



---

# Rechnernetze II

SoSe 2025

Roland Wismüller  
Betriebssysteme / verteilte Systeme  
roland.wismueller@uni-siegen.de  
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 15. April 2025



---

# Rechnernetze II

SoSe 2025

## 1 *Wide Area Networks (WANs)*



## Inhalt

- ➔ Einführung
- ➔ Etwas Theorie zur Signalübertragung
- ➔ Telefonnetz
- ➔ Protokolle für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen: HDLC, PPP
- ➔ Protokolle für paketvermittelte WANs: *Frame Relay*, ATM
- ➔ *Last Mile*: ADSL, DOCSIS, GPON
  
- ➔ Tanenbaum, Kap. 1.5.2, 2.1, 2.5.1-2.5.4, 3.6
- ➔ Peterson, Kap. 2.3, 3.3
- ➔ Kurose, Ross, Kap. 5.8-5.10
- ➔ CCNA, Kap. 2, 3, 4, 6

## 1.1 Einführung



### Charakteristika von WANs

- ➔ Verbinden Geräte (typ. Router) über größere geographischer Entfernung
- ➔ Nutzen Dienste von Kabelbetreibern (*Carrier*)
  - ➔ z.B. Telefonanbieter, Kabelfernseh-Anbieter, ...
- ➔ Nutzen verschiedene Typen serieller Verbindungen

### Einsatz von WANs

- ➔ Kommunikation zwischen Firmenstandorten
- ➔ Kommunikation zwischen verschiedenen Firmen
- ➔ Entfernter Zugang für Firmenmitarbeiter
- ➔ Internet-Zugang für Haushalte
- ➔ ...

## Anmerkungen zu Folie 16:

Im WAN-Bereich werden Daten auch bei hohen Bandbreiten seriell übertragen (im Gegensatz z.B. zu neueren Ethernet-Standards, in denen Daten teilweise parallel über mehrere Adernpaare übertragen werden), da dies bei langen Leitungen technische Vorteile bietet (einfachere Taktsynchronisation, Übersprechen, ...).

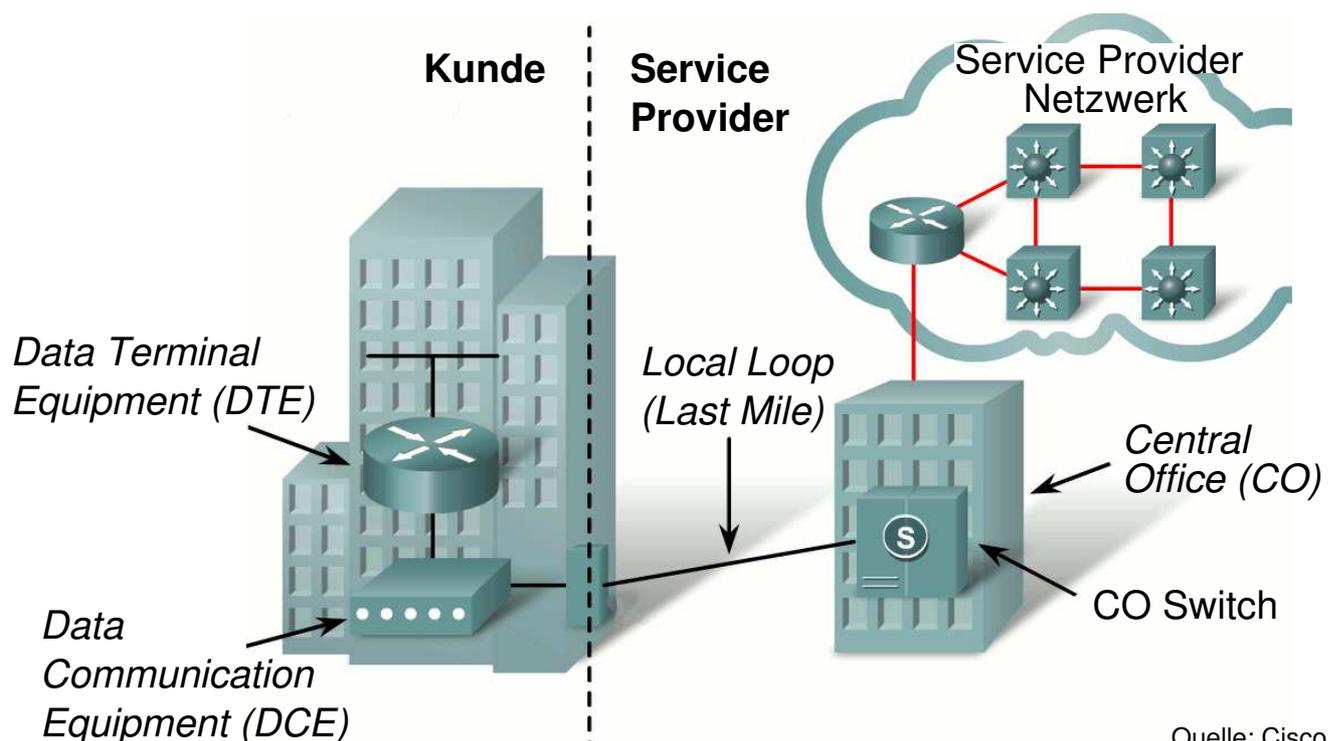
WAN ist nicht mit Internet gleichzusetzen! Das Internet nutzt WANs, aber nicht jedes WAN ist Teil des Internets. Primär dienen WANs dazu, geographisch entfernte Standorte zu vernetzen (unabhängig von einem eventuellen Internet-Zugang).

16-1

## 1.1 Einführung ...



### Typische Anbindung an ein WAN



Quelle: Cisco

## Anmerkungen zu Folie 17:

Der **Demarkationspunkt** (*Demarcation Point*) gibt die Stelle an, an der die Verantwortlichkeit für Verbindungen und Geräte vom Service-Provider auf den Kunden übergeht. In den USA liegt dieser Punkt zwischen dem DCE Gerät und der *Local Loop*, d.h. das DCE Gerät gehört dem Kunden. In Deutschland galt bis August 2016 die Regelung, daß der Demarkationspunkt zwischen DTE und DCE liegt (d.h., das DCE Gerät gehört noch dem Service-Provider und wird auch von diesem administriert, sog. „Routerzwang“). Inzwischen dürfen Kunden auch eigene DCE Geräte (Router) an die *Local Loop* anschließen und diese selbst administrieren.

