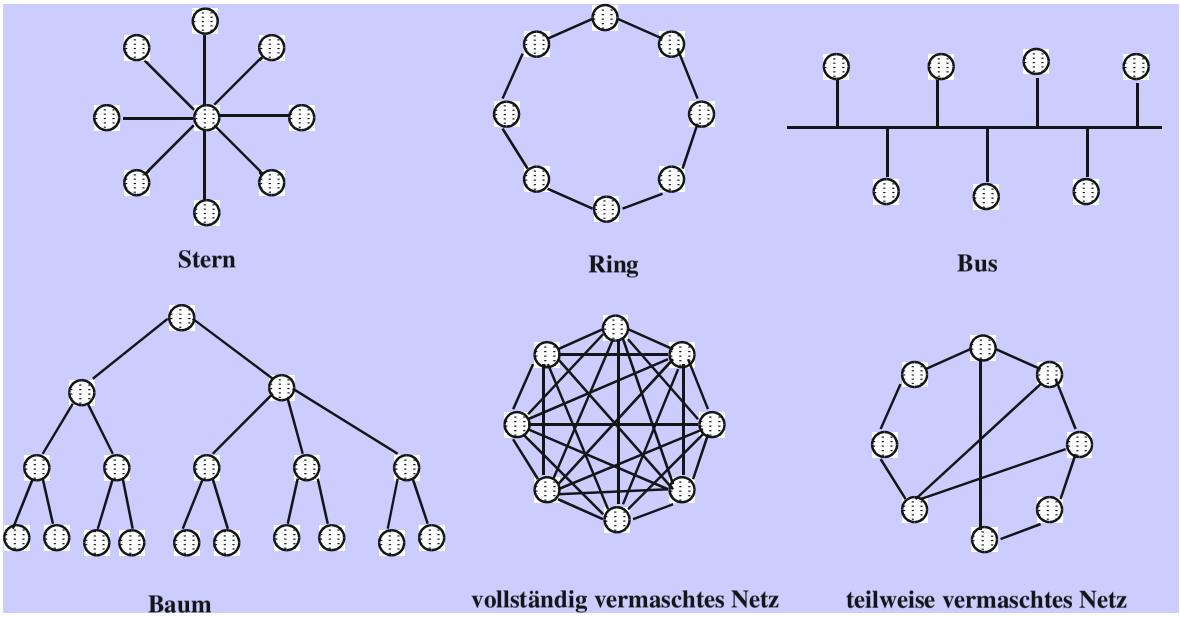
2.4 Physikalische Medien

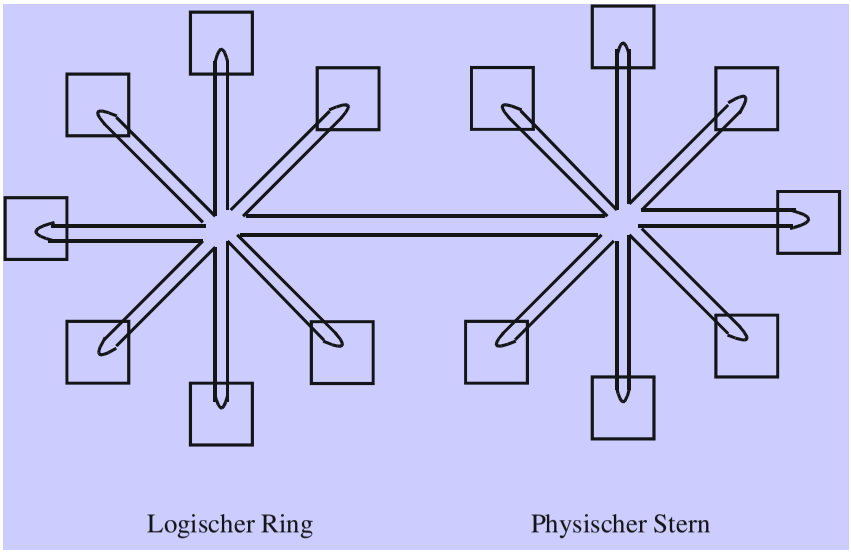
- Netztopologien
- Kupferkabel
  - als verdrillte Adern („twisted pair“)
  - als Koaxialkabel
- Glasfaserkabel
- Funk
  - Satellitenkommunikation
  - Mobilfunk
  - Wireless LAN (802.11, BlueTooth)

