



Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Institut für Informatik
TU München – Prof. Carle

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>





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



Ziele

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

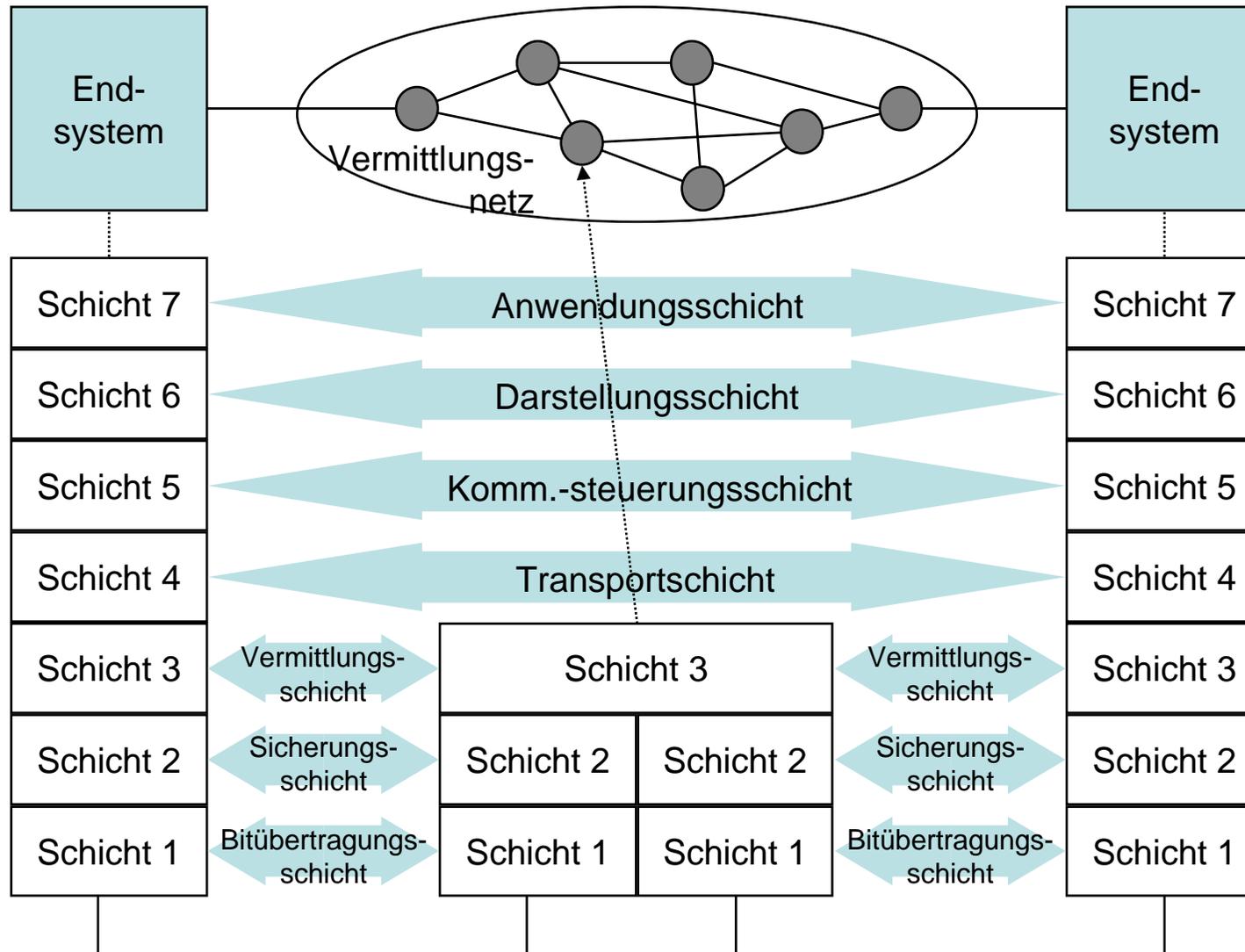


Kapitelgliederung

- 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



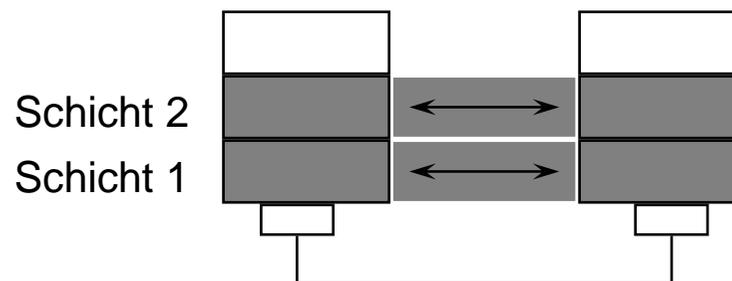
12.1. Wiederholung - OSI: Die 7 Schichten





12.1.1. 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





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)



Klassische Telefon-Teilnehmerschnittstelle: a/b-Schnittstelle

- Die Bezeichnung a/b unterscheidet die beiden Adern (Sprechadernpaar) für die Zweidraht-Teilnehmer-Anschlussleitung (*local subscriber loop*).

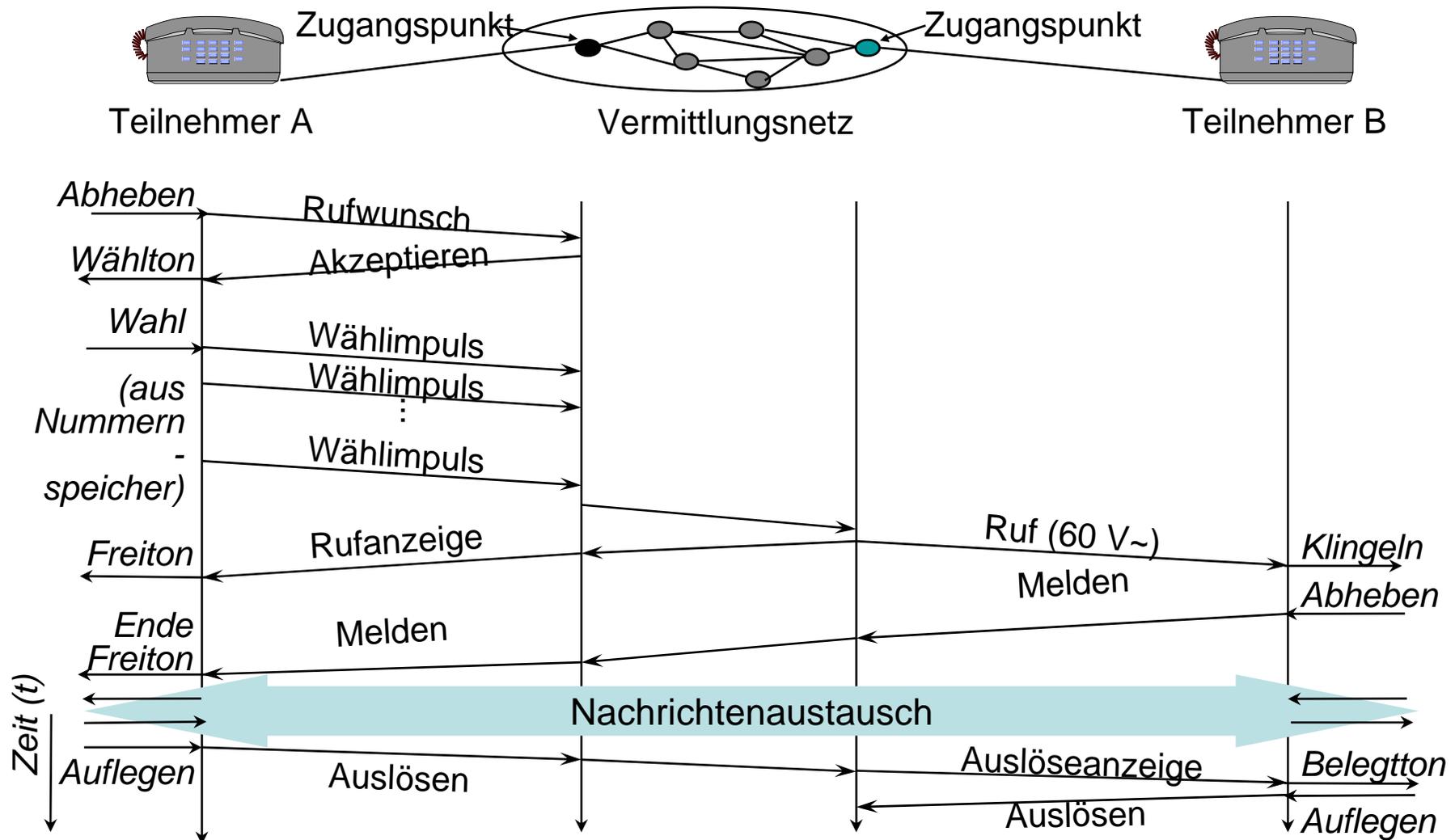
- Energieversorgung des Telefons:
 - Beim Abheben des Handapparats („Telefonhörer“) wird ein Gleichstromkreis geschlossen.
 - Fernspeisung durch OVSt (Schleifenstrom i), d.h. Telefonieren ohne lokale Stromversorgung möglich.
(gilt auch für ISDN: OVSt liefert maximal 400mW bei Stromausfall)
Wichtige Funktionalität für Katastrophenszenarien
 - Modere (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): Rufnummerneingabe ganz klassischer Telefonapparat mit Nummernscheibe (Wählscheibe).
 - Mehrfrequenzverfahren (MFV)