17-1

## 1.1 Einführung ...



### WAN Protokolle

- ➔ WANs decken nur die OSI-Schichten 1 und 2 ab
- ➔ Typische Protokolle der Bitübertragungsschicht:
  - ➔ EIA/TIA-232 (RS-232): bis zu 64 kb/s, kurze Distanz
  - ➔ EIA/TIA-449/530 (RS-422): bis 2 Mb/s, längere Distanzen
  - ➔ HSSI (*High-Speed Serial Interface*): bis 52 Mb/s
  - ➔ V.35: ITU-T Standard, bis 2,048 Mb/s
- ➔ Typische Protokolle der Sicherungsschicht:
  - ➔ HDLC, PPP: für dedizierte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen
  - ➔ ISDN: leitungsvermittelt
  - ➔ Frame Relay, X.25, ATM: virtuelle Leitungsvermittlung



### Optionen für WAN-Verbindungen

- ➔ Nutzung einer privaten Infrastruktur
  - ➔ dedizierte Verbindungen
    - ➔ eigene bzw. gemietete Leitungen (Standleitung)
  - ➔ vermittelte Verbindungen
    - ➔ leitungsvermittelt (Einwahlverbindung), z.B. ISDN
    - ➔ paketvermittelt (virtuelle Leitungsvermittlung), z.B. Frame Relay
- ➔ Nutzung des öffentlichen Internets
  - ➔ Zugang z.B. über DSL (☞ 1.6.1) oder Kabelmodem
  - ➔ Einsatz von VPNs (☞ 4.1 und RN.I, 5.9)

## 1.2 Etwas Theorie zur Signalübertragung



### Problem bei der Signalübertragung:

- ➔ Bandbreite der Leitungen ist begrenzt
  - ➔ höhere Frequenzen werden stark gedämpft
  - ➔ höchste nutzbare Frequenz abhängig von Leitungsart und -länge
  - ➔ Störungen durch Einstrahlung von aussen und Übersprechen
- ➔ Frage: Welche Übertragungsrate (bit/s) ist auf einer Leitung mit gegebener Grenzfrequenz (Bandbreite) möglich?
- ➔ Antworten liefern:
  - ➔ Nyquist-Theorem
  - ➔ Shannon'sches Theorem

## Anmerkungen zu Folie 20:

Übersprechen tritt auf, wenn mehr als eine Verbindungsleitung (ein Adernpaar) in einem Kabel zusammengefasst werden. Ein elektrisches Signal auf einem Adernpaar erzeugt dann durch kapazitive und induktive Kopplung ein Störsignal auf den anderen Adernpaaren. Bei hochwertigen Kabeln werden daher die einzelnen Adernpaare durch eine Metallfolie oder ein Metallgeflecht gegenseitig abgeschirmt. Zusätzlich wird i.a. das gesamte Kabel noch ein mal gegen Störungen von aussen geschirmt.

20-1

## 1.2 Etwas Theorie zur Signalübertragung ...



### Nyquist-Theorem (Abtasttheorem)

- ➔ Ein Signal mit Bandbreite  $H$  [Hz] kann mit  $2 \cdot H$  (exakten) Abtastwerten pro Sekunde vollständig rekonstruiert werden
- ➔ Die maximal sinnvolle Abtastrate ist daher  $2 \cdot H$  [1/s]
- ➔ Folgerung für Übertragung mit 1 Bit pro Abtastung:
  - ➔ maximale Datenübertragungsrate =  $2 \cdot H$  [bit/s]
- ➔ Höhere Übertragungsraten sind möglich, wenn pro Abtastung mehr als 1 Bit gewonnen wird
  - ➔ im einfachsten Fall: unterscheide  $2^n$  Spannungspegel für  $n$  Bits
  - ➔ Übertragungsrate ist dann begrenzt durch das **Rauschen** der Leitung

## Anmerkungen zu Folie 21:

Beachten Sie, daß das Nyquist-Theorem nur dann eine Obergrenze für die Abtastrate liefert, wenn es sich um exakte Abtastungen handelt. Da in der Praxis die Abtastung immer eine begrenzte Auflösung hat, kann in einigen Fällen eine sog. Überabtastung (*Oversampling*) durchaus sinnvoll sein.

Siehe dazu z.B. <https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cberabtastung>

21-1

## 1.2 Etwas Theorie zur Signalübertragung ...



### Shannon'sches Theorem

- ➔ Max. Datenübertragungsrate =  $H \cdot \log_2(1 + S/N)$
- ➔  $S/N$  = **Rauschabstand (Signal/Rauschverhältnis)**
  - ➔ (Leistungs-)Verhältnis von Signalstärke zu Rauschen
  - ➔ definiert maximale Genauigkeit der Abtastung

### Zur Unterscheidung von Übertragungs- und Abtastrate

- ➔ Einheit **bit/s** für Übertragungsrate
- ➔ Einheit **Baud** (Zeichen/s) für Abtastrate

## Anmerkungen zu Folie 22:

Das Nyquist-Theorem besagt, dass wir maximal  $2 \cdot H$  Abtastungen durchführen können. Wenn die maximale Datenübertragungsrate  $H \cdot \log_2(1 + S/N)$  ist, erhalten wir mit dieser Abtastrate

$$\frac{H \cdot \log_2(1 + S/N)}{2 \cdot H} = \frac{\log_2(1 + S/N)}{2} = \log_2(\sqrt{1 + S/N})$$

Bits pro Abtastung.

Die Wurzel kommt daher, dass das Signal-/Rauschverhältnis als Leistungsverhältnis angegeben wird, nicht als Spannungsverhältnis. Wenn die Signalspannung 4-mal so groß ist wie die Rauschspannung, können wir 4 Spannungsbereiche unterscheiden und damit 2 Bits an Information gewinnen. Das Signal-/Rauschverhältnis ist dabei 16 (4-fache Spannung  $\Rightarrow$  16-fache Leistung), und  $\log_2(\sqrt{1 + 16}) = 2.0437\dots$  ist gerade etwas größer als 2.

22-1

## 1.2 Etwas Theorie zur Signalübertragung ...



### Gewinnung mehrerer Bits pro Abtastung

- ➔ Einfachster Fall: betrachte nur Spannungspegel (Amplitude)
  - ➔ z.B. Gigabit-Ethernet: 5 Spannungspegel (2 Bits + Redundanz)
- ➔ Vereinfachung durch Modulation von zwei Welleneigenschaften
  - ➔ Welleneigenschaften: Amplitude, Frequenz, Phase
- ➔ Typisch: Modulation von Amplitude und Phase
  - ➔ **QPSK** (*Quadrature Phase Shift Keying*)
  - ➔ **QAM** (*Quadrature Amplitude Modulation*)
- ➔ In der Praxis bis zu 15 Bit pro Abtastung möglich

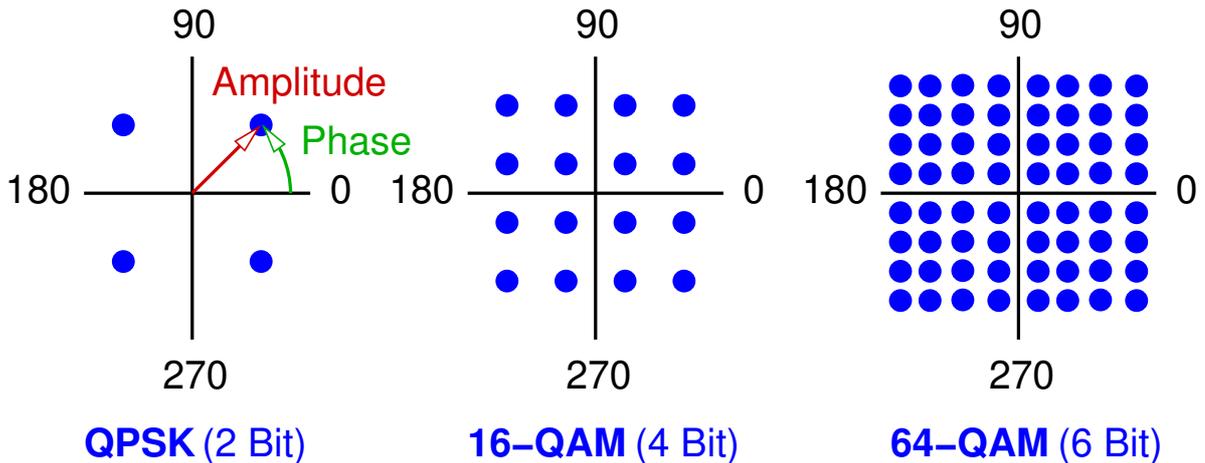
## 1.2 Etwas Theorie zur Signalübertragung ...