Netztopologien



Strukturierte Verkabelung

Möglichkeiten einer Ringverkabelung



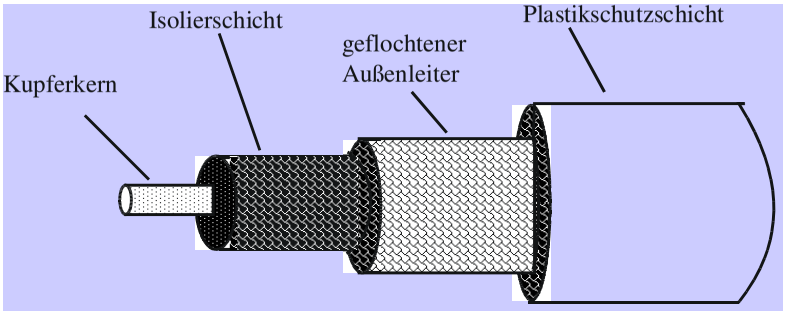
Physikalische Medien

- Adernpaar (verdrillt zur Verminderung von Störeinflüssen, deshalb "**twisted pair**"). Dies ist die klassische Telefonverkabelung. Trägt wenig auf, enge Biegungsradien, sehr preiswert.
- Adernpaar, verdrillt, abgeschirmt ("**shielded twisted pair**"). Weniger anfällig bezüglich der Einkopplung von Störfrequenzen/Störströmen von außen. Trägt stärker auf als "unshielded twisted pair", teurer.
- **Koaxialkabel**: sehr störsicher, ermöglicht sehr hohe Übertragungsraten. Teurer. Weit verbreitet, zum Beispiel für die Ethernet-Verkabelung.
- **Lichtwellenleiter** (Glasfaser): sehr hohe Übertragungsraten, geringe Dämpfungen und Störeinkopplungen, aber aufwendige Verbindungs- und Anschlusstechnik, teuer.

Koaxialkabel für Ethernet

Das „klassische“ Bus-Kabel aus dem ursprünglichen Standard

- 50 Ohm Koaxialkabel
- Maximale Kabellänge: 500m
- Maximal 100 Transceiver (Anschlüsse von Stationen) pro Segment
- Maximal vier Repeater zwischen Sender und Empfänger
- Der Abstand zwischen den Anschlüssen muss ein Vielfaches von 2,5 m sein.
- Datenrate: 10 Mbit/s



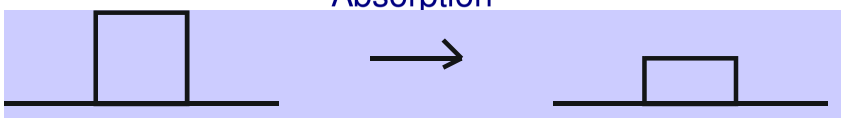
Glasfaserkabel

Sehr hohe Datenraten!

- Theoretisches Limit: 300 TeraHz
- Praktisches Limit: ca. 10 GigaHz
- Transmitter und Receiver: Halbleiterelemente

Beschränkende Faktoren:

Absorption

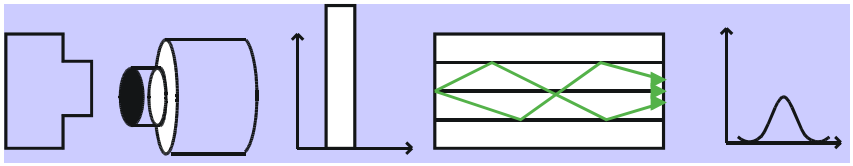


Dispersion

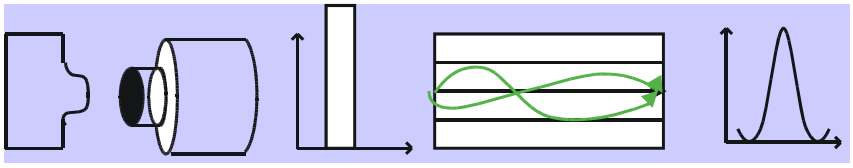
Verbindungstechnik schwierig: nur 5 µm - 50 µm Durchmesser