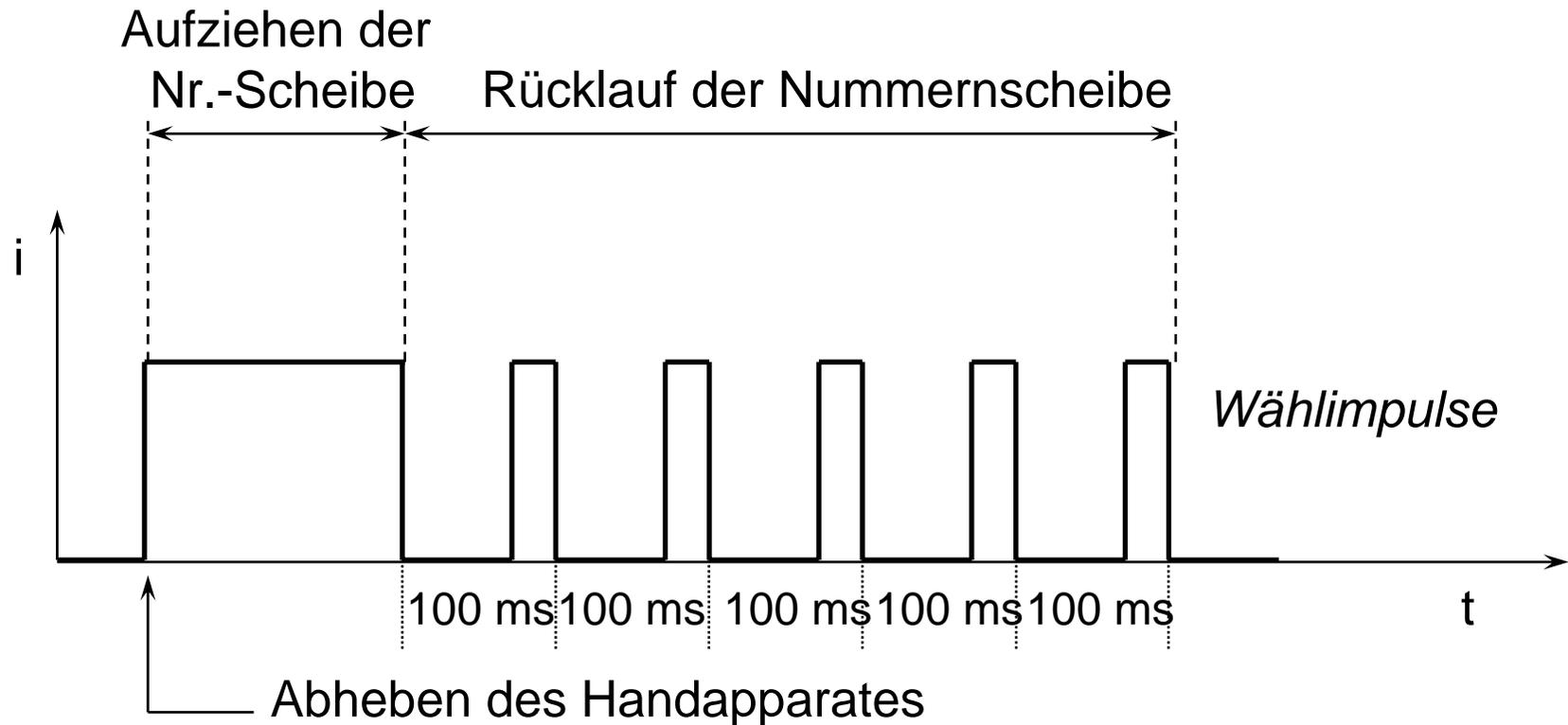
Wiederholung: Beispiel Telefon – Dienst und Protokoll

- Signalisierungsprotokoll im analogen Fernsprechnetz:





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 Wählziffern, 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)