(Animierte Folie)

### Modulationsverfahren QPSK und QAM

- ➔ Funktionsprinzip:
  - ➔ jeweils  $n$  Bits bestimmen **Amplitude** und **Phase** des Signals
- ➔ Beispiele:

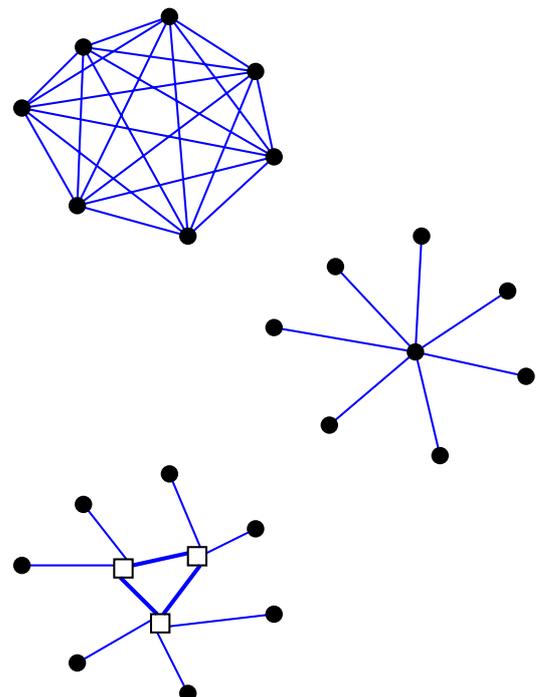


## 1.3 Telefonnetz



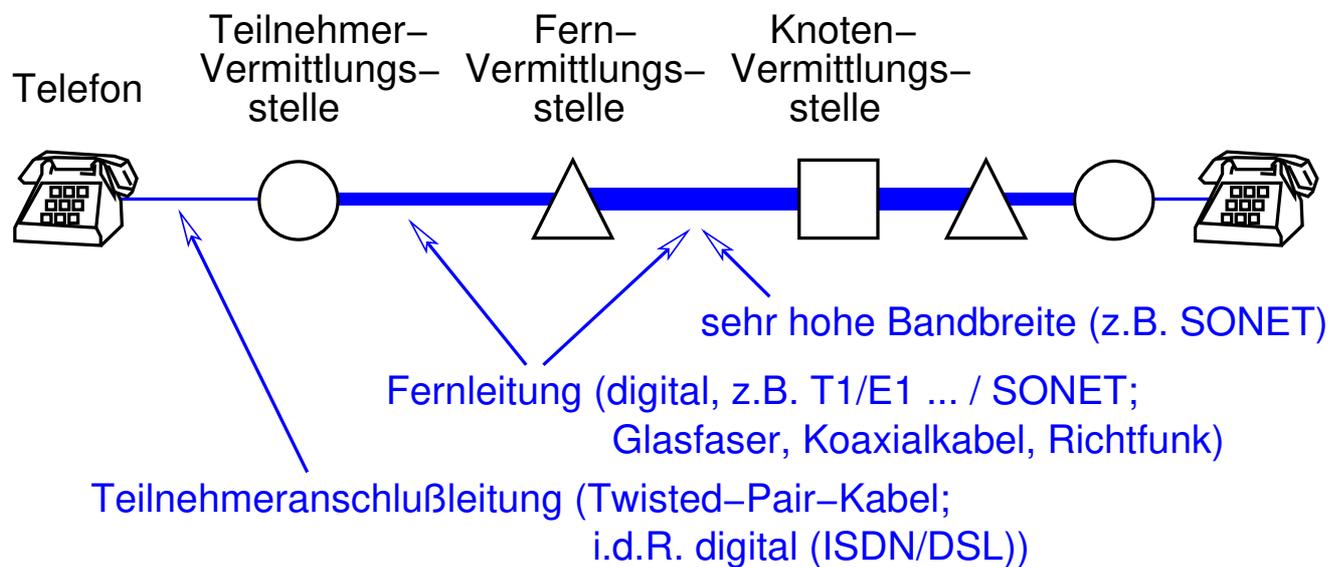
### Struktur des Telefonnetzes:

- ➔ Zu Beginn: vollständige Vernetzung
  - ➔ mit wachsender Teilnehmerzahl unpraktikabel
- ➔ Bell (1878): erstes Vermittlungsamt
  - ➔ Stern-Topologie
- ➔ Danach: Vernetzung der Vermittlungen
  - ➔ Hierarchie von Vermittlungen





### Typischer Leitungsweg bei mittlerer Entfernung:



- ➔ Sprachübertragung direkt digital (ISDN) oder über *Voice over IP* (VoIP, 🗣️ 7.2) und DSL



### Digitale Übertragung und Multiplexing

- ➔ PCM (*Pulse Code Modulation*): Sprachsignale werden im *Codec* digitalisiert:
  - ➔ 8000 Abtastungen/s (alle  $125 \mu s$ )
  - ➔ 7 oder 8 Bit pro Abtastung
- ➔ Zusätzlich Übertragung von Steuerinformation (Signalisierung)
- ➔ Multiplexing mehrerer Gespräche auf eine Leitung
  - ➔ Zeitmultiplexing: byte- oder bitweise
- ➔ Beispiele: T1/E1, SONET