Technologie der Lichtwellenleiter

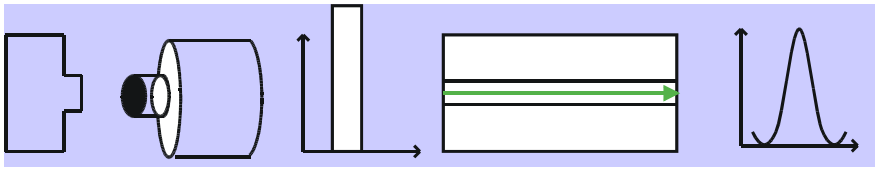
Stufenindex-Faser



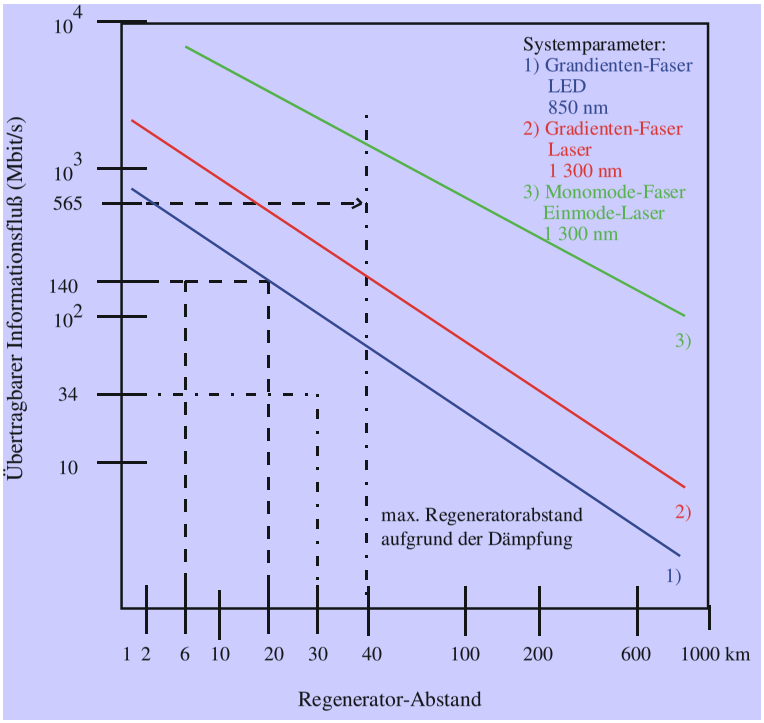
Gradientenindex-Faser



Monomode-Faser



Glasfaser



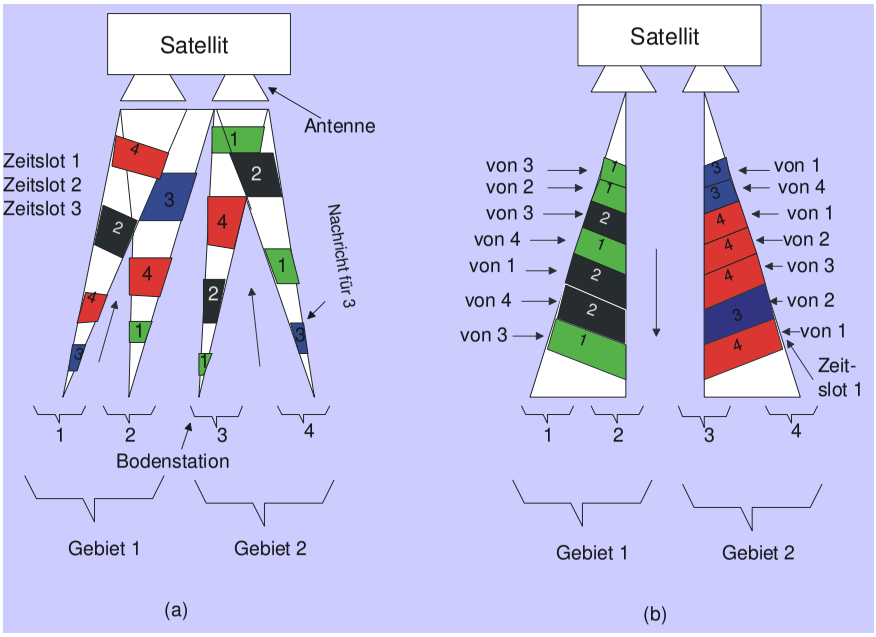
Satellitenkommunikation

- Hohe Bandbreite
- Rundspruchnetz (Sicherheitsprobleme)
- Lange Verzögerung
  - Für Erdstationen mit festen Antennen ist ein geosynchroner Orbit notwendig.
  - Dieser liegt auf einer Höhe von 36,000 km.
  - Dies ergibt eine Verzögerung von 270 ms (hin zum Satelliten und zurück).
  - Die lange Verzögerung beeinflusst die Protokolle der höheren Schichten!
- **Beispiel INTELSAT**
  - 794 PCM Simplexkanäle, jeder 64 kbit/s, zusätzlich ein Signalisierungskanal mit 128 kbit/s
  - Multiplexing mit FDM
  - Je ein Paar Simplexkanäle bildet einen Duplexkanal.

Satellitennetze

- Satellitennetze sind wie Bus- und Ringnetze Rundspruchnetze (Broadcast-Netze).
- Der Satellit ist dabei eine logisch passive Verstärkerstation. Die Signale von der sendenden Erdstation werden dabei auf eine andere Frequenz umgesetzt und wieder ausgesendet.
- Eine sendende Erdstation kann durch die verschiedenen Sende- und Empfangsfrequenzen des Satelliten sofort feststellen, ob ein Datenpaket gestört wurde.
- Bei Satellitennetzen wird das Problem der Kanalzuweisung durch die hohen Signallaufzeiten erschwert (bei einem Token-Mechanismus wäre der Kanal jeweils für 270 ms ungenutzt!).