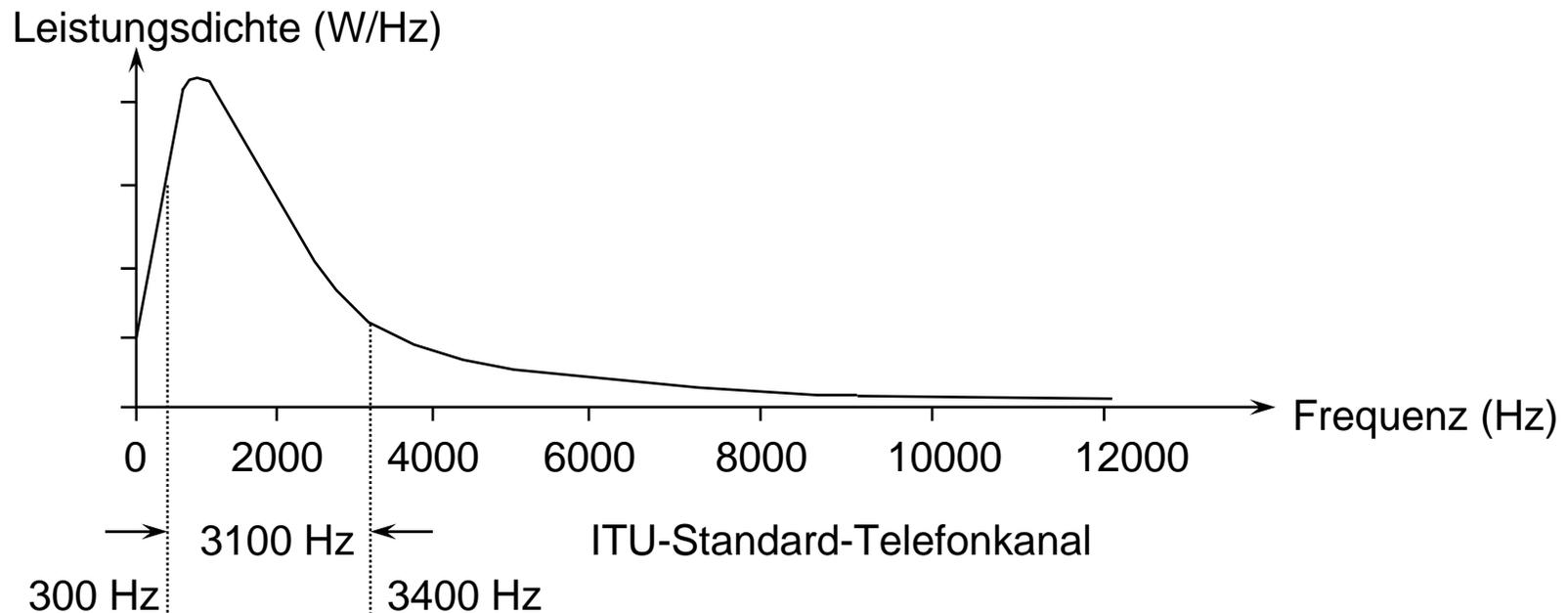


Wiederholung: Frequenzspektrum eines Signals

□ **Bandbegrenzte Signal:**

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

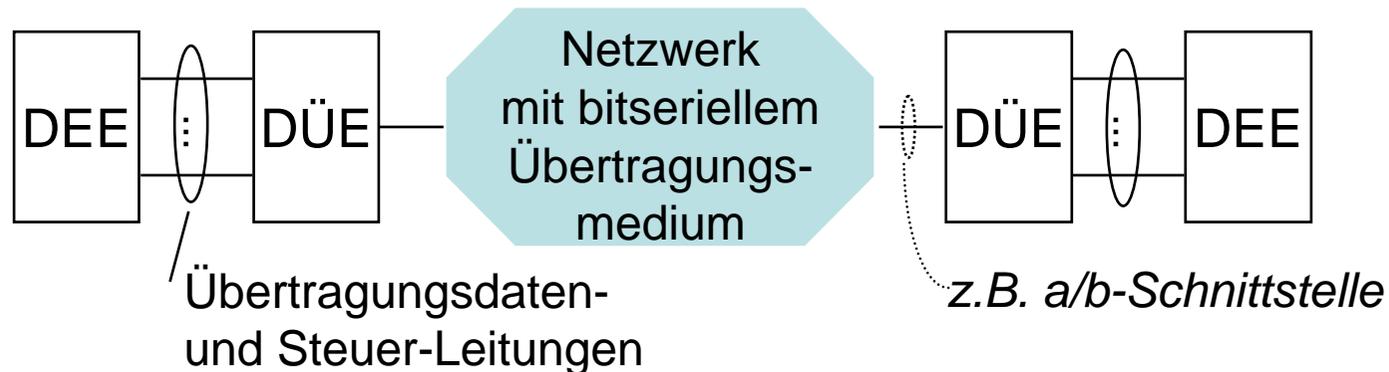
Kontinuierliches - akustisches - Frequenzspektrum der menschlichen Stimme und Bandbreite des analogen ITU-Standardtelefonkanals





Übertragungsschnittstelle digitaler Daten

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

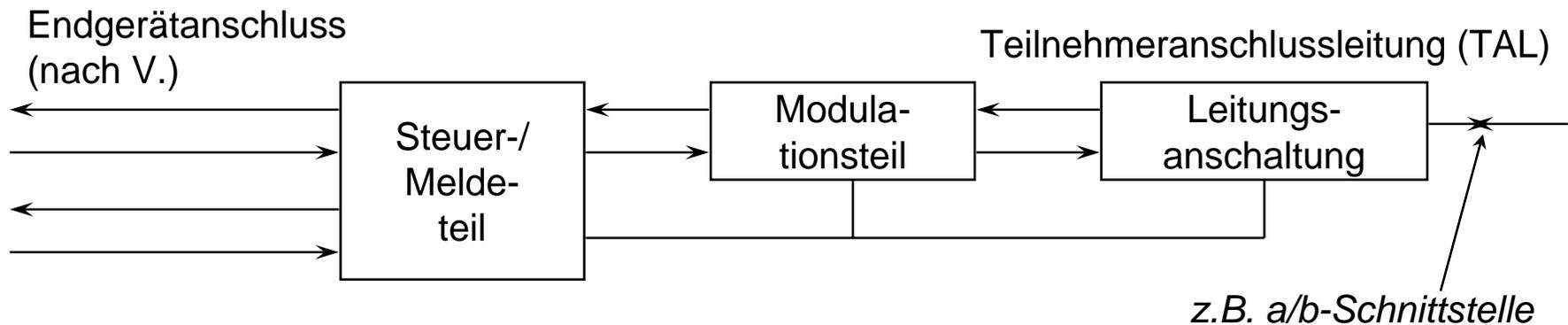


- DEE, engl. DTE: **D**ata **T**erminal **E**quipment
- DÜE, engl. DCE: **D**ata **C**ircuit Terminating **E**quipment
- DÜE enthält signaltechnische Funktionen für die Anpassung an die Teilnehmeranschlussleitung (z.B. Modem).
- Die DEE/DÜE-Schnittstelle ist sehr wichtig für den Anwender, da die Ankopplung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