### SONET (*Synchronous Optical Network*)

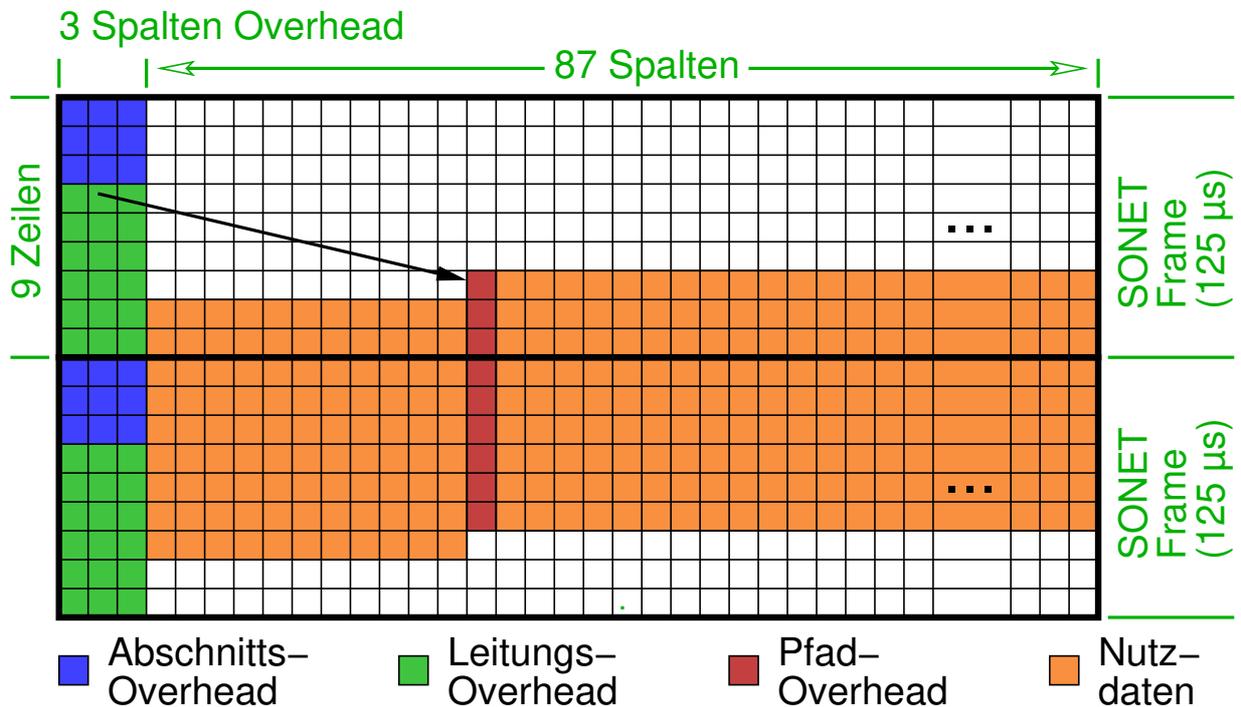
- ➔ Vorherrschender Standard für Fernübertragung auf Glasfaser
- ➔ Wichtige Eigenschaft: synchrones Netzwerk
  - Takte aller Teilnehmer sind genau synchronisiert
  - Daten kommen beim Empfänger in dem Zeitabstand an, in dem Sender sie geschickt hat
- ➔ Leitungsvermittelt
- ➔ Steuer- und Verwaltungsinformation werden in den Datenstrom eingestreut
- ➔ Im Folgenden: Framing, Multiplexing



### SONET Framing (STS-1: niedrigste Datenrate)

- ➔ Feste Framegröße: 810 Byte
- ➔ Alle 125  $\mu s$  Übertragung eines Frames
  - permanent, d.h. ggf. Frames ohne Nutzdaten
  - damit: 51,84 MBit/s Datenrate
- ➔ Kein Bit- oder Bytestuffing
- ➔ Erkennung des Frame-Anfangs durch 2-Byte-Muster
  - wenn dieses alle 125 $\mu s$  (d.h. alle 810 Bytes) auftaucht, ist Empfänger synchronisiert
- ➔ Nutzdaten können an beliebiger Stelle des Frames beginnen

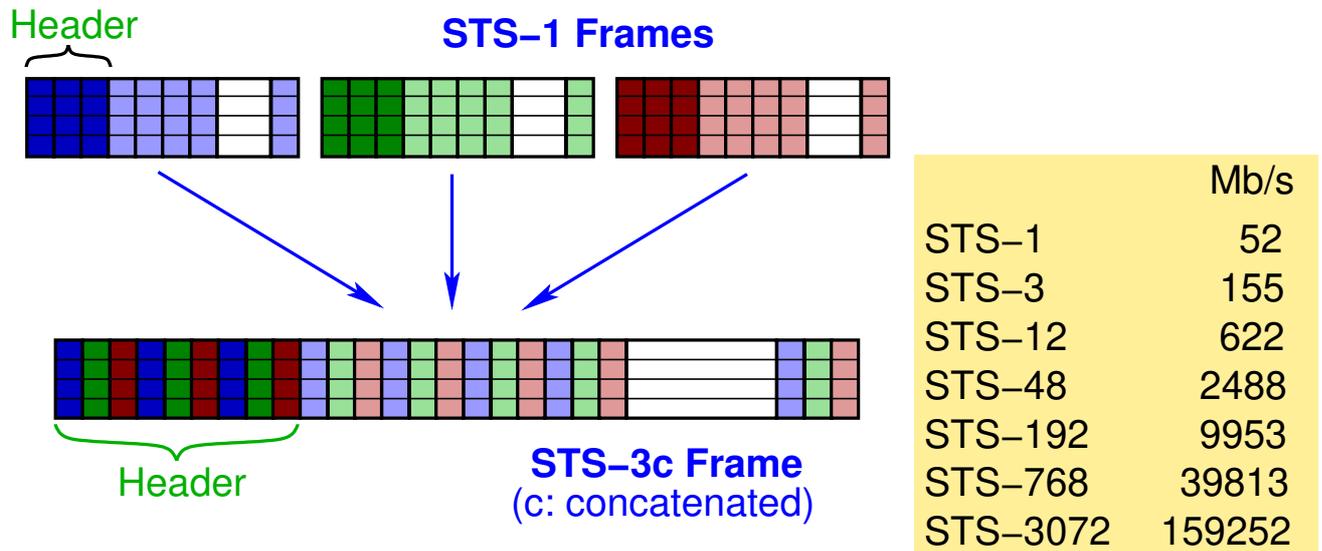
## SONET: Aufbau eines STS-1 Frames



### Anmerkungen zu Folie 30:

- ➔ SONET bezeichnet Frame- bzw. Paketheader als „Overhead“
- ➔ Der Abschnittsoverhead ist ein Header, der Daten zwischen jeweils zwei verbundenen Regeneratoren (Repeatern) austauscht
- ➔ Der Leitungsoverhead entspricht einem Sicherungsschicht-Header
- ➔ Der Pfadoverhead entspricht einem Vermittlungsschicht-Header

### SONET: spaltenweises (= byteweises) Multiplexing



➔ STS-x: elektrische, OC-x optische Übertragung

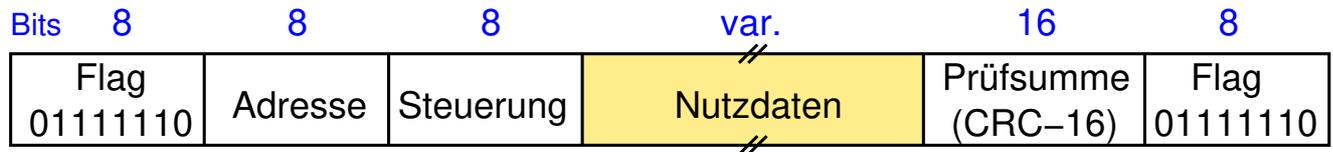
## 1.4 Protokolle für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen

### 1.4.1 HDLC: High Level Data-Link Control

- ➔ Weit verbreitetes Schicht-2-Protokoll (ISO/IEC 13239:2002)
  - ➔ viele Variationen/Ableger: z.B. LAP (Teil von X.25)
- ➔ Eigenschaften:
  - ➔ bitorientiert, Framing mit Bitstuffing
  - ➔ zuverlässige Übertragung (Übertragungsfehler, Reihenfolge)
  - ➔ *Sliding-Window-Algorithmus* mit Fenstergröße 7
    - ➔ akkumulative und negative ACKs
  - ➔ Flußkontrolle
- ➔ Drei verschiedene Frame-Typen:
  - ➔ *I-Frame*: zur Datenübertragung, mit Sequenznummer
  - ➔ *S-Frame*: Steuerung des Datenflusses
  - ➔ *U-Frame*: Steuer- und Datenframes ohne Sequenznummer



### Frame-Format



- ➔ **Adresse** zur Unterstützung von Punkt-zu-Multipunkt-Verbindungen
- ➔ **Steuerung**: enthält je nach Frame-Typ
  - ➔ Sequenz-Nummer des Frames
  - ➔ Sequenz-Nummer für (negative) Bestätigung
  - ➔ Kommando
- ➔ Der Datenteil kann beliebig lang sein
- ➔ Erweiterung (Cisco):
  - ➔ 16-Bit Feld nach Steuerung: übertragenes Schicht-3-Protokoll



# Rechnernetze II

SoSe 2025

15.04.2025

Roland Wismüller  
Betriebssysteme / verteilte Systeme  
roland.wismueller@uni-siegen.de  
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 15. April 2025



- ➔ KI Chat-Bot zur Vorlesung, mit Verlinkung auf Vorlesungsvideos
- ➔ Erreichbar unter <https://lecturelinker.bshef12.bs.informatik.uni-siegen.de>
  - ➔ nur aus dem Uni-Netz
  - ➔ Anmeldung mit ZIMT-Zugangsdaten über CAS erforderlich
- ➔ Einschreibelinke für RN-2: <https://lecturelinker.bshef12.bs.informatik.uni-siegen.de/dashboard?passphrase=panicky-low-twilight>
- ➔ Link auch im Moodle-Kurs

## 1.4 Protokolle für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ...



### 1.4.2 PPP: Punkt-zu-Punkt Protokoll

- ➔ Protokoll der Sicherungsschicht im Internet
  - ➔ für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen
    - ➔ z.B. Modemverbindung, Standleitung
  - ➔ oft auch PPP über Ethernet (PPPoE)
- ➔ Anforderungen / Aufgaben:
  - ➔ Unterstützung verschiedener Leitungsarten
    - ➔ seriell, parallel, synchron, asynchron, ...
  - ➔ Framing und Fehlererkennung
  - ➔ Unterstützung verschiedener Vermittlungsschicht-Protokolle
  - ➔ Aushandeln von Adressen der Vermittlungsschicht
  - ➔ Authentifizierung
- ➔ Nicht: Fehlerbehandlung, Reihenfolgeerhaltung, Flußkontrolle

### PPP Frame-Format

Bytes	1	1	1	1 oder 2	var.	2 oder 4	1
	Flag	Adresse	Steuerung	Protokoll	Nutzdaten	Prüfsumme	Flag
	01111110	11111111	00000011				01111110

- ➔ Basis: HDLC Frame-Format
- ➔ Eindeutige Framekennzeichnung durch *Byte-* oder *Bit-Stuffing*
- ➔ **Adresse** und **Steuerung** ungenutzt / für Erweiterungen
- ➔ **Protokoll** zum Demultiplexen empfangener Frames
  - ➔ an höhere Protokolle, z.B. IP, AppleTalk, DECnet, ...
  - ➔ an Teilprotokolle von PPP, z.B. LCP, NCP
- ➔ Max. Länge des Datenteils kann bei Verbindungsaufbau ausgehandelt werden (Default: 1500 Bytes)
- ➔ **Prüfsumme**: CRC, Länge wird ausgehandelt

#### Anmerkungen zu Folie 35:

PPP kann mit *Byte-Stuffing* oder mit *Bit-Stuffing* arbeiten. Welches Verfahren verwendet wird, hängt von der Übertragung auf Schicht 1 ab. Bei synchroner Übertragung wird *Bit-Stuffing* verwendet, bei asynchroner Übertragung (z.B. RS-232) wird *Byte-Stuffing* verwendet, da die Übertragung hier wortweise erfolgt.

### LCP *Link Control Protocol*

- ➔ Für Initialisierung, „Wartung“ und Abschalten der Leitung
- ➔ Verbindungsaufbau:
  - ➔ Aushandeln der Leitungsoptionen
    - ➔ Initiator schlägt vor (*configure request*)
    - ➔ Partner nimmt an (*ack*) oder lehnt ab (*nak, reject*)
  - ➔ ggf. Authentifizierung
  - ➔ danach: Konfiguration der Vermittlungsschicht durch NCP
- ➔ Weitere spezielle LCP Frames für
  - ➔ Prüfen der Verbindung (*echo request / reply*)
  - ➔ Trennen der Verbindung (*terminate request / ack*)

### Anmerkungen zu Folie 36:

Zum Aushandlungsprotokoll für Leitungsoptionen:

- ➔ Eine *reject*-Antwort bedeutet, daß der Partner die Option an sich nicht versteht oder ablehnt. Das Antwortpaket enthält dabei die betreffende Option.
- ➔ Eine *nak*-Antwort bedeutet, daß der Partner die Option prinzipiell versteht und akzeptiert, nicht aber den vorgeschlagenen Wert dieser Option. Im Antwortpaket sendet er seinen Vorschlag für den Wert zurück.

### Authentifizierung

- ➔ Optional, Aushandlung bei Verbindungsaufbau
  - ➔ einseitige und wechselseitige Authentifizierung möglich
- ➔ PAP (Password Authentication Protocol)
  - ➔ einmalige Übertragung von Nutzernamen und Passwort
  - ➔ im Klartext!
- ➔ CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol)
  - ➔ 3-Wege Handshake: *Challenge*, *Response*, (N)ACK
  - ➔ *Response* ist Hashwert über Passwort und *Challenge*
  - ➔ Authentifizierung kann jederzeit wiederholt werden
- ➔ Keine Verschlüsselung bzw. Authentifizierung der Daten!

### Anmerkungen zu Folie 37:

Die Authentifizierung mit PAP und CHAP ist jeweils nur einseitig, allerdings kann die Authentifizierung in beiden Richtungen ausgehandelt werden, womit sich eine wechselseitige Authentifizierung ergibt.