Satellitenkommunikation



Innerhalb eines Sendegebietes wird Zeitmultiplexing (TDM) benutzt.

Mobilfunknetze

- Internationale Standards für den digitalen Zellfunk sind verabschiedet (z. B. GSM in Europa, UMTS in Vorbereitung)
- Starke Verbreitung für die Telefonie
- Bandbreite für die Datenkommunikation sehr niedrig (9,6 kbit/s im klassischen GSM-Standard).
  - Sie ist abhängig von der Breite des Trägerkanals.
  - Dieser muss wegen des Frequenzmultiplexings innerhalb einer Zelle sehr schmalbandig sein.
- Datenanwendungen in Mobilfunknetzen entwickeln sich rasant, insbesondere im Vorgriff auf UMTS.
- Zunehmend wird auch Funktechnik innerhalb von Gebäuden verwendet, z. B. für den Anschluss von autonomen Robotern an ein LAN oder für die Bürokommunikation von einem Meeting aus (z. B. mit Wireless LAN).

Wireless LANs

- Schnelle Verbreitung von **Wireless LANs** nach der Verabschiedung des IEEE-Standards 802.11
- Basis-Bandbreite auf der Funkstrecke: 11 Mbit/s für alle Stationen
- Der Access Point (die Basisstation) wird in der Regel an das Festnetz-LAN des Unternehmens angeschlossen.
- preisgünstige Technik, bereits sehr weit verbreitet.
- Achtung! Viele Sicherheitsprobleme durch schwache Sicherheits-Features im Standard und unvorsichtige Benutzer.

- **Bluetooth** eher für die Verbindung von peripheren Geräten an einen Rechner gedacht, um Kabelsalat zu vermeiden.
- Anzahl der Geräte in einem Segment sehr begrenzt

2.5 Beispiele: V.24, ADSL

Beispiel 1: V.24, die serielle Schnittstelle

Geltungsbereich (aus CCITT Recommendation V.24): “Diese Empfehlung bezieht sich auf die als Schnittstellenleitungen bezeichneten Verbindungsleitungen zwischen Datenendeinrichtung (DEE) und Datenübertragungseinrichtung (DÜE) zur Übertragung von binären Daten, Steuer- und Schritttaktsignalen. Diese Empfehlung erstreckt sich auch auf beide Seiten getrennter Zwischeneinrichtungen, die zwischen die Einrichtungen dieser beiden Kategorien eingefügt werden können.“

Mechanische Eigenschaften
Die mechanischen Eigenschaften der Schnittstelle sind in den Standards ISO 2110 (25-polige Steckverbindung) oder ISO 4902 (37-polige und 9-polige Steckverbindung) festgelegt.

Elektrische Eigenschaften
Die elektrischen Eigenschaften der Schnittstellenleitungen werden in den entsprechenden eigenen Empfehlungen oder - in besonderen Fällen - in den Empfehlungen für die Datenübertragungseinrichtungen (Modems) behandelt.

Funktionale Eigenschaften

1	2	3	4	5	6	7	8	9
102	Erdleitung	x						
102a	DEE-Rückleiter	x						
102b	DÜE-Rückleiter	x						
102c	GemeinsamerRückleiter							
103	Sendedaten			x				
104	Empfangsdaten		x					
105	Sendeteil einschalten					x		
106	Sendebereitschaft				x			
107	Betriebsbereitschaft				x			
108/1	Übertragungsleitung anschalten					x		
108/2	DEE* betriebsbereit					x		
109	Empfangssignalpegel				x			
110	Empfangsgüte				x			
111	Hohe Übertragungsgeschwindigkeit einschalten (DEE*)					x		
112	hohe Übertragungsgeschwindigkeit einschalten (DÜE*)				x			
113	Sendeschrittakt (DEE*)							x
114	Sendeschrittakt (DÜE*)						x	

1= Nr. der Schnittstellenleitung	6= Steuerung von der DÜE**
2= Bezeichnung der Schnittstellenleitung	7= Steuerung zur DÜE**
3= Erde	8= Schrittakt von der DÜE**
4= Daten von der DÜE**	9= Schrittakt zur DÜE**
5= Daten zur DÜE**	

Beispiel 2: ADSL

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) und die verwandten Techniken HDSL, SDSL und VDSL übertragen sehr hohe Bitraten (bis zu 8 Mbit/s) über unabgeschirmte Kupferdrähte (Telefondrähte).

Warum ist die ADSL-Technik wirtschaftlich interessant?

- Über 700 Millionen installierte Telefonanschlüsse weltweit
- 96% davon über Kupferkabel
- über 50% der gesamten Investition sind die Kabel!

=> ADSL ist eine sehr kosteneffektive Lösung, da bereits installierte Kupferkapazität ausgenutzt werden kann.