12.2. Modem

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



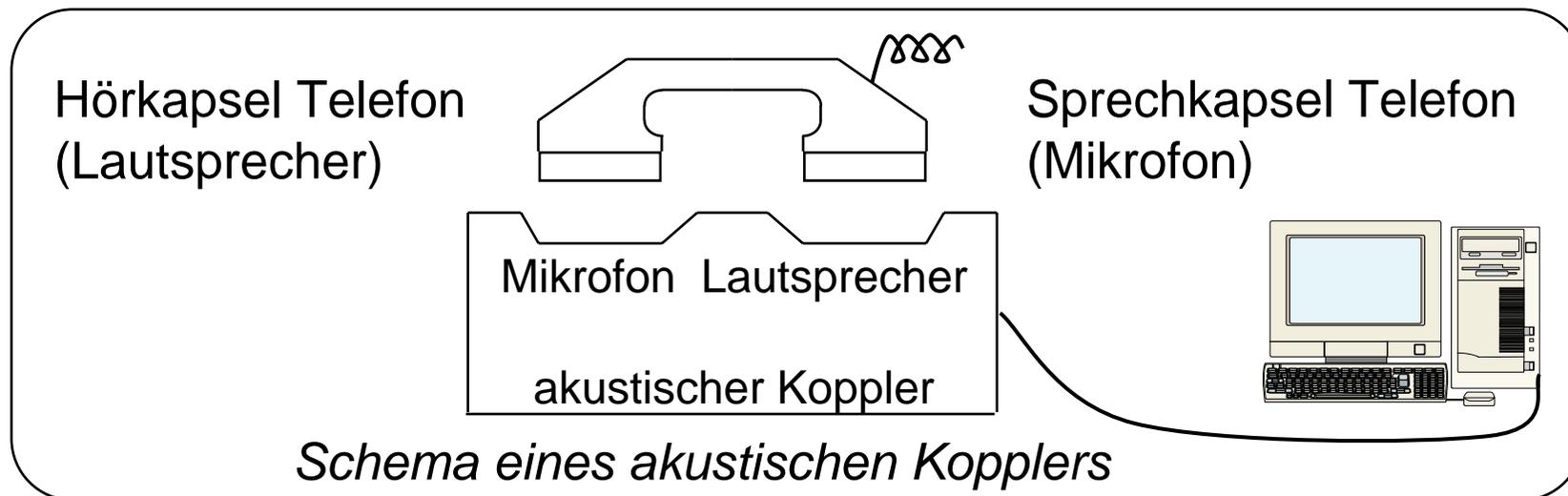
Schematischer Aufbau eines Modems

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



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



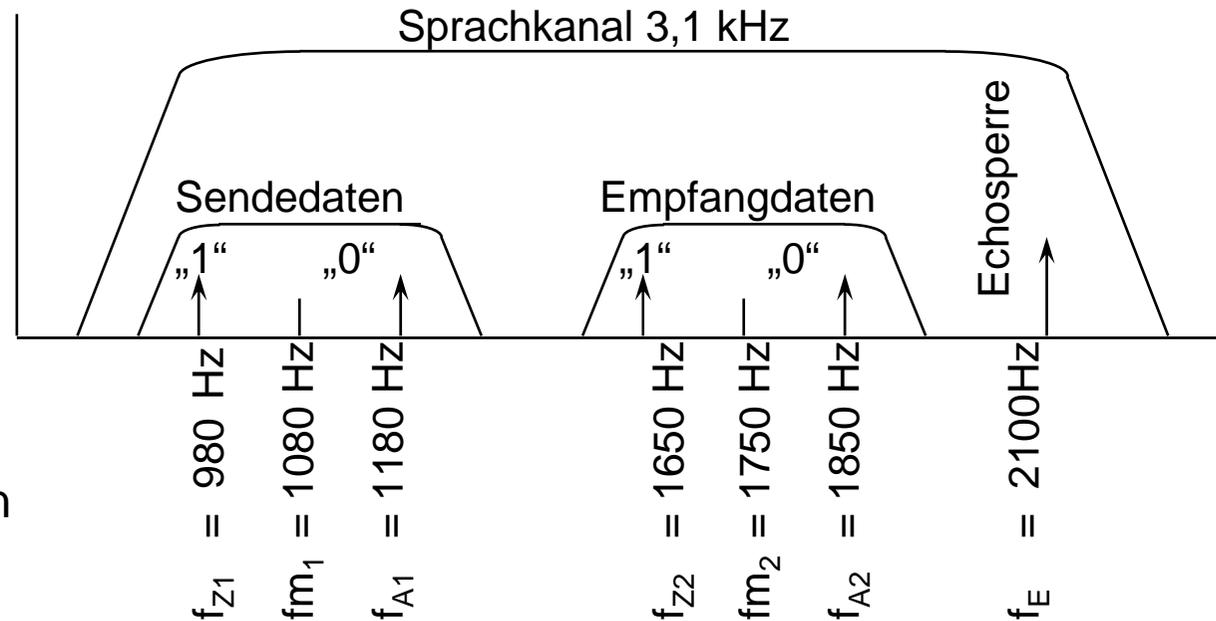
Beispiel: V.21 Modem

- 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: $f_{m1} = 1080$ Hz, $f_{m2} = 1750$ Hz, Frequenzhub ± 100 Hz

Kanalbelegung:

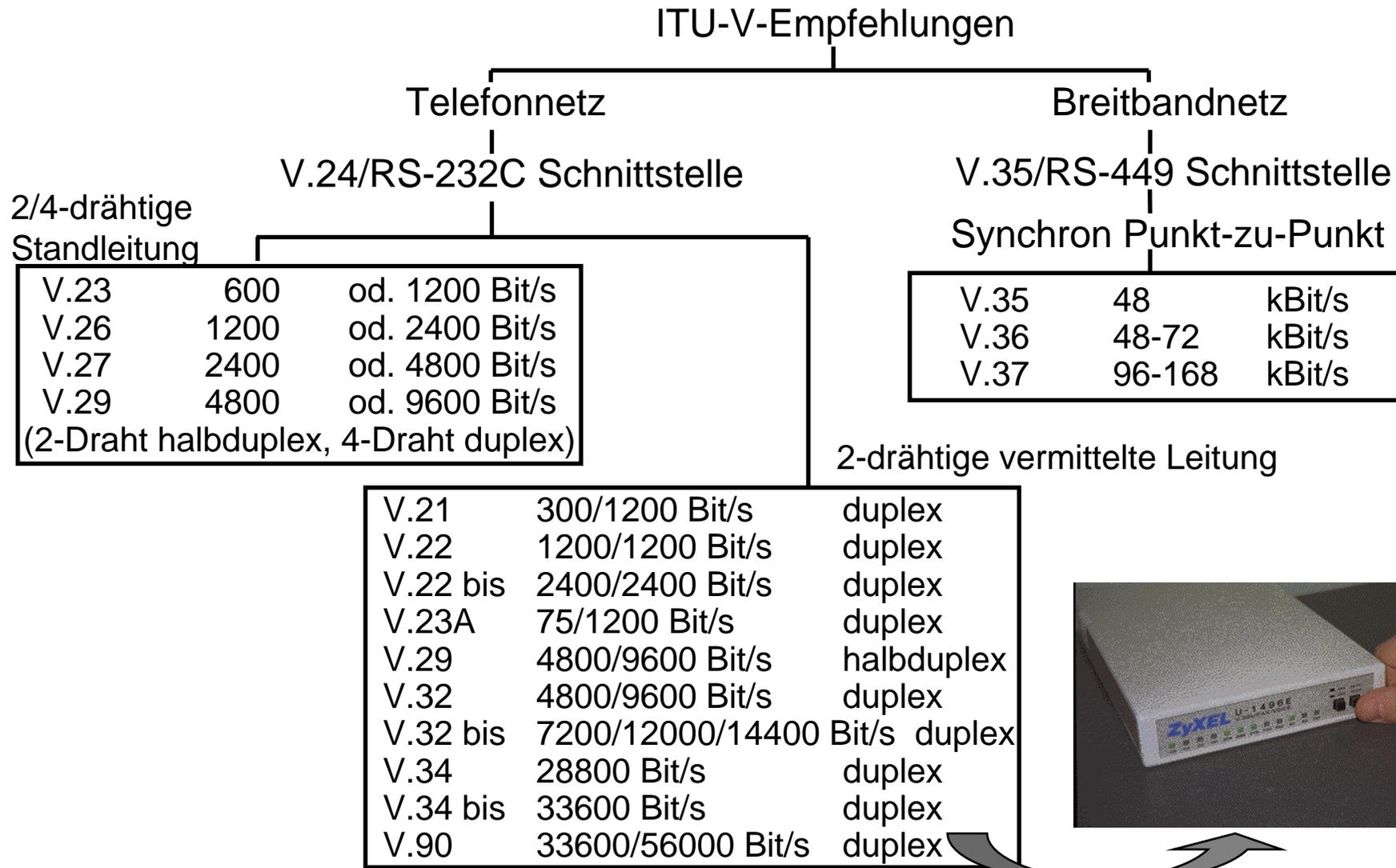
Belegung A:
verbindungs-
aufbauendes Modem

(Belegung B:
angerufenes Modem
Sendedaten im oberen
Frequenzbereich)