### NCP *Network Control Protocol*

- ➔ Familie von Protokollen
  - ➔ spezifisch für jeweiliges Vermittlungsschicht-Protokoll
- ➔ NCP erst nach Verbindungsaufbau mit LCP verwendbar
- ➔ spezielles NCP für IP: IPCP (*IP Control Protocol*)
  - ➔ Ausgehandelt werden können u.a.:
    - ➔ IP-Adresse
    - ➔ DNS-Server
    - ➔ TCP/IP-Header-Kompression
- ➔ Nach Konfiguration mit NCP: PPP durch Vermittlungsschicht-Protokoll nutzbar

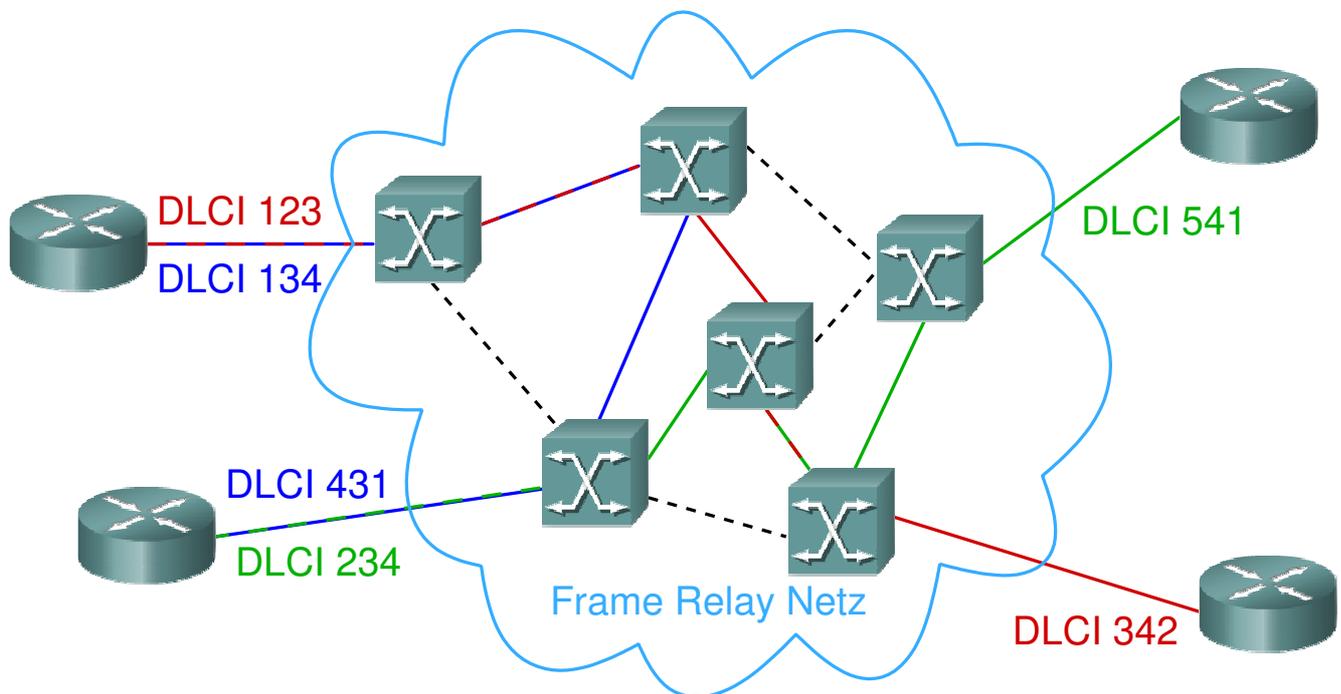
## 1.5 Protokolle für paketvermittelte WANs



### 1.5.1 *Frame Relay*

- ➔ Paketvermittelte Übertragungstechnik für virtuelle Verbindungen
- ➔ Wurde von vielen Netzanbietern als Alternative zu Standleitungen angeboten
- ➔ Basiert auf dem älteren X.25-Protokoll, ursprünglich für ISDN entwickelt
- ➔ Eigenschaften:
  - ➔ unzuverlässig, keine Flußkontrolle, einfache Überlastkontrolle
  - ➔ *Switched* und *Permanent Virtual Circuits* (SVC, PVC)
  - ➔ nur lokal gültige Verbindungs-Identifikatoren
    - ➔ DLCI: *Data Link Connection Id*

### Virtuelle Verbindungen



## 1.5 Protokolle für paketvermittelte WANs ...

### 1.5.2 ATM, *Asynchronous Transfer Mode*

- ➔ Entwickelt Anfang der 90'er Jahre
  - Ziel: Eignung für alle Arten digitaler Kommunikation (Telefonie, Video, Computernetze, ...)
- ➔ Verbindungsorientiert und paketvermittelt
  - Aufbau virtueller Verbindungen
- ➔ Zellen ( $\hat{=}$  Frames) fester Länge
  - 53 Byte: 5 Byte Header, 48 Byte Nutzdaten
  - einfaches Forwarding in Hardware
  - *Quality-of-Service* Garantien vereinfacht
    - Leitung durch Zelle nur kurz belegt



### Zellenformat

Bits	4	8	16	3	1	8	384 (48 Byte)
	GFC	VPI	VCI	Type	CLP	HEC (CRC-8)	Nutzdaten

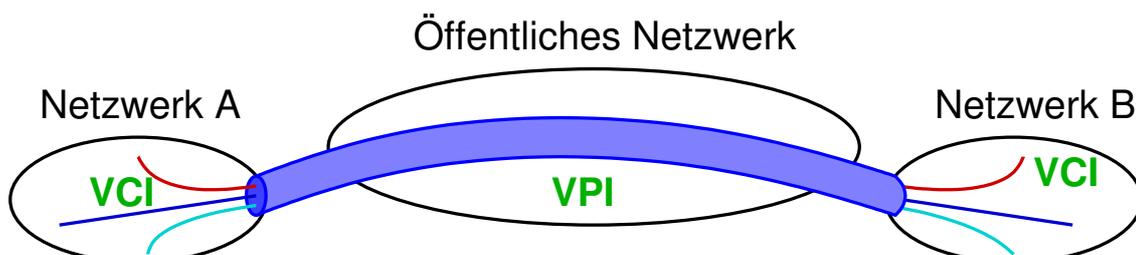
- ➔ **GFC:** *Generic Flow Control* (meist ungenutzt)
- ➔ **VPI:** *Virtual Path Identifier*, **VCI:** *Virtual Circuit Identifier*
  - ➔ hierarchischer Bezeichner für virtuelle Verbindung
- ➔ **Type:** Steuer-/Benutzerdaten; bei Benutzerdaten: je ein Bit für Überlastkontrolle und Signalisierung
- ➔ **CLP:** *Cell Loss Priority* im Überlastfall
- ➔ **HEC:** *Header Error Check:* CRC-8 des Headers

## 1.5.2 ATM, Asynchronous Transfer Mode ...



### VPI und VCI

- ➔ VPI zum Aufbau einer „Leitung“ durch das öffentliche Netz
- ➔ Innerhalb dieser Leitung werden durch VCI mehrere Verbindungen gemultiplext
- ➔ VCI zur Identifikation innerhalb der lokalen Netze