---

* Für die Überlassung seines Foliensatzes über ADSL danke ich Herrn Mathias Gabrysch, NEC C&C Research Labs, Heidelberg

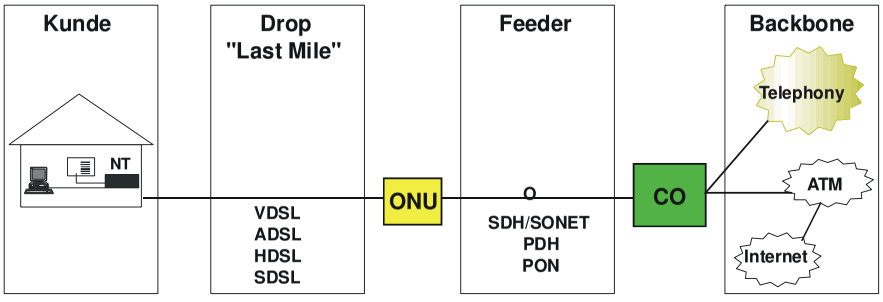
xDSL - hohe Datenraten auf Kupferkabeln

Wie sind derart hohe Datenraten möglich?

Das Signal eines klassischen Modems muss das Telefonnetz Ende-zu-Ende durchqueren, es muss sich also bei der Modulation auf den **Sprachfrequenzbereich** von 0 bis ca. 3,4 kHz beschränken.

Dem xDSL-Signal steht dagegen ein durchgehender Kupferdraht zur Verfügung, dessen Länge und Störsicherheit allerdings stark variieren kann. Es wird ein Frequenzbereich von 0 bis ca. 1,1 MHz zur Modulation ausgenutzt, wobei modernste Modulationstechniken zum Einsatz kommen.

Breitbandige Zugangsnetze



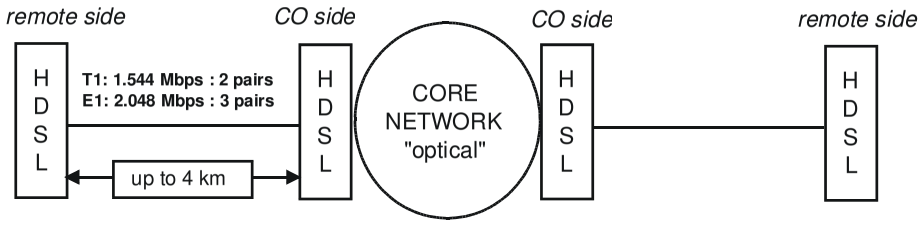
Feeder-Szenarien

- Fiber to the Building (FttB)
- Fiber to the Curb (FttC)
- Fiber to the eXchange (FttX)

ONU = Optional Network Unit

CO = Vermittlungsstelle („central office“)

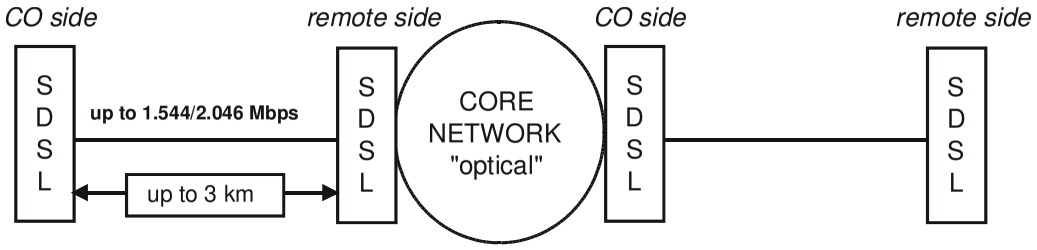
HDSL – High Data Rate Digital Subscriber Line



Hohe, symmetrische Bitraten über parallele Kupferdrähte

- entstanden als kostengünstige Technik für die Telecoms zur Realisierung von T1 oder E1 (1,5 Mbit/s oder 2 Mbit/s) über zwei bis drei Zweidrahtleitungen
- basiert auf 2B1Q (QAM, Quadrature Amplitude Modulation, 2 Bits pro Baud) oder CAP-Modulationstechniken (einer digitalen Variante von QAM)
- kein simultaner Telefondienst auf dem Kabel
- typische Anwendungen: T1 oder E1 in Gebäude, die keinen Glasfaseranschluss haben

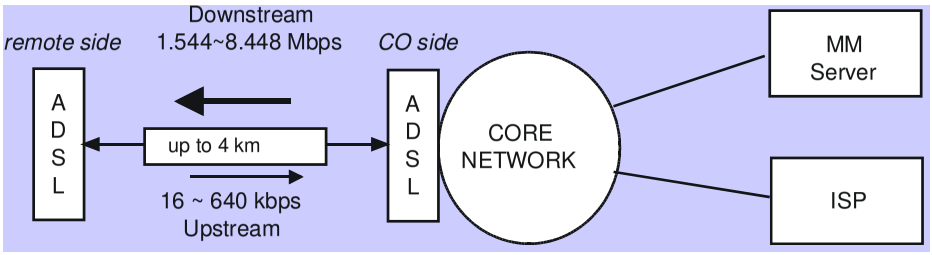
SDSL – Symmetric Digital Subscriber Line



