



# Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme

## Kapitel 12: Bitübertragungsschicht Schnittstellen, Modem, DSL

Prof. Dr.-Ing. Georg Carle  
Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste  
Technische Universität München  
carle@net.in.tum.de  
<http://www.net.in.tum.de>



## Ziele

- In diesem Kapitel wollen wir vermitteln
  - Bedeutung ausgewählter Schnittstellen
  - Funktionsweise eines Modems
  - Funktionsweise eines Breitbandkabelnetzes
  - Funktionsweise der Datenübertragung über die Telefonleitung



## Übersicht

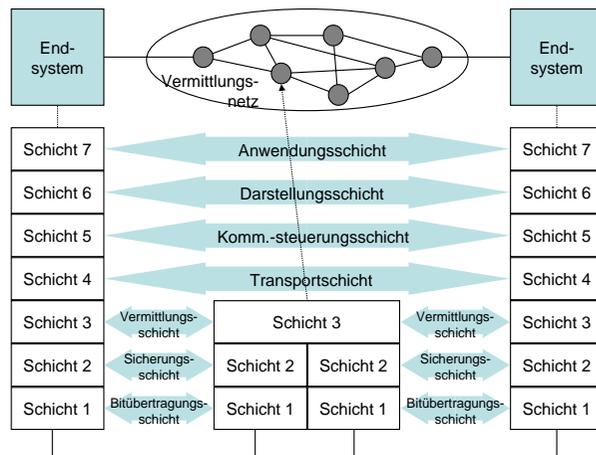
1. Einführung und Motivation
  - Bedeutung, Beispiele
2. Begriffswelt und Standards
  - Dienst, Protokoll, Standardisierung
3. Direktverbindungsnetze
  - Fehlererkennung, Protokolle
  - Ethernet
4. Vermittlung
  - Vermittlungsprinzipien
  - Wegwahlverfahren
5. Internet-Protokolle
  - IP, ARP, DHCP, ICMP
  - Routing-Protokolle
6. Transportprotokolle
  - UDP, TCP
7. Verkehrssteuerung
  - Kriterien, Mechanismen
  - Verkehrssteuerung im Internet
8. Anwendungsorientierte Protokolle und Mechanismen
  - Netzmanagement
  - DNS, SMTP, HTTP
9. Verteilte Systeme
  - Middleware
  - RPC, RMI
  - Web Services
10. Netzsicherheit
  - Kryptographische Mechanismen und Dienste
  - Protokolle mit sicheren Diensten: IPSec etc.
  - Firewalls, Intrusion Detection
11. Nachrichtentechnik
  - Daten, Signal, Medien, Physik
12. **Bitübertragungsschicht**
  - **Codierung**
  - **Modems**
13. Zusammenfassung



## Kapitelgliederung

- 12.1. Wiederholung – OSI, Bitübertragungsschicht & Sicherungsschicht
- 12.2. Modems
- 12.3. Breitbandkabelnetze
  - 12.3.1. Konventionelles Netz: Kabelfernsehen
  - 12.3.2. Modernes Breitbandkabelnetz
- 12.4. Datenübertragung über Telefonleitung: xDSL
  - 12.4.1. xDSL: Szenario
  - 12.4.2. xDSL: Protokolle
  - 12.4.3. xDSL: Realisierung
  - 12.4.4. xDSL: Technologien

## 12.1. Wiederholung - OSI: Die 7 Schichten

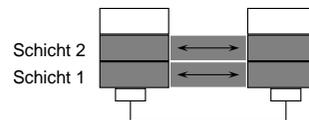


## 12.1.2. Bedeutung von Schnittstellen

- Die Übertragung von digitalen Daten über
  - zentral-organisierte Netze (z.B. öffentliche Telefonnetze) und
  - dezentrale Netze (z.B. LAN-Netze)
 erfordert die Standardisierung ihrer Schnittstellen.
- Im Bereich der öffentlichen leitungsgebundenen Netze sind dies:
  - *ITU-T V-Empfehlungen*  
Fernsprech- (Telefon-) Netz (analog)  
Älteste Empfehlungsgruppe  
Beispiel für aktuelles Modem: V.90
  - *ITU-T X-Empfehlungen*  
Integriertes Daten- und Nachrichtennetz  
Beispiel: X.25-Netz (Datex P)
  - *ITU-T I.100 - I.600 Empfehlungen*  
Integrated Services Digital Network (ISDN)