- ➔ Vgl. hierarchischer Aufbau von IP-Adressen



### AAL: ATM Adaptionsschicht

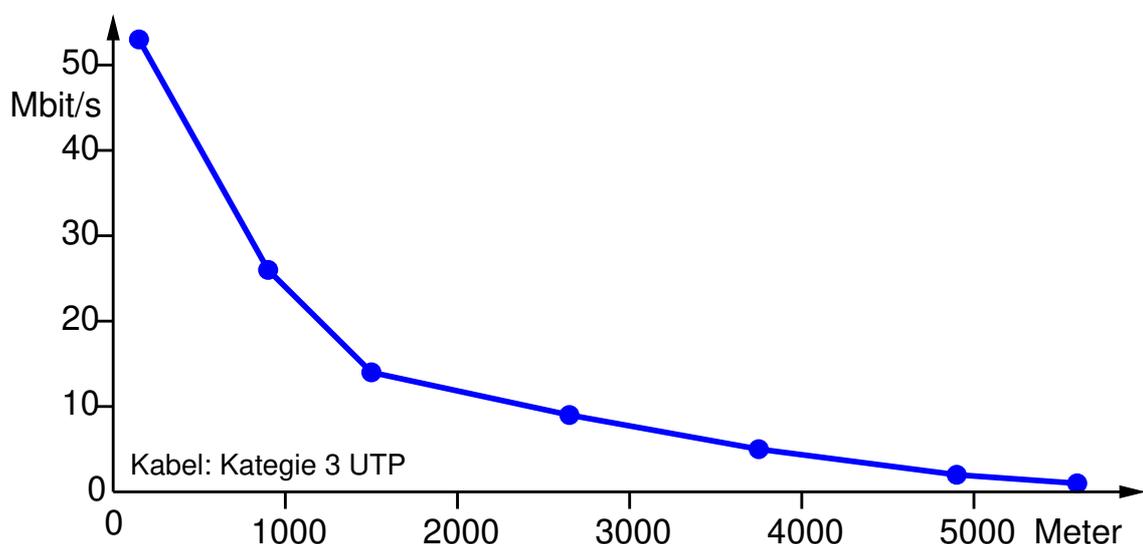
- ➔ Schicht zur Anpassung von ATM an andere Dienste
  - mehrere Typen, je nach Anforderungen
- ➔ AAL 1: verbindungsorientiert, konstante Bitrate
  - z.B. unkomprimierte Sprache
- ➔ AAL 2: verbindungsorientiert, variable Bitrate, zeitsynchron
  - z.B. komprimiertes Audio / Video
- ➔ AAL 3/4: paketorientiert, variable Bitrate, keine Echtzeit
  - Hauptaufgabe: Pakete in Zellen zerlegen und zusammenbauen
  - z.B. für X.25, IP
- ➔ AAL 5: wie AAL 3/4, aber mit weniger Overhead

## 1.6 Last Mile: ADSL, DOCSIS, GPON



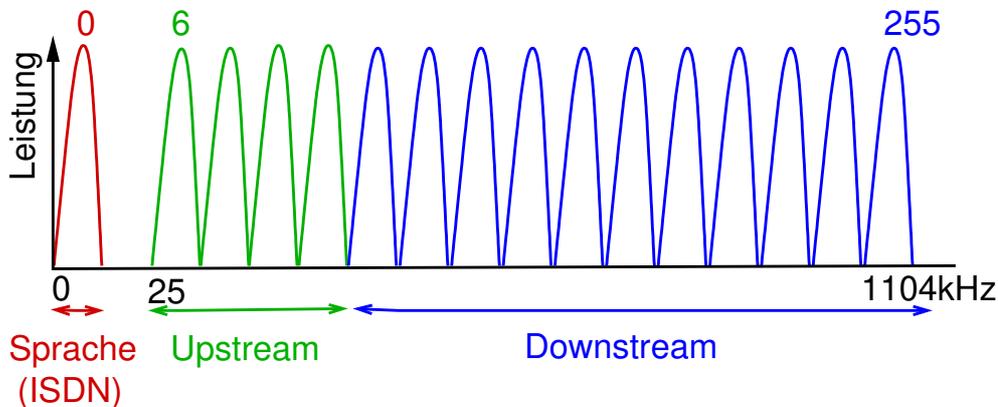
### 1.6.1 ADSL

- ➔ Ziel: Internet-Zugang über Telefon-Teilnehmeranschlußleitung
- ➔ Maximale Übertragungsrate abhängig von der Entfernung zur Teilnehmervermittlung:



## Übertragungstechnik: DMT (Discrete MultiTone)

- ➔ Einteilung in 256 Frequenzkanäle, je 4 kHz breit:



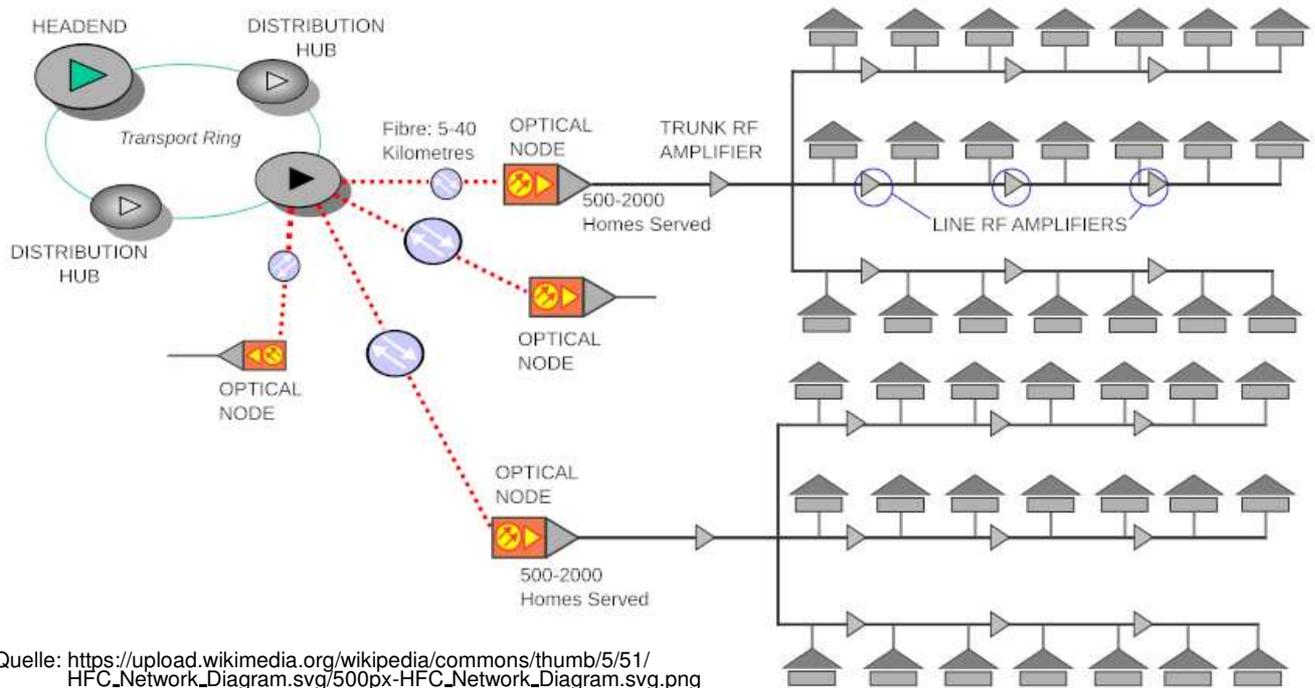
- ➔ Aufteilung in Up- und Downstream flexibel
  - meist 80-90% für Empfangskanal
- ➔ Auf jedem Kanal: QAM (4000 Baud, max. 15 Bit pro Zeichen)
  - Kanäle werden beim Verbindungsaufbau ausgemessen