„SINGLE LINE“-Version von HDSL (nur eine Zweidrahtleitung)

- symmetrische Bitraten
- basiert auf 2B1Q (QAM), CAP oder DMT-Modulationstechniken
- Telefondienst und T1/E1 simultan
- typische Anwendungen: wie HDSL

ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

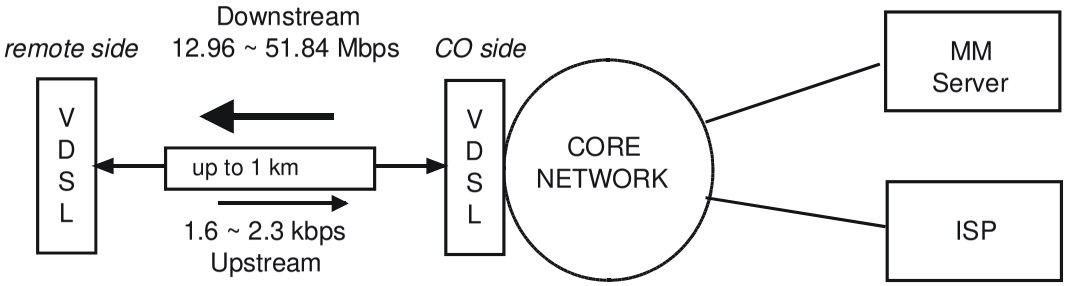


- Duplexübertragung mit fixen, asymmetrischen Datenraten über eine Kupfer-Zweidrahtleitung
- Die erreichten Übertragungsraten sind von der Entfernung und von der Leitungsqualität abhängig. **Die Adaption erfolgt automatisch**.
- Basiert auf CAP- oder DMT-Modulationstechniken
- Telefondienst und ADSL-Datendienst simultan
- Typische Anwendungen: schnelle Datenleitungen in Privathaushalte, Internet-Zugang, Fernzugang zu LANs.

ADSL: Warum asymmetrisch?

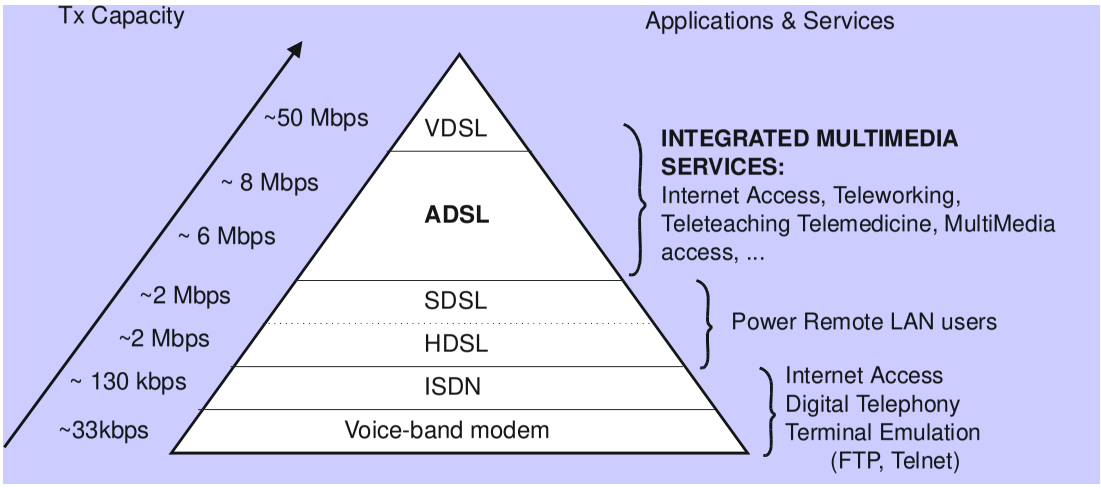
- Die Kabel-Topologie ist ein Baum.
- Die "upstream"-Signale laufen bei der Vermittlungsstelle in großer Zahl zusammen, was signifikante Störungen durch Übersprechen verursacht, wenn die Signale schon stark gedämpft sind. Dagegen laufen die "downstream"-Signale auseinander, zu getrennten Teilnehmer-Modems, wobei das Übersprechen sich wesentlich weniger auswirkt. Deshalb kann man in der "downstream"-Richtung höhere Bitraten realisieren.
- Zugleich können viele breitbandige Anwendungen mit asymmetrischen Bitraten gut leben, zum Beispiel das Browsen im Internet, Video-on-Demand usw.