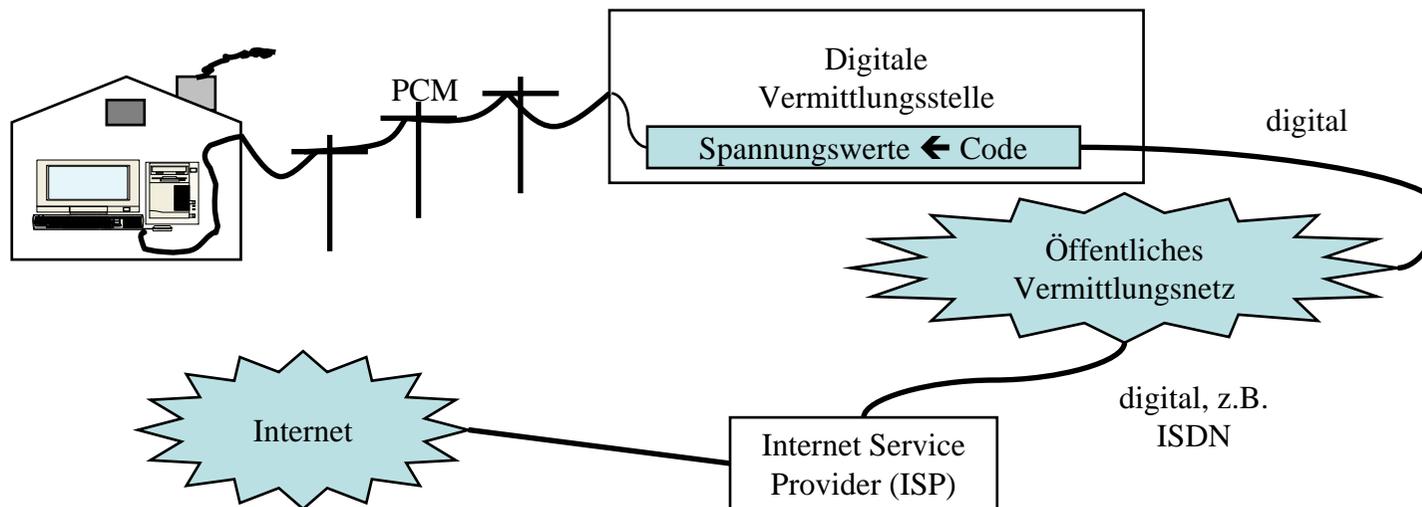
ITU-V-Empfehlungen: Übersicht





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)





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 Datennetze, Datenverteilung im Haus, sowie Telematik-Anwendungen der Energieversorger (z.B. Stromzähler auslesen)

□ **DSL-Modems:**

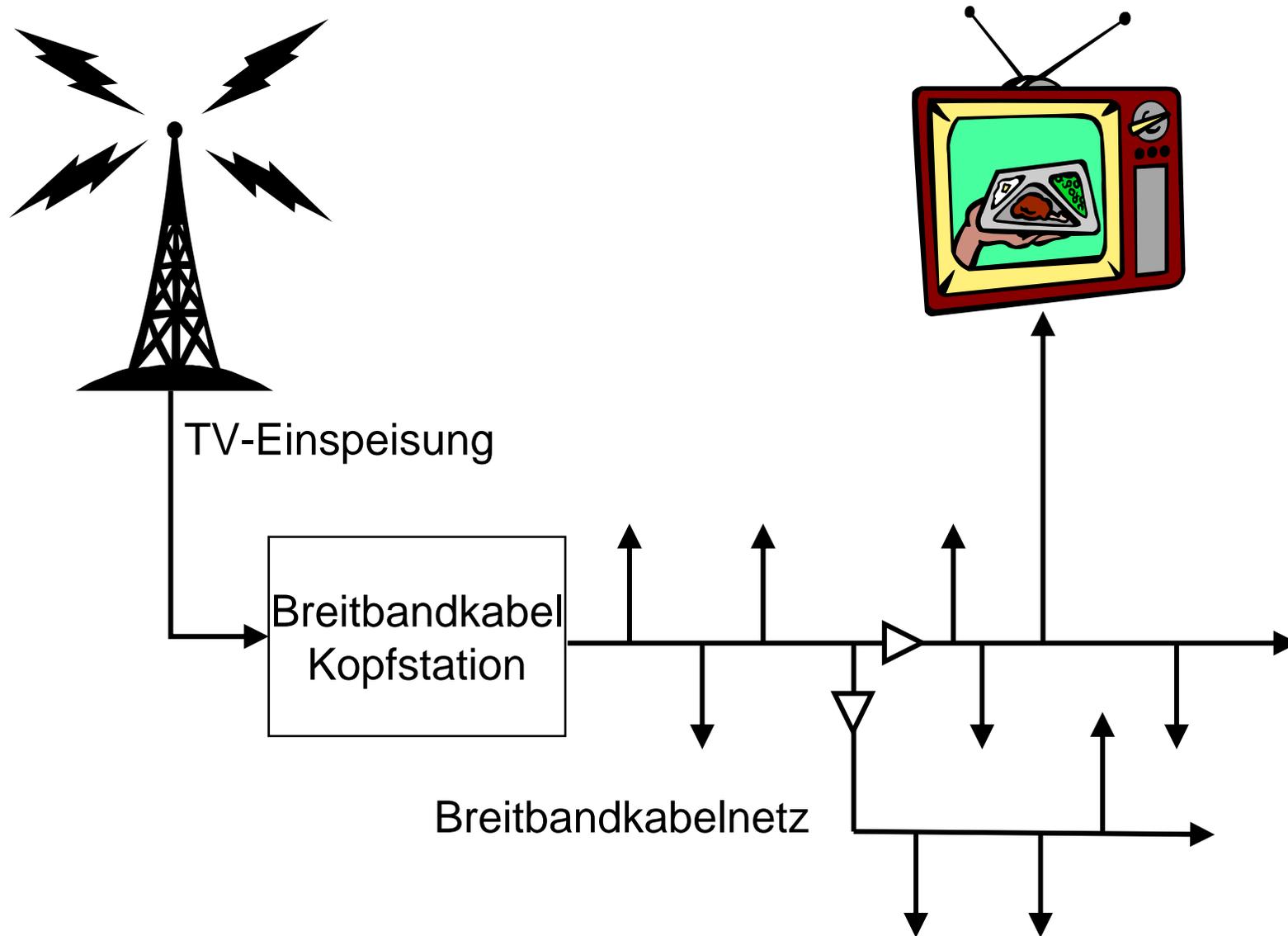
Höhere Datenraten über herkömmliches Telefonkabel

- Telefonkabel bleibt gleichzeitig für Telefonie nutzbar
- Typische Datenraten bei 6-8 Mbit/s