### 12.1.1. Bitübertragungsschicht und Sicherungsschicht

- **Bitübertragungsschicht (Schicht 1)**
  - ungesicherte Verbindung zwischen Systemen
  - Übertragung unstrukturierter Bitfolgen über physikalisches Medium
  - umfasst u.a. physikalischen Anschluss, Umsetzung Daten  $\leftrightarrow$  Signale
  - Normung vor allem der physikalischen Schnittstelle Rechner/Medien
- **Sicherungsschicht (Schicht 2)**
  - gesicherter Datentransfer
  - Zerlegung des Bitstroms (Schicht 1) in Rahmen (Frames)
  - Fehlererkennung und -behandlung
  - Protokollmechanismen: Quittierung, Zeit-/Sequenzüberwachung, Wiederholen/Rücksetzen

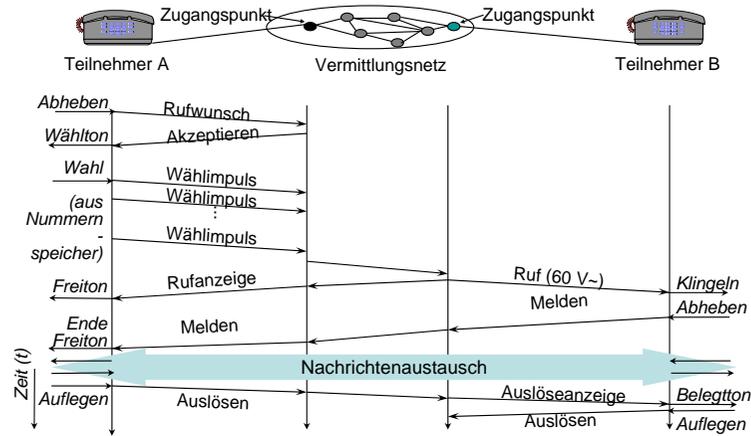


### Klassische Telefon-Teilnehmerschnittstelle: a/b-Schnittstelle

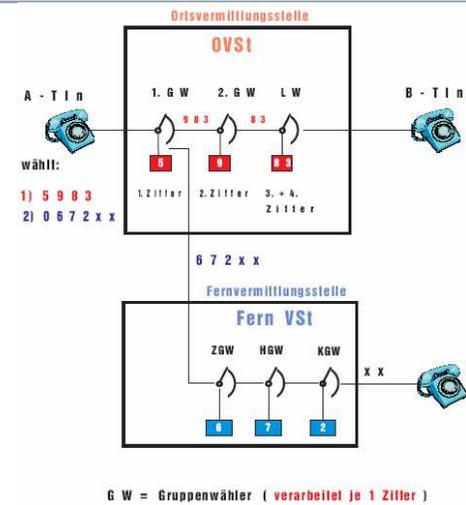
- Die Bezeichnung a/b unterscheidet die beiden Adern (Sprechadernpaar) für die Zweidraht-Teilnehmer-Anschlussleitung (*local subscriber loop*).
- Energieversorgung des Telefons:
  - Beim Abheben des Handapparats („Telefonhörer“) wird ein Gleichstromkreis geschlossen.
  - Fernspeisung durch OVSt (Schleifenstrom i), d.h. Telefonieren ohne lokale Stromversorgung möglich.  
(gilt auch für ISDN: OVSt liefert maximal 400mW bei Stromausfall)  
Wichtige Funktionalität für Katastrophenszenarien
  - Moderne (insb. schnurlose) Telefone haben meist eigene Energieversorgung.
- Signalisierung, Dienstsignale:
  - automatisches Selbstwahlverfahren
  - Netz gibt akustische Signale (Wählton, Freiton, Besetztton usw.) während des Vermittlungsdialogs mit Teilnehmer
  - Signalisierung im gleichen „Band“ wie die spätere (Sprach-)Übertragung (engl.: *in-band*):
    - Impulswahlverfahren (I WV): Rufnummereingabe ganz klassischer Telefonapparat mit Nummernscheibe (Wählscheibe).
    - Mehrfrequenzverfahren (MFV)