VDSL – Very High Data Rate Digital Subscriber Line

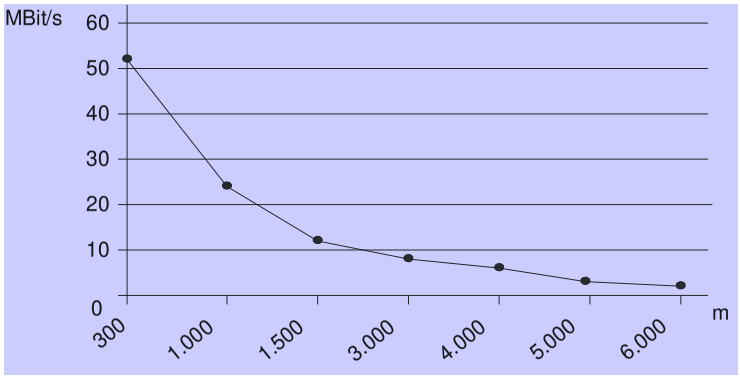


- Duplexübertragung mit fixen, asymmetrischen oder symmetrischen Datenraten über eine Zweidrahtleitung
- höhere Datenraten als ADSL, aber kürzere Kabellängen
- Telefondienst, ISDN und Datenübertragung simultan
- typische Anwendung: nächste Generation der über ADSL zur Verfügung gestellten Dienste
- noch keine Standards, zurzeit in der Diskussion und Erprobung

Übersicht über die xDSL-Techniken



Geschwindigkeit vs. Entfernung bei xDSL



Kupfer-Faktoren

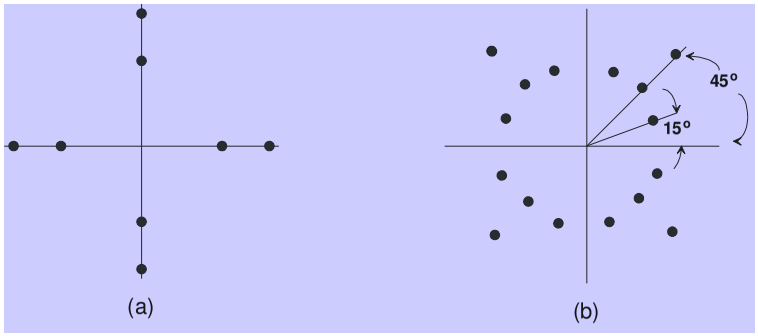
- Dämpfung frequenzabhängig
- Phasenverschiebung frequenzabhängig
- Übersprechen

Weitere Faktoren

- Impulsrauschen
- Eingekoppelte Radiofrequenzen
- Weißes Rauschen („thermal noise“)

Modulationstechniken für ADSL

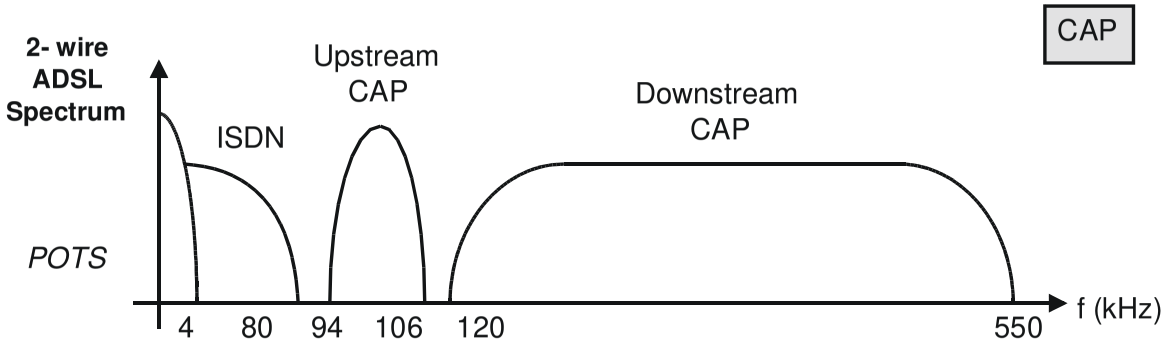
Basis: QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Dies ist eine Kombination von Amplituden- und Phasenmodulation. Jeder "Datenpunkt" im Diagramm entspricht einer Bitkombination.



a) 16 Datenpunkte, also 4 Bits pro Baud (verwendet z. B. im V.32-Modem für 2 Amplituden, 4 Phasensprungwinkel, 8 Datenpunkte, also 3 Bits pro Baud

