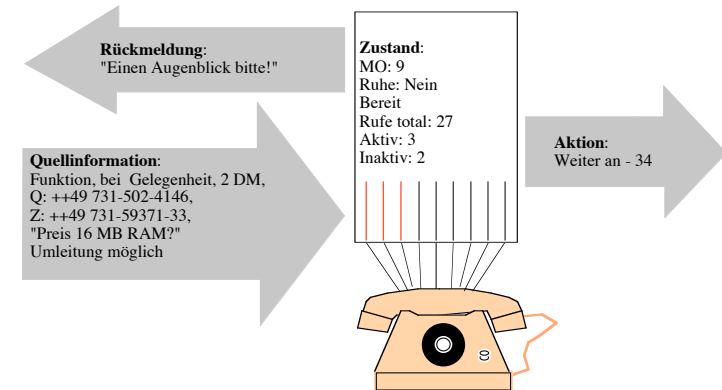
- Mehrfache Verzeichnisnummer
 - mehrere DNS-Namen für einen Server
 - {ftp,www,info,mail}.froitzheim.com



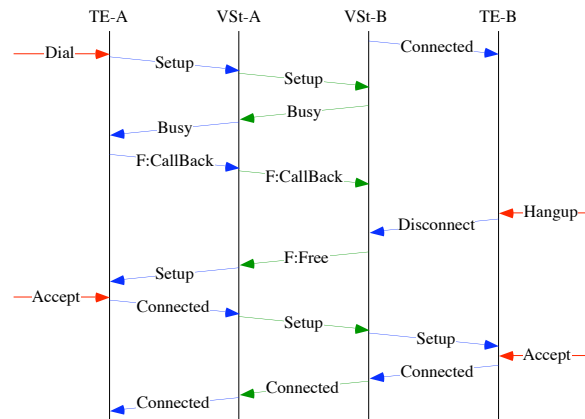
- Sammelnummer
 - Server-Farm mit gespiegelten Daten
 - Call-Center

- Semantik des Verbindungsaufbaus
 - Funktionelle Rufe (Kundendienst, Sekretariat, ...)
 - Individuelle Rufe (Personen, einzelne Geräte, ...)
- Annahme des Rufes
 - Endgerät 'frei' <-> Kapazität/Ressourcen
 - Semantik
 - unerwünschter Verbindungsaufbau (abgelehnt)
 - Dienst (temporär) nicht verfügbar (ignoriert)
 - besetzt
- Multiplexing Opportunities
 - Anzahl aktiver Verbindungen
 - Anzahl Platzhalter für Verbindungen

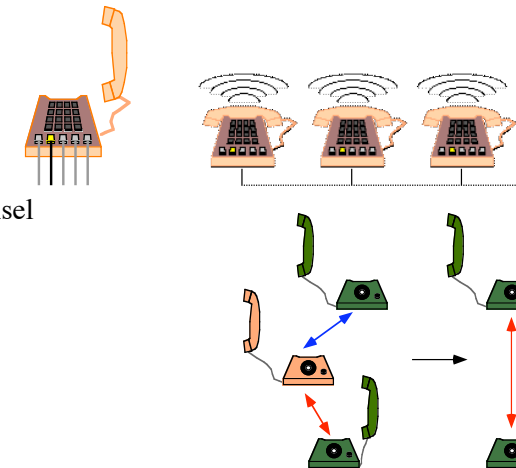
- Rufbewertung am Ziel
 - entscheidet über Annahme
 - evtl. im Netz
 - Semantik, Dringlichkeit, Umleitungs-Erlaubnis
 - Quelladresse, Zieladresse, Umleitungsziel
 - Zustand des Zieles
 - Belastung



- Rufweiterleitung
 - besetzt
 - ignoriert, abgelehnt
- Rückruf
 - besetzt oder ignoriert

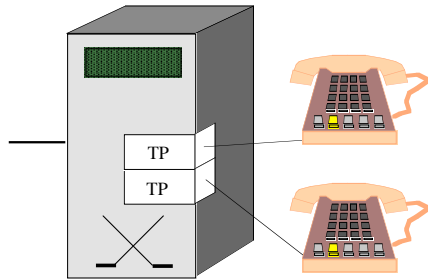


- Verbindungstransformation
 - Selektion aus Multiplexing Opportunities
 - Rufabfragegruppen



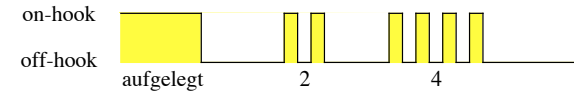
- Topologiewechsel
 - Transfer
 - Konferenz
 - Aufschalten

- Zugangsbezogene Steuerungsdienste
 - Autorisierung
 - Abrechnungssteuerung
 - Konfiguration der Verbindungssteuerung
 - Benutzungsschnittstelle

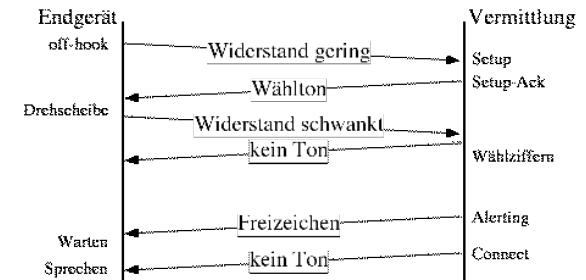


- Pseudo-Dienste
 - Speed-Dialling etc.

- Wählziffern
 - DTMF: dual tone multiple frequency
 - Wahlschalter



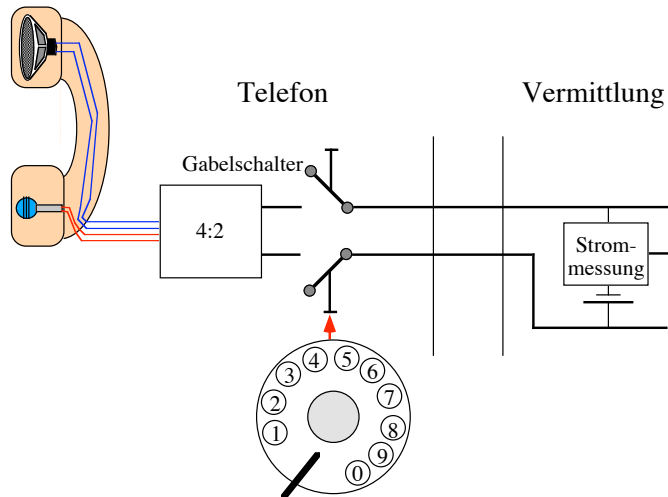
- Audio zur Netzwerk - User Signalisierung
 - Wählton, Frei, Besetzt, fast-busy
 - Ansage
- Signalisierung