## Wiederholung: Beispiel Telefon – Dienst und Protokoll

- Signalisierungsprotokoll im analogen Fernsprechnetz:

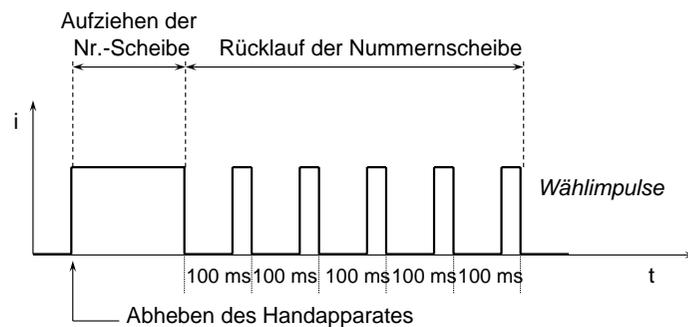


## Direkte Steuerung (historisch)



G W = Gruppenwähler ( verarbeitet je 1 Ziffer )

## Impulswahlverfahren (I WV)



Wahl der Ziffer 5 über einen mechanisch arbeitenden Apparat mit Nummernscheibe (Impulswahlverfahren)

## Mehrfrequenzverfahren (MFV)

- Für Tastentelefone (anstelle des Impulswahlverfahrens):
  - Standardfall mit digitalen Vermittlungen
  - Tastentelefon in 12 Tastenversion (selten 16 Tastenversion)
  - Jede Taste wird signaltechnisch durch ein Frequenzpaar codiert (zwei Frequenzen aus Störsicherheitsgründen).
  - Tastatur des Tastentelefon nicht nur für Wählfziffern, sondern auch als Einfachterminal für Datenübertragung

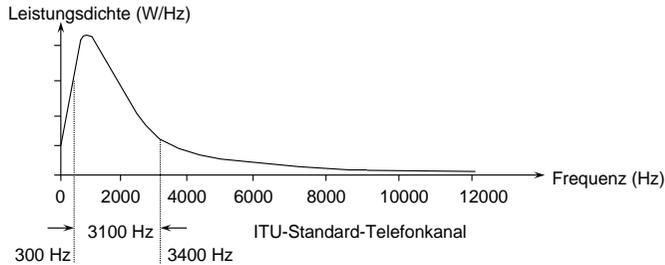
Freq. [Hz]	1209	1336	1447	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

Tastenbelegung und Frequenzzuordnung bei Mehrfrequenzcode-Wählverfahren für Tastwahlfernsprecher (16 Tasten)

## Wiederholung: Frequenzspektrum eines Signals

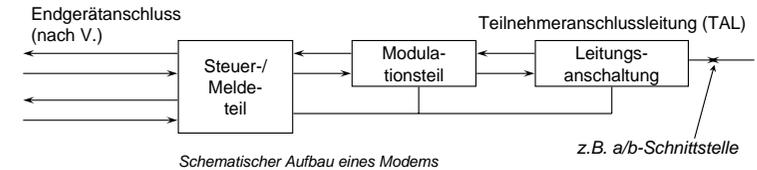
- **Bandbegrenzte Signal:**  
Signale können ein „natürlich“ begrenztes - meist kontinuierliches- Frequenzspektrum umfassen oder durch technische Mittel auf einen Ausschnitt ihres Spektrums begrenzt werden (Bandbreite).