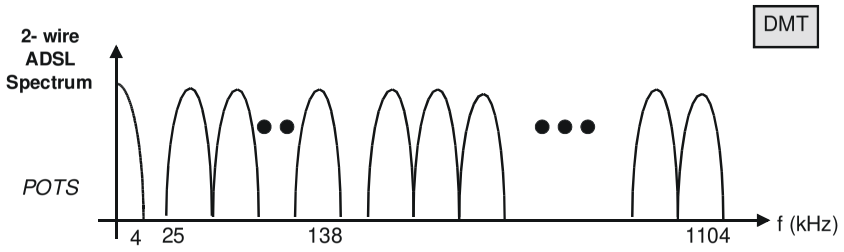
b) 9600 bit/s bei 2400 Baud)

CAP - Carrierless Amplitude/Phase Modulation



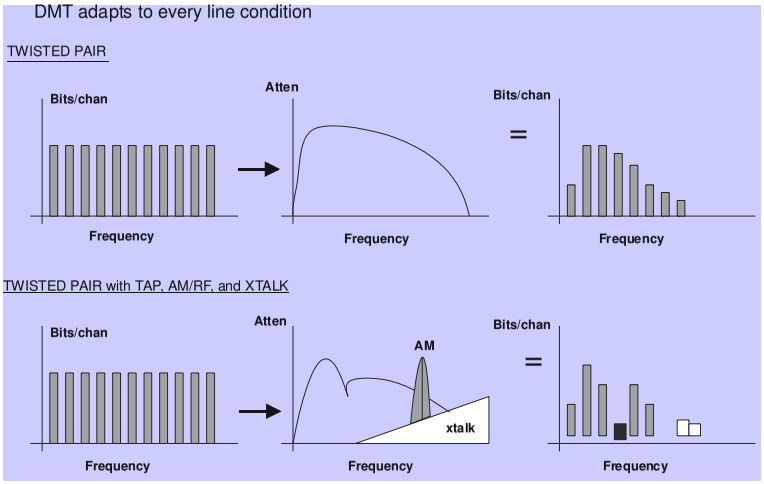
- Eine Variante der Quadrature Amplitude Modulation
- Berechnung des kombinierten Signals durch einen digitalen Signalprozessor
- Benutzung einer einzigen Trägerfrequenz
- Telefondienst und ISDN liegen unterhalb des CAP-Frequenzspektrums

DMT - Discrete Multitone Modulation



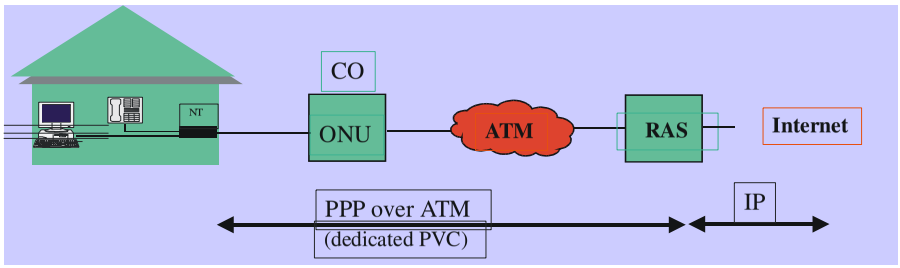
- Im Prinzip ein Freqenzmultiplexing (FDM) mit separater Bitraten-Adaption pro Trägerfrequenz
- Frequenzspektrum: 26 kHz bis 1.1 MHz ist in 256 individuelle Unter-Trägerfrequenzen unterteilt, je 4 kHz breit
- Jeder Kanal übermittelt bis zu 60 kbit/s
- Der Telefondienst bzw. ISDN-Dienst liegt unterhalb der DMT-Frequenzen für Datendienste und wird separat geführt. Ein „splitter“ an beiden Enden der Leitung fügt ihn hinzu bzw. filtert ihn wieder heraus.
- ADSL ist ein ANSI-Standard (T1.413), inzwischen auch ein europäischer ETSI-Standard.

Automatische Bitraten-Adaption bei DMT



Bei ADSL wird die Bitrate dynamisch an die Länge und die Qualität der Übertragungsstrecke angepasst. Bei der DMT-Modulation messen die Modems ständig die Übertragungsgüte **jedes einzelnen Kanals** (jeder Trägerfrequenz) und adaptieren die Bitrate gemäß den aktuellen Eigenschaften.

Protokolle in den höheren Schichten



ONU = Optical Networking Unit
CO = Central Office (Knotenvermittlungsstelle)
RAS = Remote Access Server

Internet-bezogener Verkehr bildet die Geschäftsgrundlage für breitbandige Zugangsnetze (zumindest in der nahen Zukunft). Zugang über ADSL zum Internet ist durch ähnliche Mechanismen möglich wie beim Zugang über ein Telefonmodem, also insbesondere über PPP zu einem Remote Access Server (RAS). PPP erfüllt dabei verschiedene Aufgaben, zum Beispiel dynamische Vergabe von IP-Adressen, Authorisierung usw.