4.1 Telefon

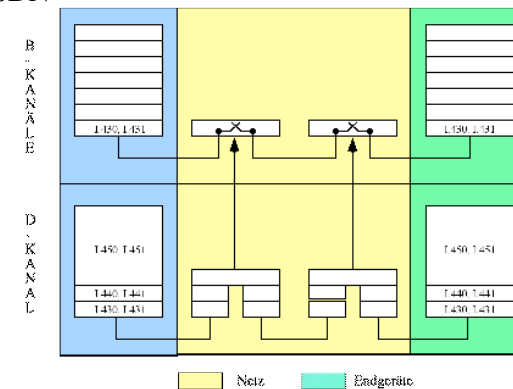
4.1.1 Analoges Telefon

- Telefon - das Endgerät



4.1.2 ISDN

- Protokolle im ISDN



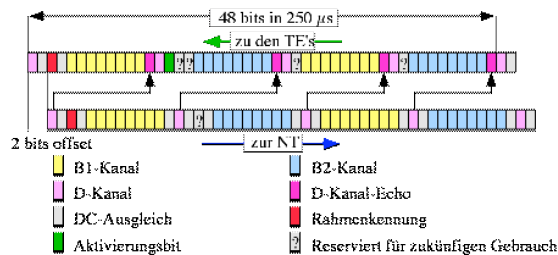
- Paketorientiertes Protokoll im D-Kanal.
- Signalisierungsprotokoll im Netz SS#7
- I.44x = Q.92x, I.45x = Q.93x

- Struktur der D-Kanal-Signalisierung

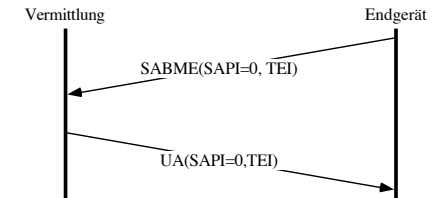
- mehrere Geräte an einem D-Kanal
- mehrere logische Einheiten pro Gerät
- auch von Nebenstellenanlage zum öffentlichen Netz

Management TEI, Link Control	Call Control Q.930 Q.931	Paketdaten z.B. X25
HDLC: LAP-D, Q.920, Q.921		
Physical Layer, z.B. S-Bus		

- Rahmenformat



- Bsp: Verbindungsaufbau Link Ebene



- Aktivierung und Deaktivierung auf physikalischer Schicht

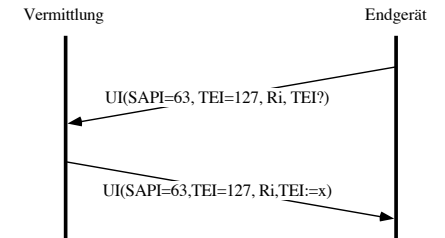
- TEI Management: SAPI 63

- dynamische Vergabe
- Eindeutigkeit
- Verwaltungsprozeduren

- Steuerung von LAP-D Verbindungen

- Aufbau, Abbau
- Kontrolle

- Beispiel: Automatische TEI - Vergabe



4.1.2.1 LAPD-D (Überblick)

- Schicht2, Q.920, Q.921

- HDLC Rahmen
- 14 Bit Adressen

- Service Access Points (SAPI)

- Signalisierung (0)
- TEI-Management (63)
- Paketdaten (16)
- lokale Kommunikation (17)

- Terminal Endpoint Identifier

- Endgeräteadressen
- Vergabe statisch oder automatisch
- evtl. mehrere pro Gerät

- Commands

- SABME, DISC, UA, DM,
- I
- RR, RNR, REJ, FRMR
- UI (Unnumbered)

- Fenstergröße 1 bis 128

Flag
SAPI
TEI
Command
Command (Teil2)
Informations
Feld
Frame Check
Sequence (CRC)
Flag

- Konkurrierender Zugriff auf den D-Kanal

- Zerstörungsfreie Kollisionserkennung

- Echo von NT bitweise verglichen
- AMI Codierung:

Eins im Ruhezustand
Nullen dominieren

- unterschiedliche TEIs => Unterschiede im Paket

- Beispiel:

	SAPI	TEI
TEI 67:	00 000000	1 1100001
TEI 89:	00 000000	1 1001101
D-Kanal:	00 000000	1 1001101

↑
Backoff 67

4.1.2.2 Q.931: D-Kanal Ebene 3

• Paketformat

- Protocol Discriminator
Q.931 (5E, NT): 8;
1TR6: 64, 65; ...
- Connection Reference
- Nachricht
Setup, Setup-Ack, Call Sent,
Alert, Connect,
Disconnect, Disconn-Ack
- Informations-Elemente
Länge 1: Codesatzumschaltung
 $1 < \text{Länge} < 256$:
Called Number,
Calling Number, ...
Cause,
Bearer Capability,
Service Indicator ...

	Protocol
	Länge
C R	Call Ref.
	Message
	Information
	Element
1	Informationstyp
0	Informationstyp
0	Länge
0	Inhalt
1	Inhalt

• Prozeduren

- Command / Response für Ebene 3
- implizite Festlegung der Anwendungs-Schicht

• Basic Calling

- Verbindungsaufbau, -abbau
- Status
- Information, Progress
- Pakete: Setup, Disc, Alert, ...
- nicht besonders komplex

• Verbindungsbezogene Leistungsmerkmale

- Facility Paket
- huckepack in anderen Paketen
- entsprechende Connection reference

• Verbindungslose LM (anschlussbezogen)

- Facility Register, -Status, -Indication,
- besondere Connection Reference

• Informationselemente für LM

- Functional: Facility Information Element
- Stimulus: Feature Activator/Indicator.

• Beispielpaket

- Verbindungsaufbau
- Telefonnummer
- evtl. weitere Beschreibung: bearer capabilities

Inhalt	Paket	Feld
leitungsvermittelt	0 0 0 0 1 0 0 0	Protokoll-Diskriminator
1	0 0 0 0 0 0 0 1	Länge
19	0 0 0 1 0 0 1 1	Nummer
CALL SETUP	0 0 0 0 0 1 0 1	Nachrichten-Typ
Zieleadresse	0 1 1 1 0 0 0 0	Element-Typ (Adresstyp)
12	0 0 0 0 1 1 0 0	Länge des Adressfeldes (Rufnummer)
1	0 1 0 0 0 0 1	Typ der Rufnummer, Nummernplan
0	0 0 1 1 0 0 0 0	Rufnummer, IA5-Zeichen (ASCII)
8	0 0 1 1 1 0 0 0	
1	0 0 1 1 0 0 0 1	