*Kontinuierliches - akustisches - Frequenzspektrum der menschlichen Stimme und Bandbreite des analogen ITU-Standardtelefonkanals*



## 12.2. Modem

- **Modem = Modulator/Demodulator = DÜE** im Fernsprechnetzen
  - Modems basieren ursprünglich auf der klassischen Teilnehmeranschlussleitung des Fernsprechnetzes



- **Leitungsanschlus-sung:** Signaltechnische (Sende- und Empfangs-) Verstärkung der zu übertragenden Signale
- **Modulationsteil:** Modulation und Demodulation (Amplitude, Frequenz bzw. Phase)
- **Steuer-/Melde-teil:** Analyse der vom Netz kommenden Dienstsichnale, An-/Abschaltung des Modems an die Leitung, Überwachung des Leitungsbetriebs, Auslösung der V.24-Steuerfunktionen (z.B. Betriebs-, Sendebereitschaft, Ankommender Ruf)

## Übertragungsschnittstelle digitaler Daten

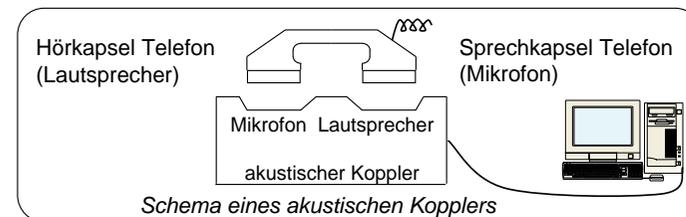
- Zwischen Endgerät (Datenendeinrichtung, DEE) und Netz wird eine Datenübertragungseinrichtung (DÜE) zwischengeschaltet.



- DEE, engl. DTE: **D**ata **T**erminal **E**quipment
- DÜE, engl. DCE: **D**ata **C**ircuit Terminating **E**quipment
- DÜE enthält signaltechnische Funktionen für die Anpassung an die Teilnehmeranschlussleitung (z.B. Modem).
- Die DEE/DÜE-Schnittstelle ist sehr wichtig für den Anwender, da die Ankopplung sehr unterschiedlicher Endgeräte erwünscht ist.

## Damals...: Akustische Koppler

- **ITU Empfehlung V.15 –**  
„Urahn“ der heutigen Modems
- Funktion: Werte „0“, „1“ entsprechen hohen bzw. niedrigen Tonfrequenzen



- Vorteil:**
- mobiler Einsatz
  - keine feste Verdrahtung

- Nachteil:**
- nur einige 100 bit/s

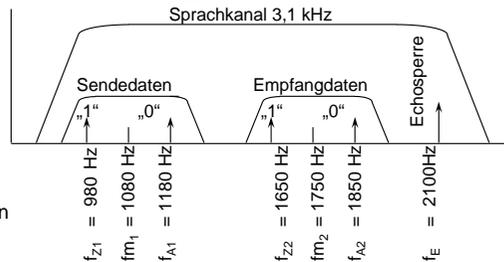
## Beispiel: V.21 Modem

- Kennzeichen:
  - Weltweit sehr häufig eingesetzter Modem-Standard bei schlechten Leitungen
  - Nutzung des ITU-Standard-Telefonkanals (300 - 3400 Hz)
  - Übertragungsgeschwindigkeit (synchron oder asynchron) bis 300 bit/s
  - Vollduplex-Betrieb durch Parallelbetrieb beider Übertragungsrichtungen in zwei Frequenzlagen:  $f_{m1} = 1080 \text{ Hz}$ ,  $f_{m2} = 1750 \text{ Hz}$ , Frequenzhub  $\pm 100 \text{ Hz}$

Kanalbelegung:

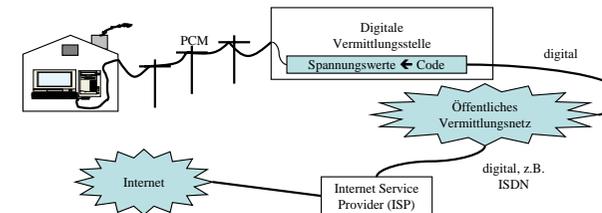
Belegung A:  
verbindungs-  
aufbauendes Modem