12.3. Breitbandkabelnetze

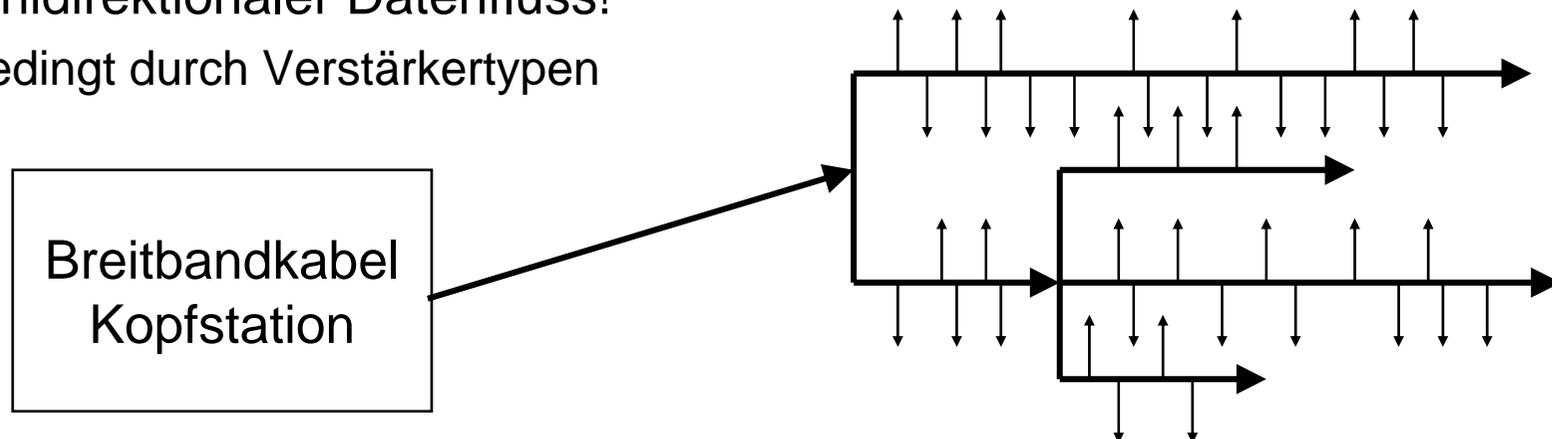
12.3.1. Konventionelles Netz: Kabelfernsehen





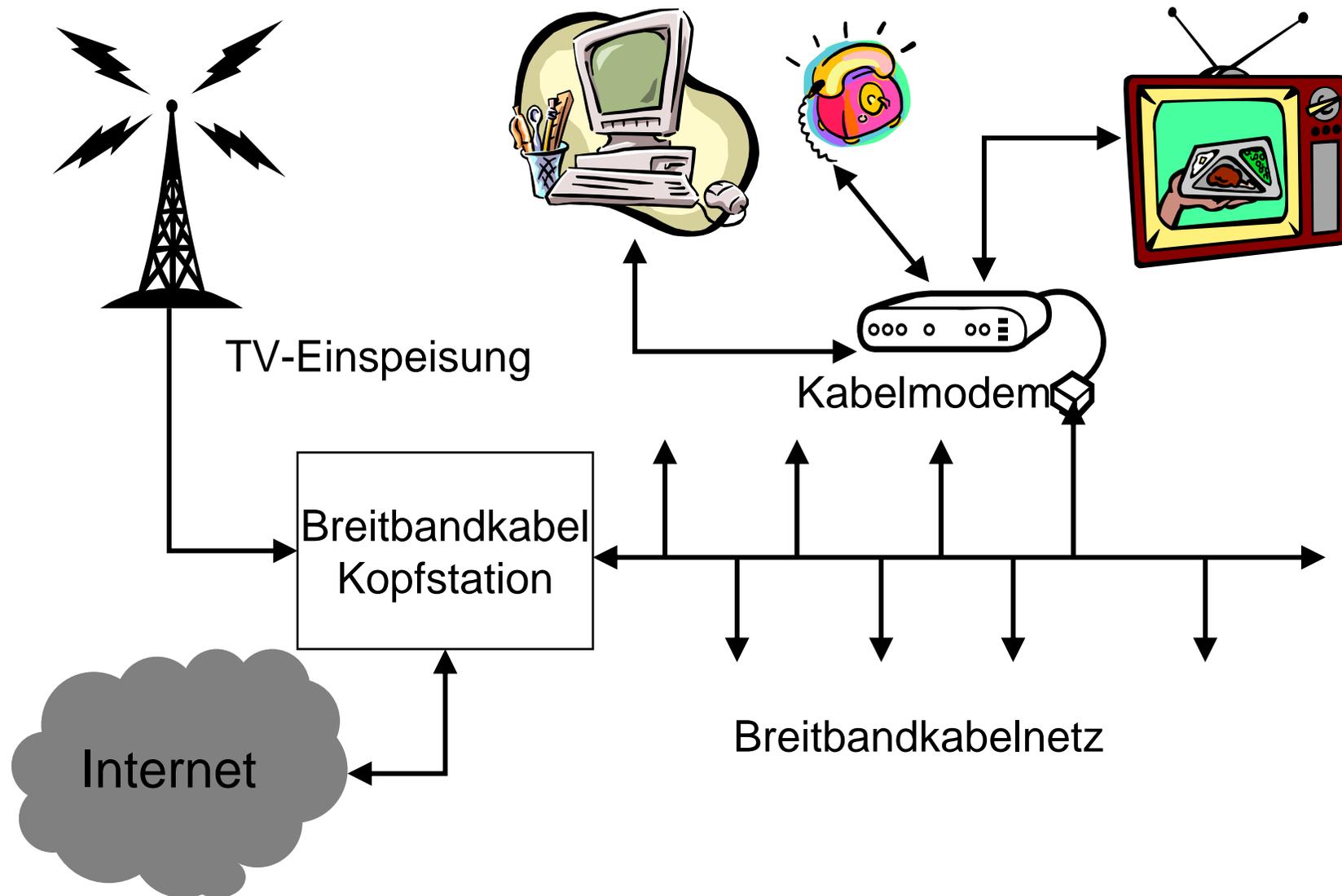
Konventionelles Breitbandkabelnetz: Charakteristika

- 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





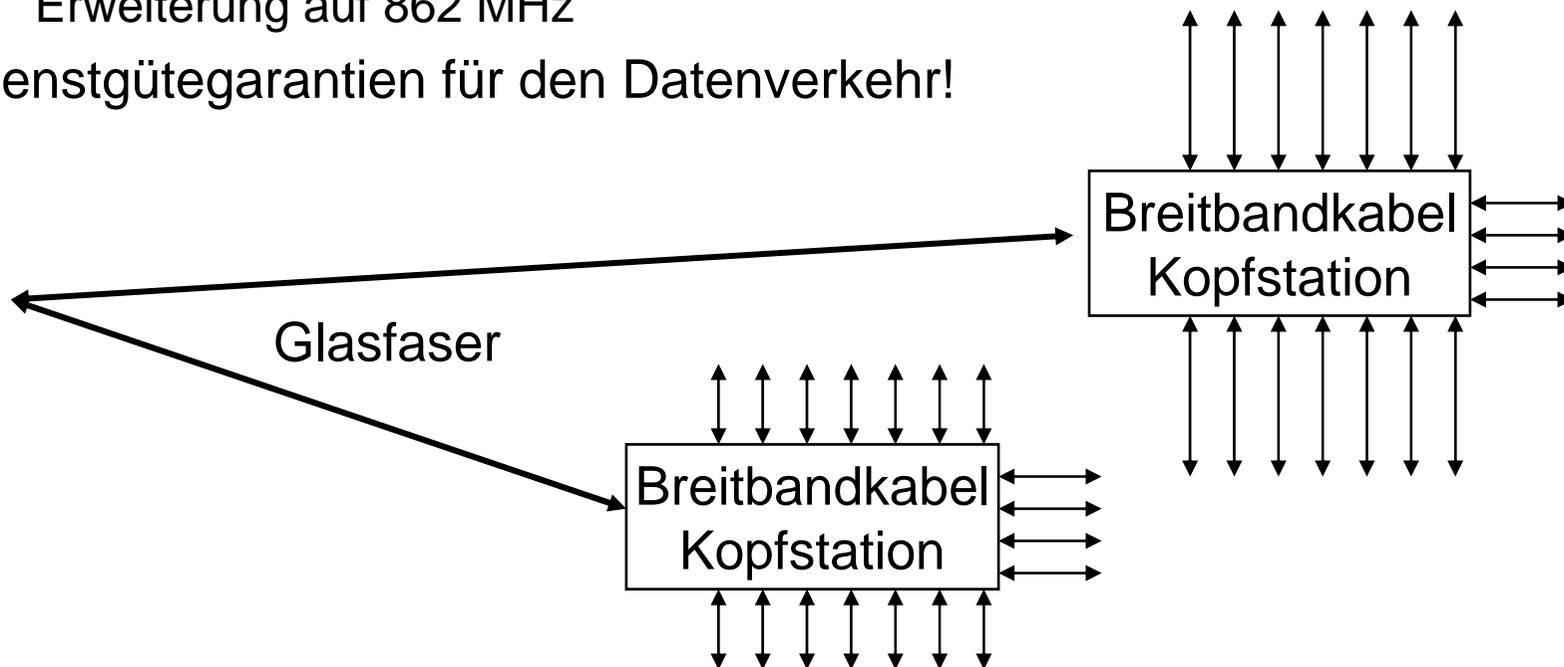
12.3.2. Modernes Breitbandkabelnetz: Digitales TV plus Datendienste