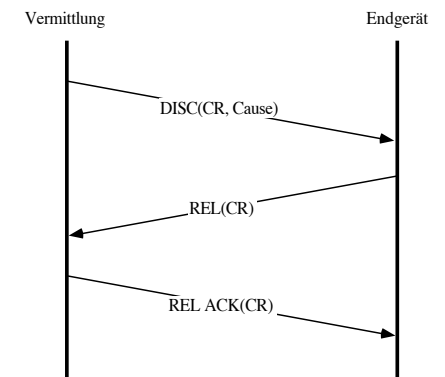
• Funktionale Signalisierung

- Remote Procedure Call
- besondere Pakete oder huckepack
- Prozedur (Facility(X)):
 - Leistungsmerkmal X ausführen
 - ← Leistungsmerkmal X (nicht)ausgeführt

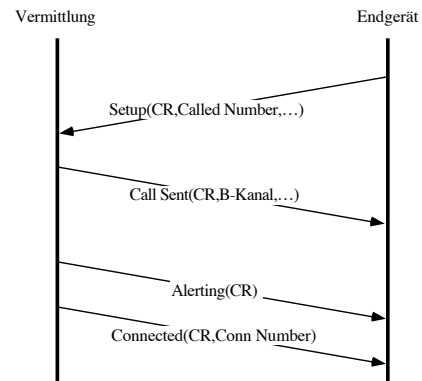
• 1TR6; DKZ-N1; NT BCS 29; 5E6 (; VN2)

• Einfaches Beispiel:

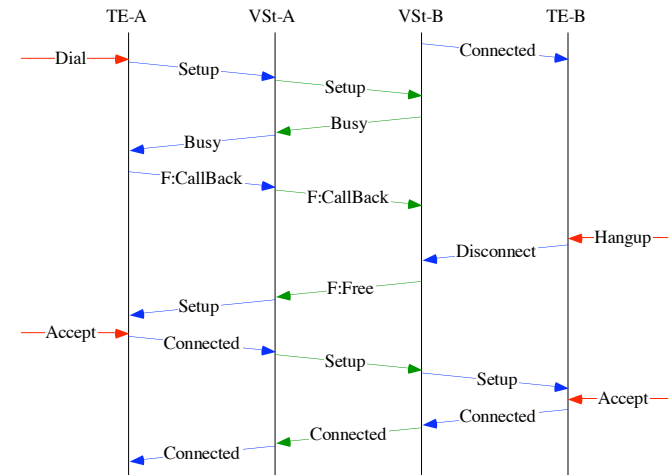
- Verbindungsabbau durch Netz



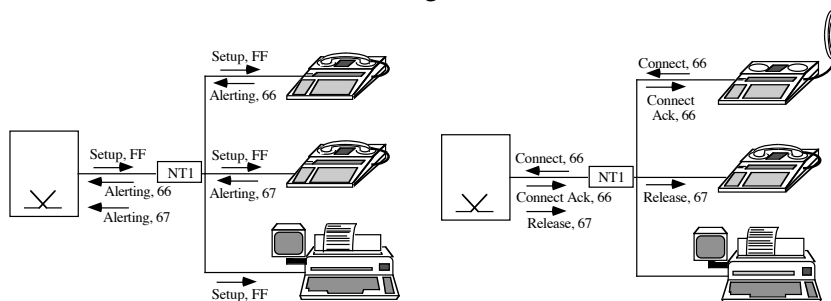
- Mittleres Beispiel:
 - Verbindungsaufbau durch Endgerät



- Feature Rückruf bei besetzt

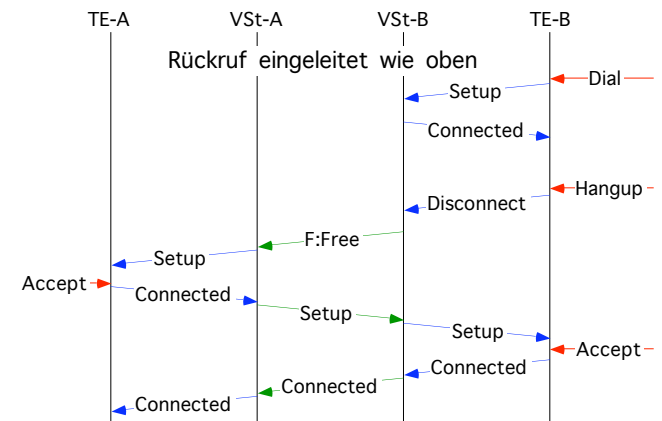


- Komplexes Beispiel: Verbindungsaufbau vom Netz
 - mehrere Geräte am Bus
 - Anbieten der 'kommenden Belegung'
 - Prüfen des Dienstes in den Endgeräten

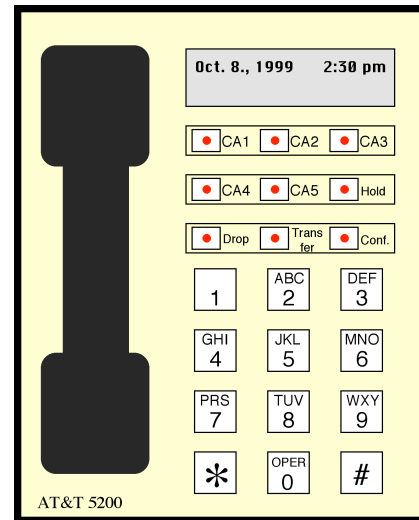


- Annahme des Rufes
- Rücknahme des Angebotes

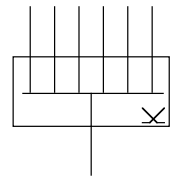
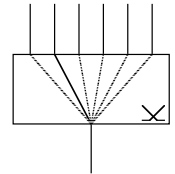
- Feature: Rückruf bei frei



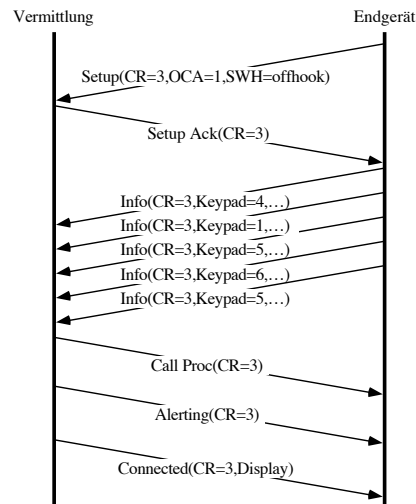
- Stimulus Signalisierung
 - Terminalbetrieb
 - Digital Centrex
 - AT&T, NT
- Prozedur für LM
 - INFO-Pakete oder huckepack.
 - > Knopf gedrückt (Info FA=Button 12)
 - < Lampe einschalten (Info FI=LED 12)
- Terminal Management
 - Call Appearance
 - BNx := CAy aktivieren
 - LEDx := CAy aktiv
 - Feature Activator und Feature Indicator
 - FAz := Transfer
 - FIz := Transfer aktiv
- Bsp: Telefon mit 9 Knöpfen
 - 5 Verbindungen (CAs)
 - 4 Features