(Belegung B:  
angerufenes Modem  
Sendedaten im oberen  
Frequenzbereich)

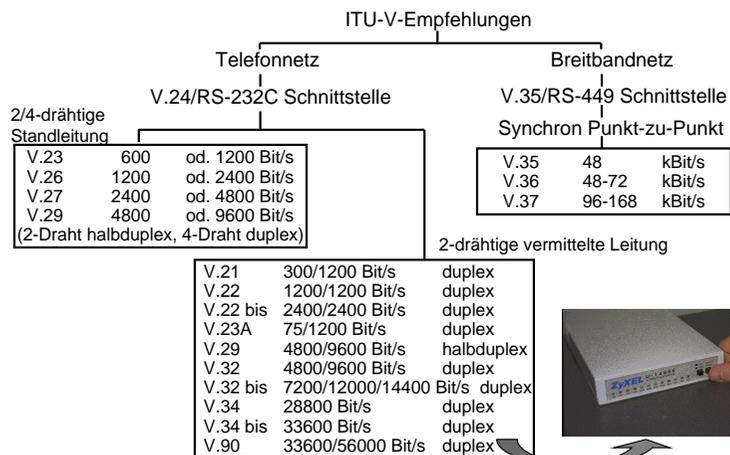


## V.90-Modem (56 kbps)

- Heute durchgehend digitale Vermittlungsstellen → nur Teilnehmeranschlussleitung (letzte Meile) analog
- Höhere Datenraten durch *digitale Übertragung vom Provider bis zur Vermittlungsstelle*
- *PCM-Signale auf der Strecke von der Vermittlungsstelle bis zum V.90-Modem* (für ISDN vorhanden: 8-Bit-AD/DA-Wandler mit 8 kHz, 1 Bit als Prüfsumme) → theoretisch bis zu  $7 \text{ bit} * 8 \text{ kHz} = 56 \text{ kbps}$
- Tatsächlich erreichte Bitraten abhängig von Leitungsqualität → Ausmessen der Leitung (Line probing)