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



12.4.1. xDSL: Szenario

Network Termination for ISDN Basic Access,
entfällt bei Analoganschluss

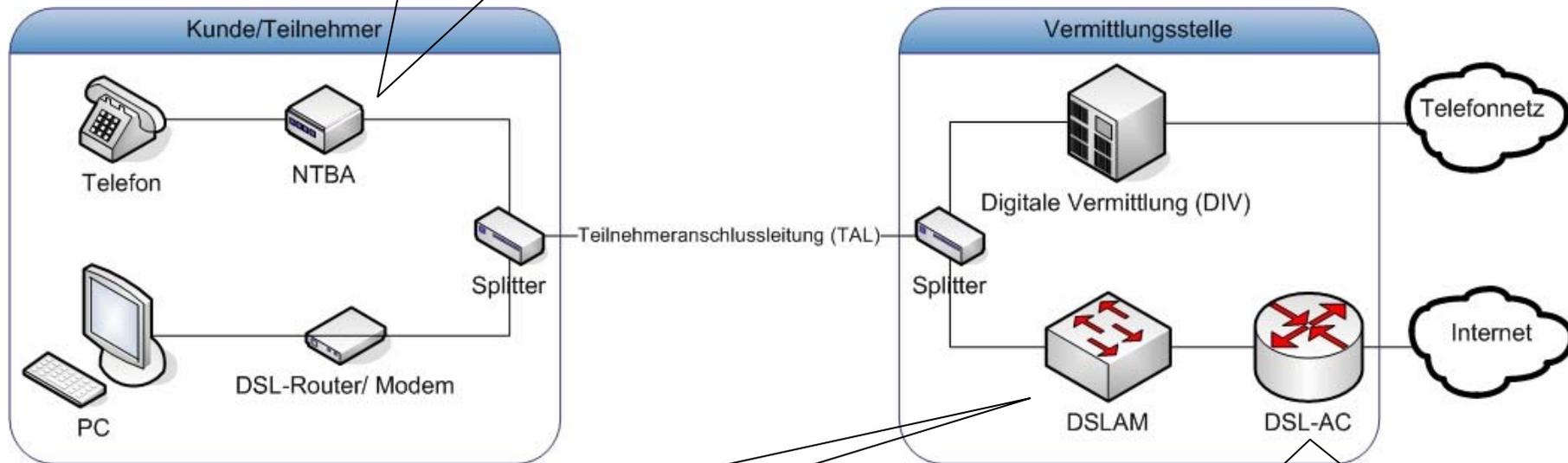


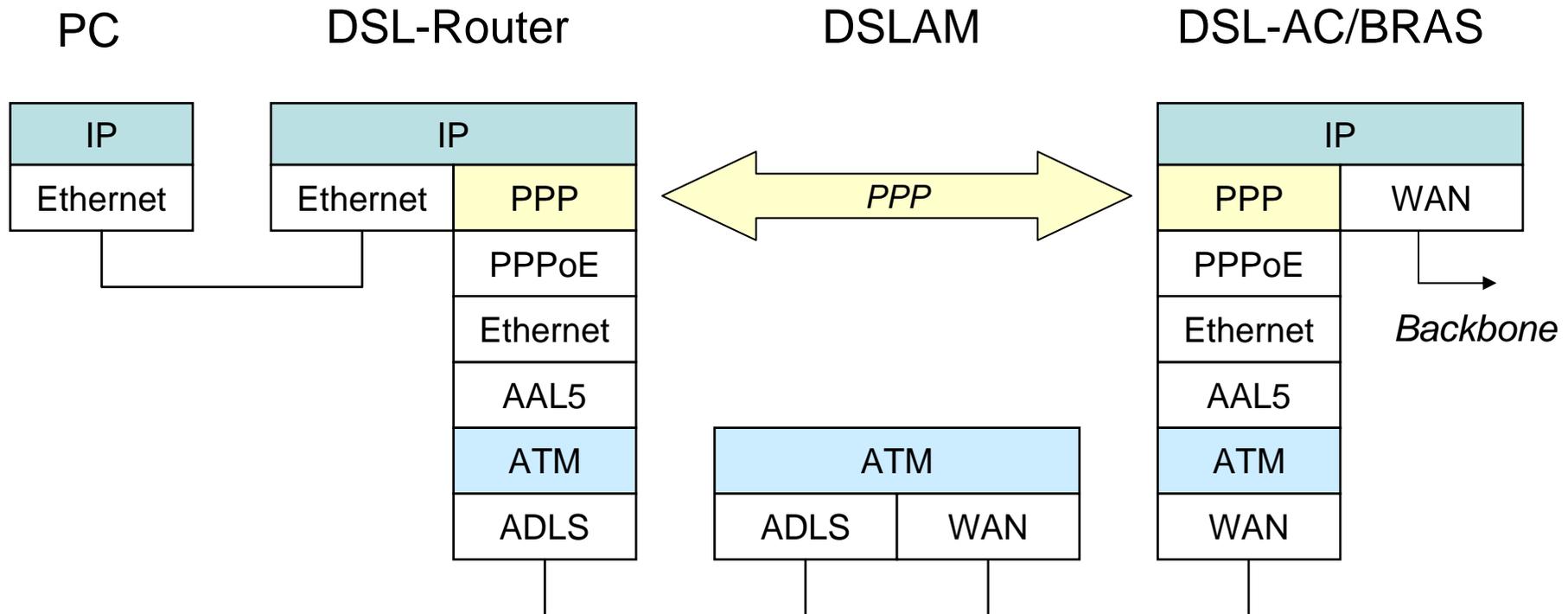
Bild: Demler, Wikipedia

- DSL Access Multiplexer:**
- Gegenstelle des DSL-Modems
 - Multiplexen der DSL-Verbindungen

- DSL Access Concentrator, auch Broadband Remote Access Server (BRAS):**
- PoP (Point of Presence), PPP-Terminierung
 - Verbindung zum Backbone-Netz des ISP