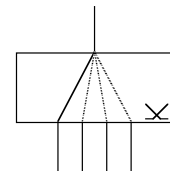
- Verbindungsbezogene LM
- Verbindungsaufbauphase
 - Rückruf
 - Ring Again
 - Anruferidentifizierung (ICLID)
- Asynchronous Multipoint ("Dreierverbindung")
 - Flexible Call Offering:
 - Anklopfen (call waiting)
 - bevorrechtigte Anrufe (Chefruf)
 - Halten und Wiederaufnehmen
 - Rückfrage
 - Makeln
 - Transfer
- Synchronous Multipoint
 - Konferenz
 - LAN



- z.B. Verbindungsaufbau:



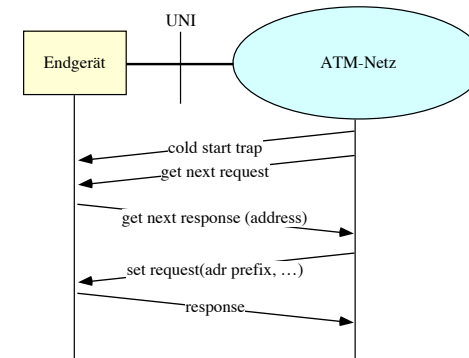
- Key-System
 - Call Pickup (Rufübernahme)
 - Call Park
 - Bridging (Aufschalten)
 - Rufübergabe (Transfer)
 - Sammelanschluß (hunt group)
- Verbindungslose LM
 - Ruhe
 - Make Set Busy
 - Rufumleitung (immer, fallweise, ...)
 - Information (Gebührenanzeige, Zeit)
 - Nachrichten
- Abfrageplatzfunktionen ...



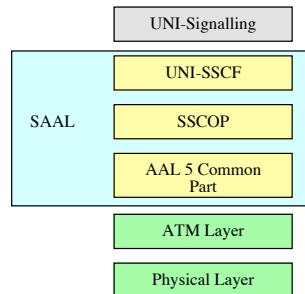
4.2 ATM-Signalisierung Q.2931 und ATM-Forum UNI

- PVC - Permanent Virtual Circuits
 - konfiguriert im Cross-Connect
 - mit Attributen cell-rate etc.
 - Änderung i.A. manuell
- SVC - Switched Virtual Circuits
 - geschaltet auf Anforderung
 - automatisch
 - Aufbau << 1 sec
- Attribute des Verbindungsaufbaus
 - Adressen (called party, calling party)
 - Verkehrscharakteristik
 - QoS
 - VPI/VCI als Antwort
- Standardisierung
 - Network Network Interface (NNI), PNNI
 - User Network Interface (UNI)
 - ATM Forum: UNI 3.0, UNI 4.0
 - ITU Q.2931

- ATM-Adressierung
 - NSAP-Verpackung
 - Domain und Authority Specification, Domain Specific Part
 - z.B. E.164 als Adresse
- Adressregistrierung basiert auf SNMP
 - UNI Management Information Base (MIB) im Endgerät
 - ILMI: Interim Local Management Interface

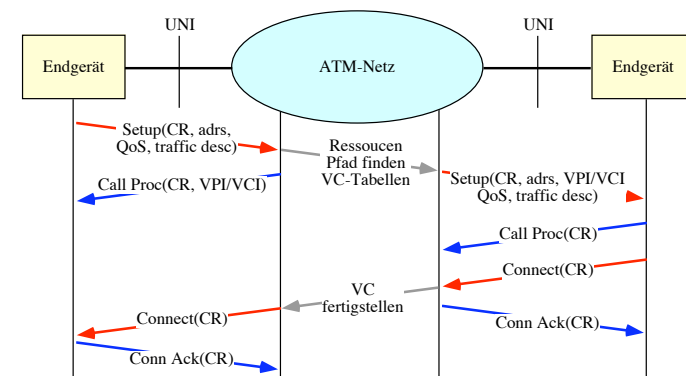


- Fundament Q.931
- Umgebung im ATM
 - SAAL: Signalling ATM Adaptation Layer (AAL 5)
 - Service Specific Coordination Function (SSCF)
 - Service Specific Connection-Oriented Protocol (SSCOP)
 - SSCOP: zuverlässige Übertragung (LAP-D Ersatz, entfernt ähnlich)



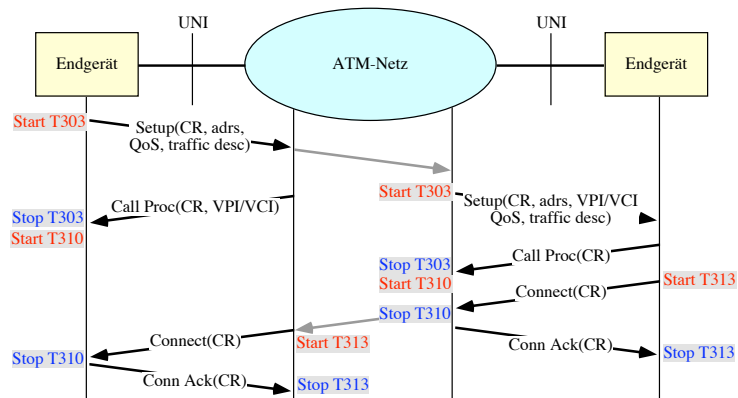
- Signalisierung mit VPI = 0 und VCI = 5

- Setup-Prozedur ähnlich ISDN
 - VPI/VCI statt B-Kanal-Identifikation
 - QoS und traffic descriptor statt Bearer Capabilities
 -



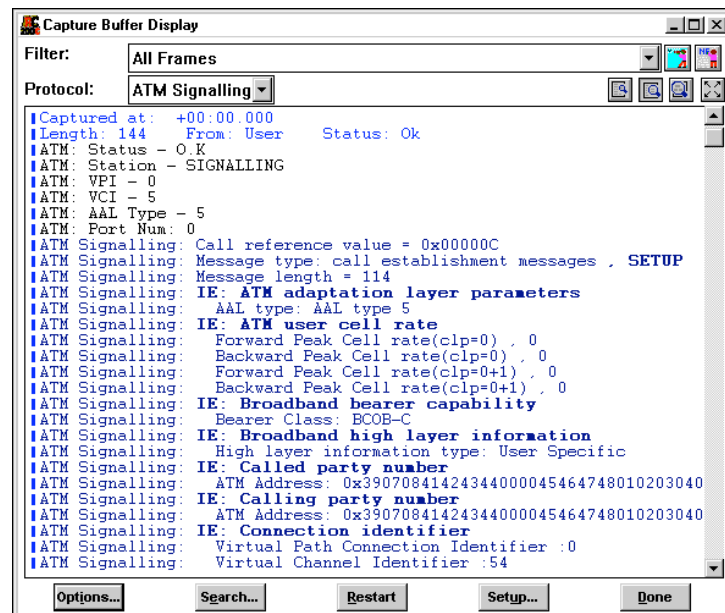
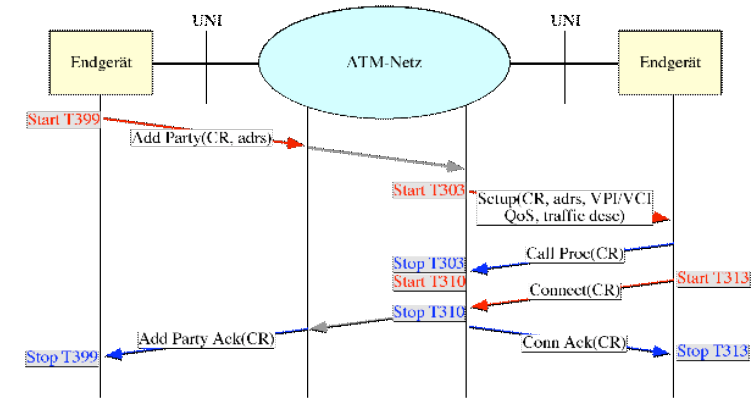
- Verbindungsabbau wie Q.931