## ITU-V-Empfehlungen: Übersicht

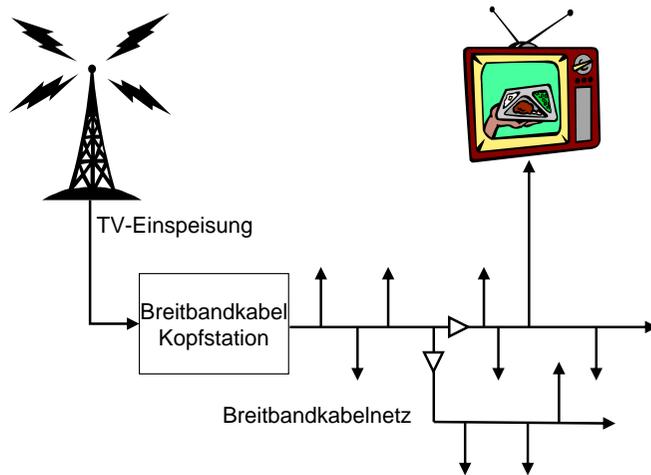


## Weitere Modemtechnologien

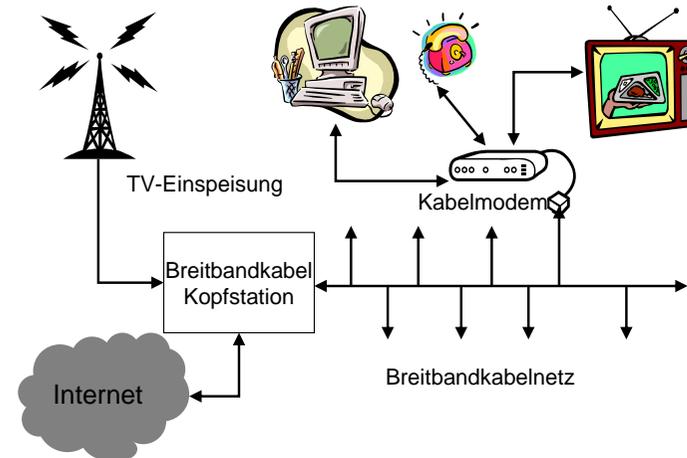
- **Kabelmodems:**  
Datenübertragung über das Breitbandkabel („Kabelfernsehen“) der Kabelnetzbetreiber,
  - Erweiterung des Frequenzbandes im Kabel auf bis zu 860 MHz
  - Datenraten (je nach Technik) theoretisch bis zu 2 Gbit/s, aber (mit anderen Benutzern) geteiltes Medium!
- **Powerline-Communications (PLC) Modems:**  
Datenübertragung über das Energieverteilnetz („Stromnetz“)
  - Einkopplung hochfrequenter Träger (16-148 kHz sowie 1-30 MHz)
  - Datenraten bis zu 1 Mbit/s, aber ebenfalls geteiltes Medium
  - Anwendbar für öffentliche Datenetze, Datenverteilung im Haus, sowie Telematik-Anwendungen der Energieversorger (z.B. Stromzähler auslesen)
- **DSL-Modems:**  
Höhere Datenraten über herkömmliches Telefonkabel
  - Telefonkabel bleibt gleichzeitig für Telefonie nutzbar
  - Typische Datenraten bei 6-8 Mbit/s

## 12.3. Breitbandkabelnetze

### 12.3.1. Konventionelles Netz: Kabelfernsehen

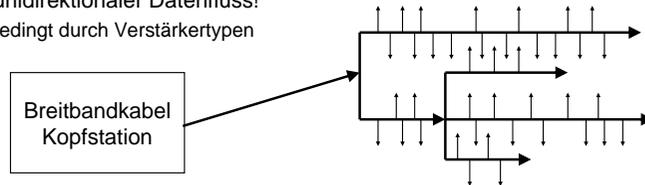


## 12.3.2. Modernes Breitbandkabelnetz: Digitales TV plus Datendienste



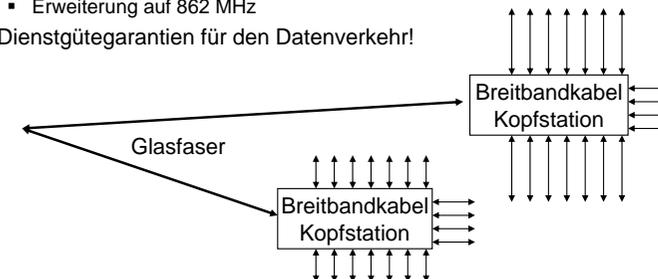
## Konventionelles Breitbandkabelnetz: Charakteristika

- Koaxialnetz in Baumstruktur
  - Alle Teilnehmer werde ausgehend von einer Kopfstation (headend) versorgt (Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung)
- Bandbreiten
  - 606 MHz oder lediglich 450 MHz
- Frequenz-Multiplex
  - Jeder Dienst auf dem Breitbandkabelnetz erhält ein festes Frequenzband
  - Dadurch ist die Zahl der Dienste vorab festgelegt
- Nur unidirektionaler Datenfluss!
  - Bedingt durch Verstärkertypen