12.4.2. xDSL: Protokolle



PPP: Point-to-Point Protocol

- Verbindungsaushandlung, Zugangskontrolle

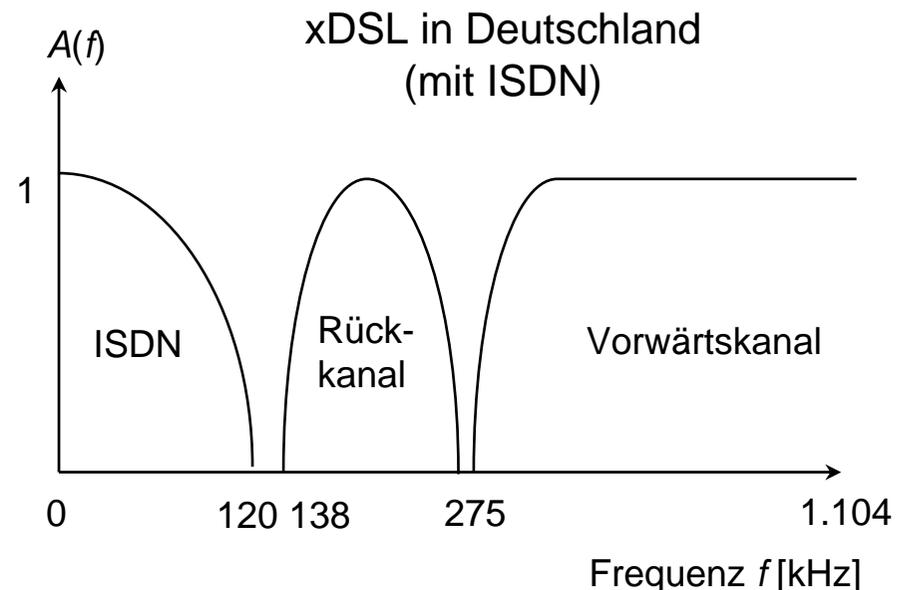
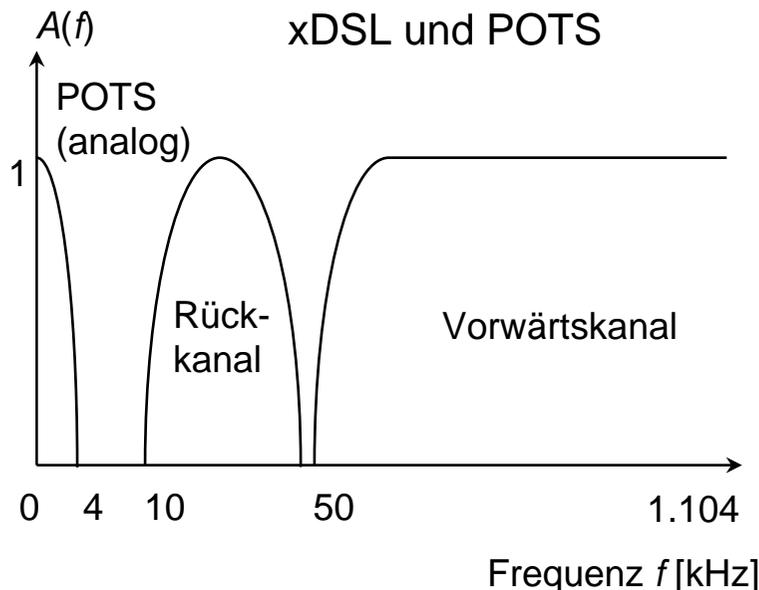
ATM, AAL5: Asynchronous Transfer Mode, ATM Adaption Layer 5

- zellbasiertes Vermittlungsprotokoll (Schicht 3)



12.4.3. 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>



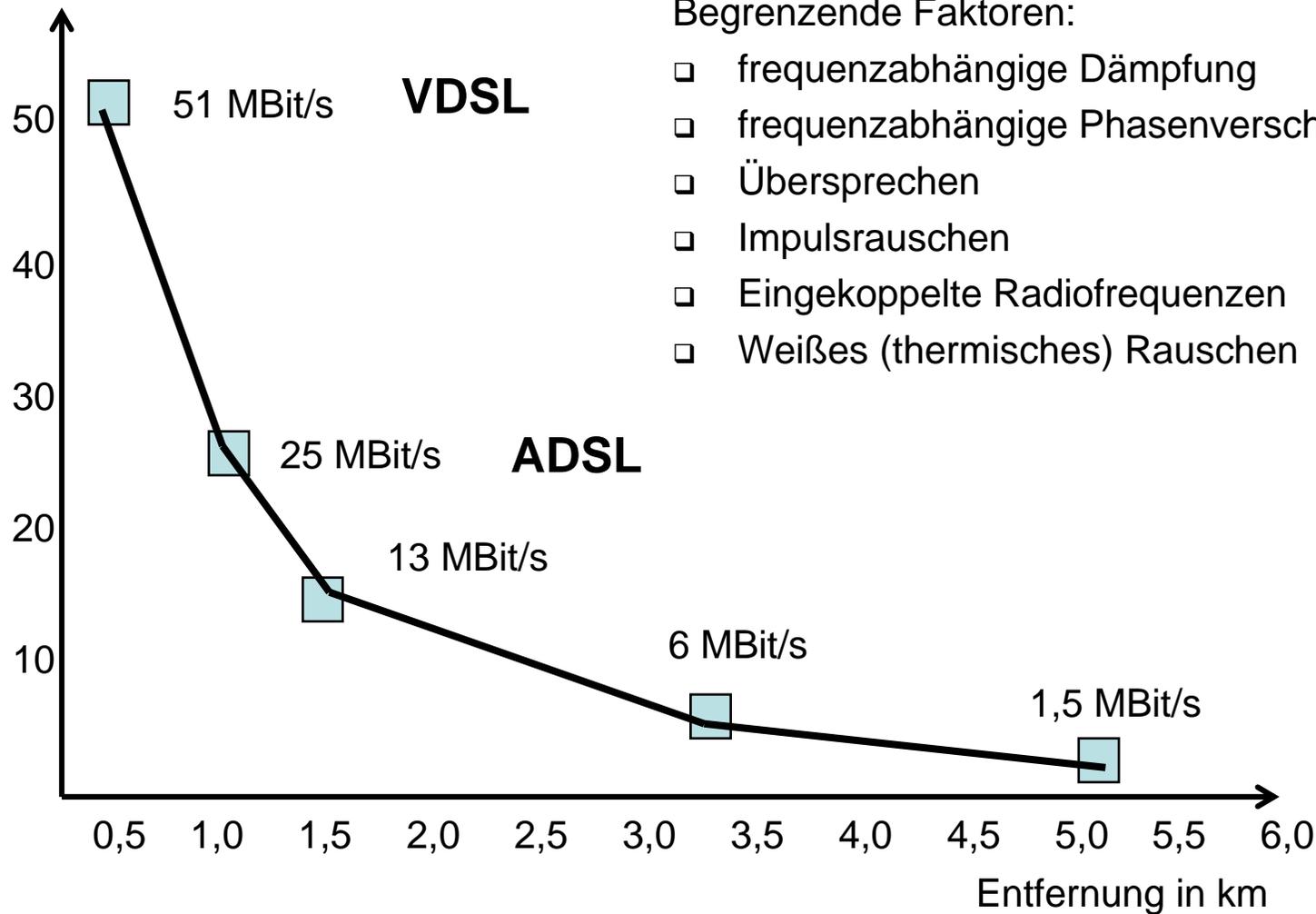
xDSL: Technologien (II)

- 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



Bitrate zum Dienstnehmer (Vorwärtskanal)

Bitrate (Mbit/s)



Begrenzende Faktoren:

- frequenzabhängige Dämpfung
- frequenzabhängige Phasenverschiebung
- Übersprechen
- Impulsrauschen
- Einkoppelte Radiofrequenzen
- Weißes (thermisches) Rauschen