- Überwachung durch Timer



- Mehrpunktopologien

- basiert auf Punkt-zu-Punkt Verbindung
- add party, auch für mehrere Teilnehmer
- drop party



- Modifizierte Informations Elemente (Broadband ...)

- Bearer capability (delay, CBR, VBR, ...)
- higher und lower layer compatibility
- repeat indicator

- AAL-Parameter (neu)

- Typ: 1, 3/4, 5
- circuit emulation, high quality audio, video, ...
- maximale SDU-Größe (AAL 3/4)
- CBR: 64 kbit/s, DS1, E1, n*64, ...)
- AAL 5 mode: message oder streaming
- clock und error recovery für AAL 1

- ATM user traffic descriptor

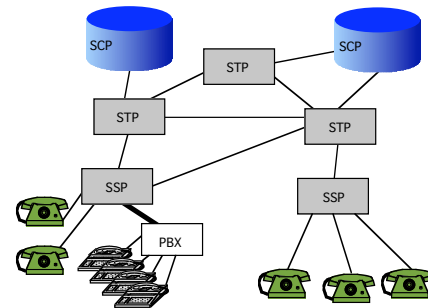
- peak cell rate (forward und backward)
- sustainable cell rate (forward und backward)
- maximum burst size (forward und backward)

- QoS-Parameter: CBR, VBR, ABR, unrestricted

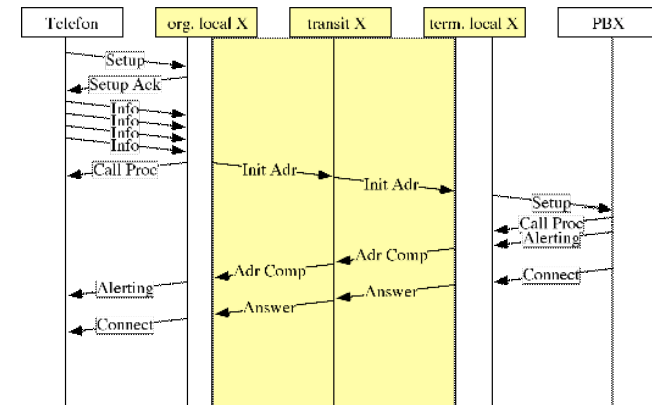
- Connection Identifier: VPI/VCI

4.3 Signalisierungssystem 7 (SS#7)

- Common Signalling Channel
 - getrennt vom Medienstrom-Netz
 - 56 oder 64 kbit/s Links
- Verbindungskontrolle im Netzwerk
 - Vermittlungen und Netzwerke
 - GSM-ISDN, GSM-GSM, ...
- Service Switching Point (SSP)
 - Vermittlung
 - Netz-Übergabepunkte
 - verstecken Endgeräte
- Service Control Point (SCP)
 - Rufbewertung
 - Wegfindung
 - Management des Verbindungsaufbaus
 - Prozeduren und Datenbank (VLR, HLR)
- Signalling Transfer Point
 - Router zwischen SCPs und SSPs

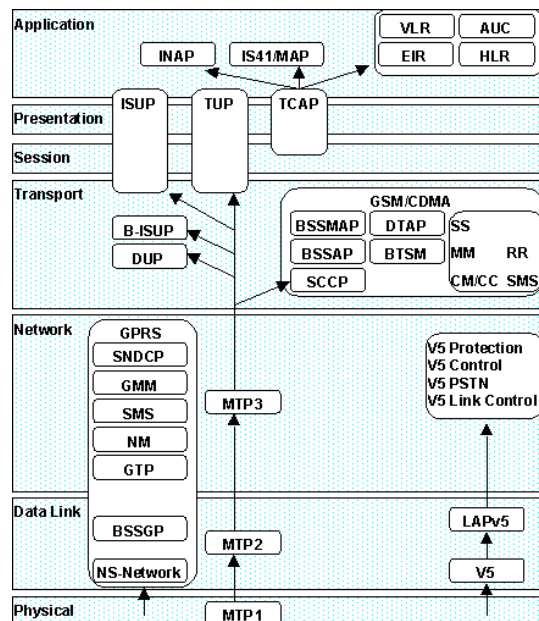


• ISDN User Part



- Call Routing aus Datenbankabfrage
- local exchanges und transit exchanges sind SSPs
- IAM: Nummer bewerten, nächste SSP suchen, reservieren
- ACM: Kanal durchschalten

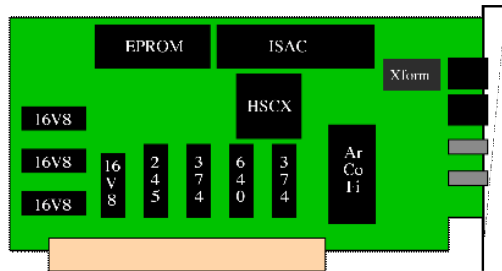
- Message Transfer Part
 - MTP2/Q.703
 - entfernt HDLC ähnlich
 - MTP3/Q.704, Routing
- SCCP
 - Signalling Conn. Control
 - => OSI Schicht 3
- User Parts
 - Verbindungssteuerung
 - Pfade finden
 - Leitungen zuordnen
- ISDN User Part
- Mobile Application Part
 - MAP
 - IS-41 and GSM
 - MSC-VLR fragt HLR
 - Authentisierung
 - Geräte-Identifikation
 - Roaming



- Initial Address Message
 - called und calling party number
 - forward call indicator
 - nature of connection, user service
- Address Complete Message
 - charge indicator
 - called party status and category indicators (besetzt ...)
 - echo control indicator
 - interworking, holding, ...
- Address Complete Message
 - backward call indicator
 - access und network transport
 - call reference
 - notification indicator