## Modernes Breitbandkabelnetz: Charakteristika

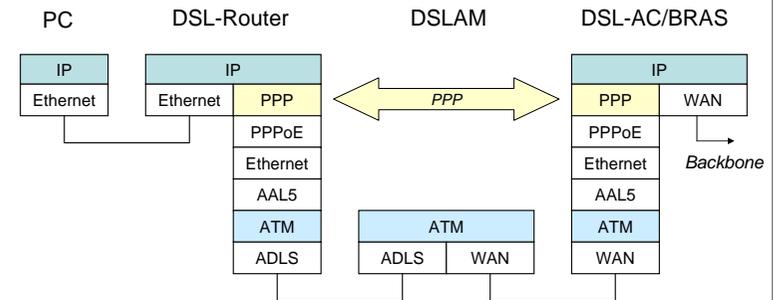
- Verteilnetze in Koaxialtechnik
  - Anschluss von ca. 2000 Haushalten in Sternstruktur
  - Anschluss der Kopfstation mit Glasfasertechnik
- Rückwegefähigkeit
  - Integration von Rückkanalverstärkern
- Bandbreite
  - Erweiterung auf 862 MHz
- Dienstgütegarantien für den Datenverkehr!



## 12.4. Datenübertragung über Telefonleitungen: xDSL

- ISDN: Ersetzen des analogen Telefonsystems durch digitales System
- xDSL: x repräsentiert spezifische Realisierungen der DSL-Technik (Digital Subscriber Line)
  - SDSL: Symmetric DSL
  - ADSL: Asymmetric DSL
  - ...
- Ziele:
  - Vorhandene und für fast jedes Haus verlegte Telefonleitung (twisted pair) für hochratige Datenübertragung nutzen
  - Koexistenz von analogem Telefonsystem (POTS = Plain Old Telephone System) bzw. ISDN und hochratiger Datenübertragung
- Damit einhergehend: Öffnung des Telefonmarktes
  - *unbundled local loop*: Teilnehmeranschlussleitung wird an Infrastruktur eines Telekom-Wettbewerbers angeschlossen (z.B. Arcor)
  - *line-sharing*: POTS/ISDN und DSL von verschiedenen Anbietern über dieselbe Teilnehmeranschlussleitung (z.B. Telefonica)
  - Bitstromzugang: Wettbewerber bietet Internet-Zugang über Telekom-DSL

## 12.4.2. xDSL: Protokolle



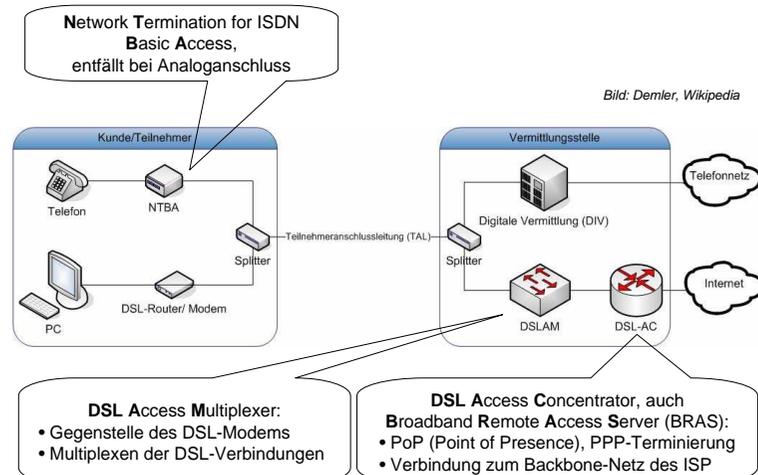
PPP: Point-to-Point Protocol

- Verbindungsaushandlung, Zugangskontrolle

ATM, AAL5: Asynchronous Transfer Mode, ATM Adaption Layer 5

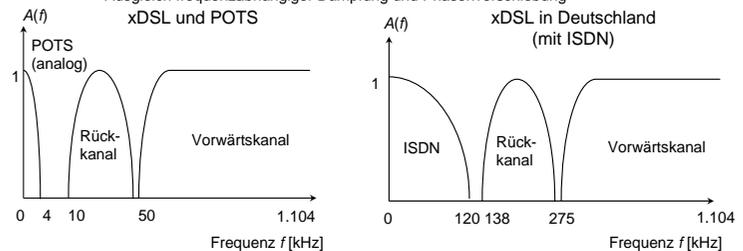
- zellbasiertes Vermittlungsprotokoll (Schicht 3)