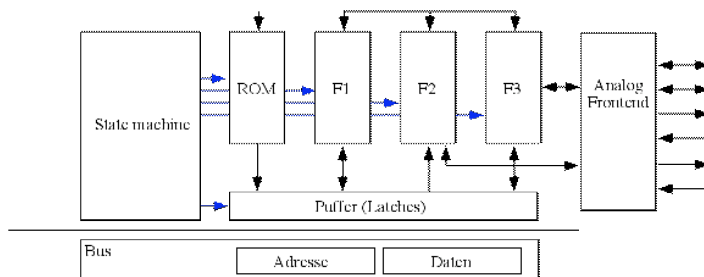
5.1 Hardware

- Stecker zum Bus, Netzwerkstecker
- Chips

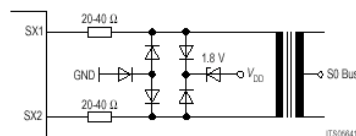


- Funktionen -> Bauteile
- Schaltplan mit Zeitdiagrammen
- Platzieren + Routing der Leiterbahnen (Entflechten)
- Gerber-Plots -> Platine ätzen

- Busphasen, Adressdekodierung (state machine)
- Puffer
- Register
- Identifizierung



- elektrische Entkopplung
- Transformatoren, Optokoppler
- Taktsynchronisation



- Protokollelemente: CRC, HDLC, Adressvergleich, ...
- ISDN: ISAC, HSCX, ...
- Ethernet: NIC, STNIC, ...
- Codec

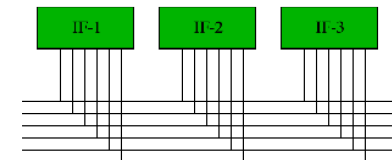
- dual-port, meist statisch
- 16/32 KBytes

- Identifikation
- Register-Adressen
- Boot-Treiber
- Treiber (-> EPROM, Flash-ROM)

- 8051
- DSP

- DAC, ADC
- Radio Frequency, ...

- Adressbus und Datenbus oft 'gemultiplext'
- Steuerleitungen: Adress-Strobe, DataStrobe
- Clock
- Card-Select



- entkoppeln Bustakt und Adapter-Takt
- evtl. bidirektional
- Bustreiber: active-high, active-low, offen

- Chipselect (C/S) erzeugen
- Adress-Dekodierung für Datenpuffer
- Adress-Dekodierung für Chip
- niedrige Adressbits zur Registerauswahl

- Programmable Logic

- z.B. GAL 16V8, 22V10, ...
- Eingabe-Pins und Ausgabe-Pins
- manche mit Flip-Flops
- Und, Oder, Not
- Entwicklungssysteme (Abel, ...)

```
U2 device 'P16L8';
/** Inputs **/
NA24 Pin 1 ; /* address bus */
NA25 Pin 2 ; /* */
NA26 Pin 3 ; /* */
NA27 Pin 4 ; /* */
NA28 Pin 5 ; /* */
NA29 Pin 6 ; /* */
NA30 Pin 7 ; /* */
NA31 Pin 8 ; /* */
NID0 Pin 9 ; /* ID from NUBUS */
NID1 Pin 11 ;
NID2 Pin 16 ;
NID3 Pin 17 ;
NSTART Pin 18 ; /* not used here */

/** Outputs **/
NMYSLOT Pin 13 ;
NMYSUPER Pin 14 ;
```

Equations;

```
/* only slots 9..14 in Macintosh */
```

```
!NMYSLOT =
  NA24 & NA25 & !NA26 & !NA27 & !NA28 & !NA29 & !NA30 & !NA31
  & NID0 & NID1 & NID2 & NID3
  # NA24 & !NA25 & NA26 & !NA27 & !NA28 & !NA29 & !NA30 & !NA31
  & NID0 & !NID1 & NID2 & !NID3
  # NA24 & !NA25 & !NA26 & !NA27 & !NA28 & !NA29 & !NA30 & !NA31
  & NID0 & !NID1 & !NID2 & !NID3
  # !NA24 & !NA25 & NA26 & !NA27 & !NA28 & !NA29 & !NA30 & !NA31
  & !NID0 & !NID1 & NID2 & !NID3
  # !NA24 & NA25 & NA26 & !NA27 & !NA28 & !NA29 & !NA30 & !NA31
  & !NID0 & NID1 & NID2 & !NID3
  # !NA24 & NA25 & !NA26 & !NA27 & !NA28 & !NA29 & !NA30 & !NA31
  & !NID0 & NID1 & !NID2 & !NID3;
```

- Not NotMYSLOT

- (Adresse = FN XX XX XX) AND (ID=N)
- ID konstant
- egal in welchen Slot die Karte gesteckt wurde
- negative inputs, um Inverter zu sparen

- Weitere PALs für ChipSelect

```
!NROMCS = !NSLOT & !NA16 & !NA15; /* ROM must be at top */
```

- Byte-Lane 1

- Daten und Adressen für ISDN-Chips
- Register-Record

```
RDKRecord = { describes the addresses in our NuBus-Slot }
RECORD CASE integer OF
  0: { chipregister, read mode }
  1: { chipregister, write mode }
    ( wfifo : Register; { $00..$03 }
      wfifoest: Blk124; { $04..$1F }
      mask, cmdr, wmode, tim, { $20..$23 }
      xad1, xad2, sap1, sap2, { $24..$27 }
      tei1, tei2, a2a, a2b, { $28..$2b }
      ...
      wadf1, wadf2, mocr, sqxr { $38..$3B } : Register );
END { RDKRecord };

...
slotptr := RDKPtr(LHandle^.dCtlDevBase); (* base address of slot *)
WITH slotPtr^ DO BEGIN
  mask.1 := $FF;
  adf2.1 := $80; {IOM2}
  ...
  cmdr.1 := $41; {reset xmit, recv, XME, XTF}
  sap1.1 := $00; {SAPI 0, CRI = 0}
  sap2.1 := $FE; {SAPI 63, modulo 128}
  tei1.1 := $41; {my preliminary TEI = 32, auto-TEI}
  tei2.1 := $FF; {group tei}
```

- Chipselect

- A14, A15, A15

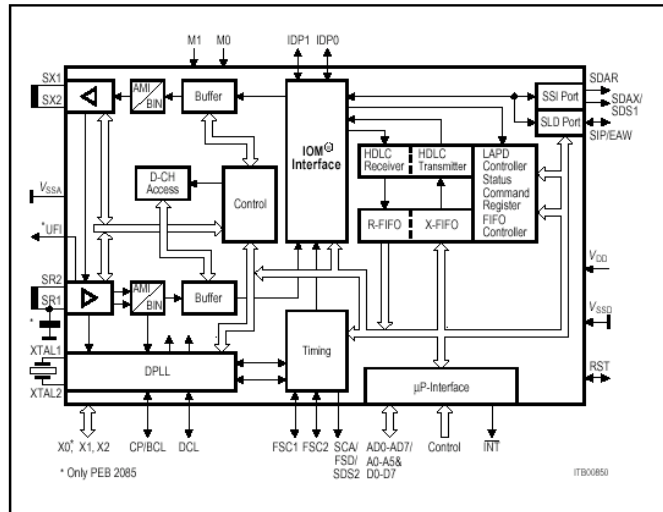
```
!NISAC = NA15 & NA16 & !NSLOT;
!NHSCX = !NA15 & NA16 & !NSLOT;
!NROMCS = !NSLOT & !NA16 & !NA15;
!NINTENB = !NSLOT & !NA16 & NA15 & !NA14 & NRESET
/* ISAC : Fss00000 .. Fss07fff */
/* HSCX : Fss08000 .. Fss0ffff */
/* DisInt: Fss10000 .. Fss13fff */
/* EnaInt: Fss14000 .. Fss17fff */
/* ROMCS : Fss18000 .. Fss1ffff */
```

- Bus-Interface

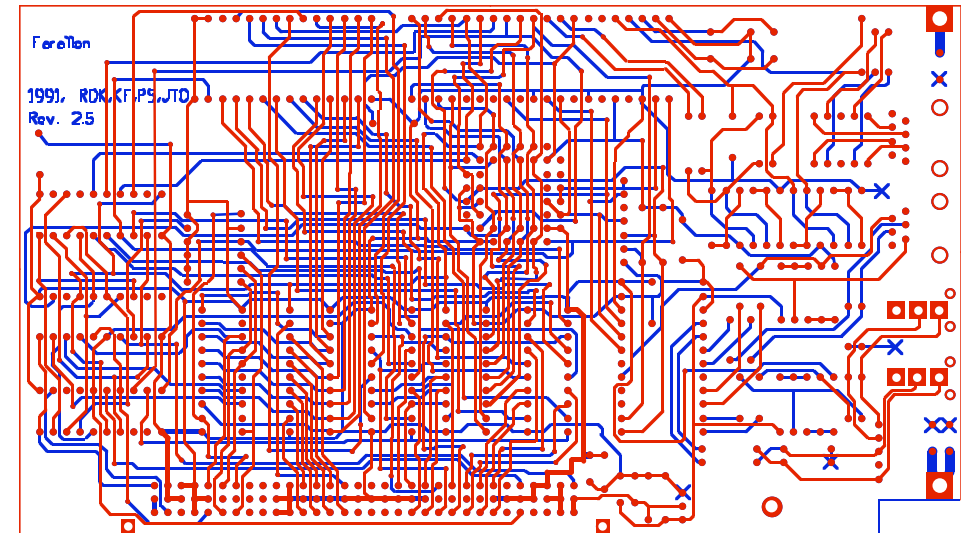
- Timing kritisch
- Adressvergabe, SlotID
- elektrische Last
- Leitungslänge auf der Platine (PCI!)
- invertierte Logik (ROM := !code)
- wann wird boot-ROM gelesen?
- wann wird boot-code ausgeführt?

- Funktionschips

- Kontrolregister, Datenregister, Statusregister
- ISAC-S

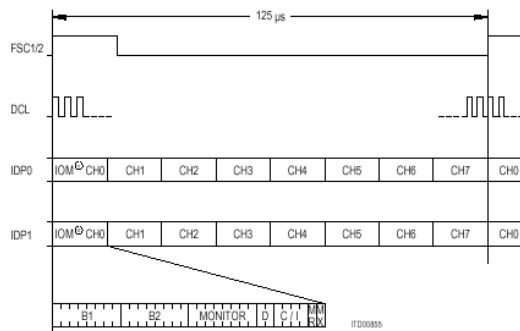


- Layout



- IOM-Bus (Siemens)

- seriell
- B, D Kanäle, Status, ...
- verbindet ISDN-Chips



5.2 Device Driver

- Programmierinterface

- verbirgt Adressen und Register
- Send, Receive
- Open, Close
- Status
- Control

- ISDN-Treiber

```
...
iCSnewadr:      adres := NewISDNAdr(namestr^, addtype);
iCSdispadr:     DisposeISDNAdr(disAdr, theGlobPtr);
iCSconnect:     pbres := Connect(pbdest, pborg, pbfac, pbtheServ, pbcall, pbauto, pbsnd,
                                pbtimeout, pbid, theGlobPtr);
iCSdisconn:     pbres:=Disconnect(pbcall, grund, theGlobPtr);
...
iCSopenAPCM:    pbres:=APCMOpen(scpproc, pbid, pbServs, appA5, theGlobPtr);
iCScloseAPCM:   APCMClose(theGlobPtr, pbid);
iCSxfer:        pbres:=Transfer(pbcall, otherCall, xwhen, xcancel, newdest, xcallids,
                                xtimeout, theGlobPtr);
...
```

- OpenAPCM -> Initialisieren

- Software, Hardware, Register, ...

• Interrupthandler

```

PROCEDURE IntServer;
var intsrc, exisrc : SignedByte;
    commVar : CommPtr;
BEGIN
    commVar := GetA1;
    WITH commVar^ DO BEGIN {handle multiple simultaneous ints => no CASE}
        {first check HSCX - channel b status reg also indicates other regs to check}
        intsrc := hscx^[1].ista.1;
        IF intsrc <> 0 THEN BEGIN
            ...
        END;
        intsrc := slotptr^.ista.1; {now check ICC -> D-channel}
        IF intsrc <> 0 THEN BEGIN
            IF BTST(intsrc,SIN) THEN slotptr^.stcr.1:=$03; {ack SYN interrupts}
            IF BTST(intsrc,RME) THEN ReadPack(complete, CommVar); {receive msg end}
            IF BTST(intsrc,RPF) THEN ReadPack(incomplete, CommVar); {recv pool full}
            IF BTST(intsrc,TIN) THEN BEGIN {timer 200}
                slotptr^.tim.1 := timval;
                IF L2State=MFrameEst THEN L2_Establish(CommVar);
            END;
            IF BTST(intsrc,XPR) THEN XmitRest(CommVar,TRUE); {xmit pool ready}
            IF BTST(intsrc,CIC) THEN SBCChange(CommVar); {C/I channel change}
            IF BTST(intsrc,EXI) THEN BEGIN {extended interrupt}
                ...
            END END END {with, intsrc, EXI}
        END {IntServer};
    END