## 12.4.1. xDSL: Szenario



## 12.4.3. xDSL: Realisierung

- Bestimmte Kombination von:
  - Kanalkodierung (Hinzufügen von Redundanz)
  - Echokompensation
  - FDD (Frequency Division Duplex)
  - Frequenzmultiplex, Mehrträgerverfahren (DMT, Discrete Multitone):
    - mehrere Träger in je 4,3125 kHz breiten Bändern und variabler Datenrate (je nach Dämpfung/Rauschen)
  - Bänder werden ausgemessen und ggf. ausgeblendet (hohe Dämpfung,...)
  - adaptive Leitungsentzerrung
    - Ausgleich frequenzabhängiger Dämpfung und Phasenverschiebung



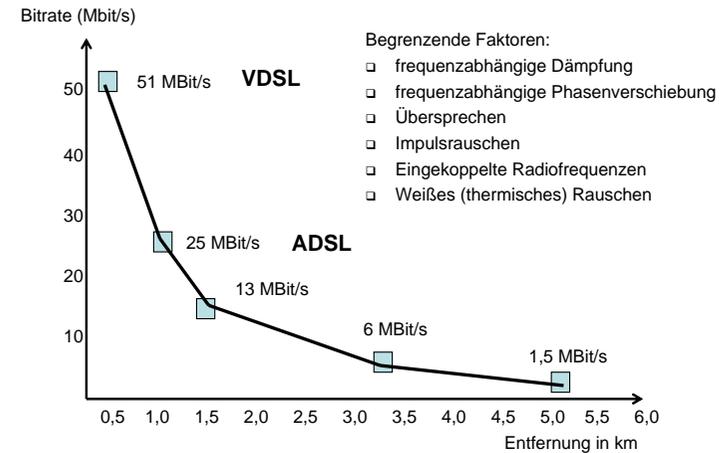


## 12.4.4. xDSL: Technologien (I)

- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line):
  - nutzt Frequenzen bis 1,1 MHz
  - 384 kBit/s bis 8 MBit/s Vorwärtskanal (downstream) (je nach Entfernung)
  - 64 bis 1024 kBit/s Rückkanal (upstream) (je nach Entfernung)
  - Reichweite: 3.000-9.000 Meter
  - für private Nutzer gedacht
  - Problem: Annahmen für Bandbreitenaufteilung Vorwärtskanal/Rückkanal stimmen nicht unbedingt (u.a. wegen P2P-Anwendungen)
  
- Begriffe:
  - Vorwärtskanal: vom Server über das Netzwerk zum Dienstnehmer (Kunden)
  - Rückkanal: vom Dienstnehmer (Kunden) über das Netzwerk zum Server
  
- Quellen: <http://www.adsl.com>



## Bitrate zum Dienstnehmer (Vorwärtskanal)



## xDSL: Technologien (II)

- HDSL (High Data Rate DSL) (*historisch*)
  - bis zu 1,5 Mbit/s symmetrisch über zwei Zweidraht-Leitungen
- SDSL (Symmetric DSL):
  - dieselbe Datenrate im Vorwärts- und Rückkanal  
→ Ersatz für ISDN-Primäranschluss, v.a. für Geschäftskunden
  - keine Lücke im Basisband für ISDN/POTS
- ADSL2:
  - nutzt Frequenzen bis 2,2 MHz
  - bis zu 16 Mbit/s im Vorwärtskanal
- ADSL2+:
  - nutzt Frequenzen bis 2,2 MHz
  - bis zu 25 Mbit/s im Vorwärtskanal (bei ISDN: 16 Mbit/s)
  - Hohe Datenraten ermöglichen IPTV
- VDSL/VDSL2 (Very High Speed DSL):
  - VDSL nutzt Frequenzen bis 12 MHz, VDSL2 bis 30 MHz
  - nutzt Frequenzen bis 30 MHz
  - Leitungslänge zwischen DSL-Modem und DSLAM wenige 100 Meter
  - Datenraten bis zu 100 Mbit/s symmetrisch