```

• D-Kanal-Paket lesen

```

PROCEDURE ReadIField(commVar : CommPtr; compl : BOOLEAN);
VAR j, cnt : INTEGER;
BEGIN
    WITH commvar^ DO BEGIN
        IF PackCompl THEN {last packet received complete, new packet}
            REPEAT {look for empty buffer}
                currpac := BAND(currpack+1,bufsize);
            UNTIL drvrglobs^.buffer[currpac].Length=0;
        WITH slotPtr^, drvrglobs^.buffer[currpac] DO BEGIN {Read it}
            cnt := BAND(rfbc.1,31); IF cnt = 0 THEN cnt:=32;
            IF Length < 4 THEN BEGIN
                ProtDisc:=rfifo.1;
                CRhigh:=rfifo.1; CR:=0; cnt:=cnt-2;
                FOR j:= 1 TO CRhigh DO BEGIN CR := BSL(CR,8)+rfifo.1; cnt := cnt-1 END;
                Message:=rfifo.1; cnt:=cnt-1;
                histStr[3] := Chr(Message);
                Length := 4;
            END {then};
            WHILE cnt > 0 DO BEGIN
                Data[Length-4]:=rfifo.1;
                Length := Length+1; cnt := cnt-1;
            END {while};
            cmdr.1:=$80; {Ack frame}
            IF compl THEN Call(currpack,drvrglobs,ClientComplete); {jump to Layer 3}
        END END END {with, with, ReadIField};
    END

```

```

PROCEDURE ReadPack(compl : BOOLEAN; commVar : CommPtr);
BEGIN
    WITH commVar^, slotPtr^ DO BEGIN
        IF BAND(rsta.1,$70) <> $20 THEN DiscardRest(commVar) {error: CRC, overflow, ...}
        ELSE {no error}
            IF PackCompl THEN {new packet, decode LAP-D controlfield}
                IF NOT BTST(rhcr.1,0) THEN ReadIField(commVar, compl) {I-Frame}
                ELSE CASE BAND(rhcr.1,$EF) OF
                    Uiframe      : ReadIField(commVar, compl);
                    SABMEframe   : SABMEin(commVar);
                    DMframe      : DMin(commVar);
                    DISCframe    : DISCin(commVar);
                    UAframe      : UAin(commVar);
                    FRMRframe    : cmdr.1:=$80; {Ack frame; more later?};
                    OTHERWISE cmdr.1:=$80; {XID? Ack frame}
                END {case}
            ELSE ReadIField(commVar, compl){XID???};
            PackCompl := compl;
        END END {with, ReadPack};
    END

```

5.3 Protokollimplementierung

• Statemachine

```

PROCEDURE ComingPacket(thePack : PackInx; globs : GlobPtr);
VAR i : INTEGER;
    found : BOOLEAN;
BEGIN
    WITH globs^, L3GlobPtr(globs^.L3globs)^ DO BEGIN
        IF buffer[thePack].ProtDisc = ProtId THEN
            CASE buffer[thePack].Message OF
                M_NAT      : NetworkMsg(thePack, globs);
                M_ALERT    : {we already know that};
                M_DISC     : comingDisc(thePack, globs);
                M_SETUP    : comingSetup(thePack, globs);
                M_INFO     : comingInfo(thePack, globs);
                M_STAT_INQ : reportstat(thePack, globs);
                M_REL      : comingRel(thePack, globs);
                M_PROG     : comingProg(thePack, globs);
                M_REL_ACK  : BEGIN
                    DisposeConnRef(globs, buffer[thePack].CR);
                    DisposeInPack(thePack, globs)
                END;
                OTHERWISE ErrorHndler(thePack, globs)
            END {case}
        ELSE {unknown protocol}
            ErrorHandler(thePack, globs);
        END END {with, ComingPacket};
    END

```

```

PROCEDURE comingSetup(thePack : PackInx; globs: GlobPtr);      {ConnRefs and isdnCRs OP}
VAR AlertPack : L3Pack;
    Facs : FacHdl;
    action : InqRes;
    theCall : ConnRef;
BEGIN
IF globs^.buffer[thePack].CR < 0 THEN {ignore if my own CR}
WITH globs^.buffer[thePack] DO BEGIN
theCall:= GetConnRef(globs);
WITH L3GlobPtr(globs^.L3Globs)^ DO BEGIN
isdnCRs[CR].call:=theCall;
isdnCRs[CR].used:=TRUE;
isdnCRs[CR].state:=CSReceived; { update state }
ConnRefs[theCall].BChannel:= Channelid(thePack,globs);
...
CollectFac(Facs,thePack,globs);
action:=Inquiry(theCall,...,permAdr,globs); { ask application what to do }
END {with};
CASE action OF
    StartAlert : BEGIN
        ClearL3Pack(AlertPack,ProtId,M_ALERT,CR); {incoming Call}
        IF XmitL3Pack(AlertPack,globs) THEN ; END;
        Accept : IF TrueConnect(CR,...,NIL,globs) THEN DeAlert(theCall,PickedUp,globs);
    END END {with, case};
ELSE WITH globs^.buffer[thePack] DO BEGIN
    ClearL3Pack(AlertPack, ProtId, M_REL_ACK, CR);
    AlertPack.cause[1]:= 2; AlertPack.cause[3]:= InvCR;
    IF XmitL3Pack(AlertPack,globs) THEN ;
    Errorhandler(thePack,globs);
END END {with, comingSetup};

```

```

FUNCTION setup(Facs : FacHdl; dest, org : ISDNAdrHdl; theServ : Service;
VAR SetupPack
    : L3Pack;
    answer : PackInx;
    myCR : SignedByte;
BEGIN
    setup:=-128;
    myCR:= findCR(globs);
    L3GlobPtr(globs^.L3Globs)^.isdnCRs[myCR].call:=theCall;
    L3GlobPtr(globs^.L3Globs)^.ConnRefs[theCall].trueCR:=myCR;
    ClearL3Pack(SetupPack, ProtId,M_SETUP, myCR);
    WITH SetupPack DO BEGIN
        Channelid[1] := 1;
        Channelid[2] := Channelid[2]+3;{ bevorzugt beliebig }
        OrigAddress := org; OrigSubAdr := NIL; { EAZ, später myEAZ? }
        DestAddress := dest; DestSubAdr := NIL;
        BearCap:=theServ.stype;
        IF (theServ.stype= data128) THEN BEGIN
            LLComp[1]:=2; LLComp[2]:=$88; LLComp[3]:=Data128;
        END;
    END { with };
    IF XmitL3Pack(SetupPack,globs) THEN BEGIN
        setup:=noErr;
        L3GlobPtr(globs^.L3Globs)^.isdnCRs[myCR].state:=CSCallInit;
        asyncwait([M_CALL_SENT,M_SETUP_ACK,M_DISC,M_REL_ACK],
            myCR,@CompleteSetup,T303,globs);
    END {then}
    ELSE BEGIN
        delCR(globs,myCR); setup:=NoLink;
    END END {else, setup};

```