### Anmerkungen zu Folie 46:

- ➔ Der Abstand der Kanäle beträgt 4,3125 kHz
- ➔ In Deutschland war ursprünglich der Frequenzbereich bis 138 kHz für Telefonie reserviert, um ein einheitliches ADSL-Schema für Analog und ISDN-Anschlüsse zu haben. Mit dem Auslaufen von ISDN kann der gesamte Frequenzbereich zur Datenübertragung genutzt werden.
- ➔ Auf jedem Kanal wird ein dem Signal/Rauschabstand angepaßtes QAM-Verfahren eingesetzt, gestörte Kanäle werden ausgeblendet
- ➔ S-DSL arbeitet anders:
  - symmetrische Aufteilung in *up-* und *downstream*
  - der gesamte Frequenzbereich ab 0 Hz wird für DSL genutzt, ein Telefon kann also nicht mehr angeschlossen werden
  - als Modulation wird nicht DMT verwendet, sondern CAM (*Carrierless Amplitude Phase Modulation*) oder TC-PAM (*Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation*)
- ➔ ADSL2 nutzt bessere Signalverarbeitung und Codierung zur Erhöhung der Datenraten (max. 12 Mb/s downstream und 3.5 Mb/s upstream)
- ➔ Bei ADSL2+ ist der Frequenzbereich verdoppelt (bis 2208 kHz). Zusätzlich erlaubt ADSL2+ auch die Anpassung der Datenrate bei bestehender Verbindung.

### 1.6.2 Data Over Cable Service Interface Spec. (DOCSIS)

#### ➔ Breitbandanschluß über das Kabelfernseh-Netz



Quelle: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/51/HFC\\_Network\\_Diagram.svg/500px-HFC\\_Network\\_Diagram.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/51/HFC_Network_Diagram.svg/500px-HFC_Network_Diagram.svg.png)

### 1.6.2 DOCSIS ...

- ➔ Datenraten (DOCSIS 3.1):
  - ➔ max. 10 Gb/s downstream, 1 Gb/s upstream
- ➔ Übertragung mit OFDM (ähnlich DMT, **3.1.1**)
  - ➔ downstream: 400-1800 MHz, bis 3800 bzw. 7600 Unterkanäle
  - ➔ upstream: 5-400 MHz, bis 1900 bzw. 3800 Unterkanäle
  - ➔ Trägerabstand der Unterkanäle: 50 bzw. 25 kHz
- ➔ Modulationsverfahren: QAM
  - ➔ bis 4096-QAM (12 Bit / Abtastung)
- ➔ Medienzugriffskontrolle (upstream):
  - ➔ FDMA / TDMA: Kabelnetz teilt Frequenz und Zeitschlitz zu
  - ➔ S-CDMA: Mischung aus TDMA und CDMA ( **3.1.1**)
- ➔ Datenübertragung ist verschlüsselt (ab DOCSIS 3.0: 128 Bit AES)
  - ➔ downstream-Übertragung erfolgt als Broadcast

## Anmerkungen zu Folie 48:

- ➔ OFDM arbeitet ähnlich wie DMT, indem auf mehreren Unterkanälen (Träger) gleichzeitig übertragen wird. Bei OFDM sind diese Träger allerdings enger zusammengeschieben, so dass im selben Frequenzband mehr Träger möglich sind als bei DMT.
- ➔ Bei CDMA können mehrere Sender gleichzeitig auf derselben Leitung senden. Das wird erreicht, indem jedes Bit der zu übertragenden Bitfolge durch ein Bitmuster mit mehreren Bits ersetzt wird. Dieses Muster wird für jeden Sender unterschiedlich gewählt, so dass der Empfänger aus der Überlagerung der Signale die einzelnen Bitmuster (und damit die jeweils gesendeten Nutzdaten) wieder rekonstruieren kann.
- ➔ Links:
  - ➔ <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/1510081.htm>
  - ➔ <https://www.promax.es/deu/neuheiten/569/die-neue-technik-hinter-docsis-31>

48-1

## 1.6 Last Mile: ADSL, DOCSIS, GPON ...

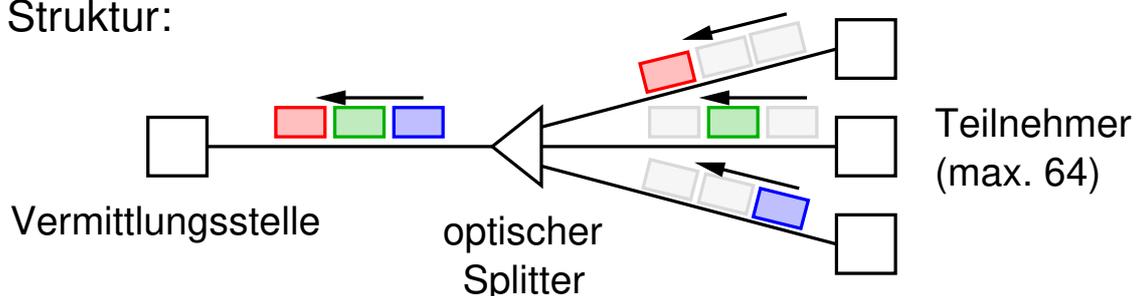


(Animierte Folie)

### 1.6.3 Gigabit Passive Optical Network (GPON)

- ➔ ITU-T G.984 Standard für Glasfasernetze

- ➔ Struktur:



- ➔ downstream: Broadcast, upstream: TDMA
- ➔ über eine Faser mit zwei verschiedenen Wellenlängen
- ➔ Übertragungsraten: 2.5 Gb/s downstream, 1.25 Gb/s upstream
- ➔ Übertragung eines GPON-Frames alle 125  $\mu$ s

- ➔ GPON-Frame kann mehrere ATM-Zellen oder GEM-Frames enthalten
  - ➔ Header enthält u.a. Information zu TDMA-Zeitlots
- ➔ GEM (*GPON Encapsulation Method*)
  - ➔ verbindungsorientiert
  - ➔ adressiert Teilnehmer über Port-IDs
  - ➔ fragmentiert Nutzdaten
  - ➔ kapselt u.a. E1/T1-Daten oder Ethernet-Frames
- ➔ Übertragung mit AES (128 Bit) verschlüsselt
- ➔ Neben GPON auch EPON (*Ethernet Passive Optical Network*)
  - ➔ überträgt Ethernet-Frames direkt

### Anmerkungen zu Folie 50:

GPON wird bei allen Glasfaser-Anschlüssen der Telekom und vieler anderer Netzbetreiber verwendet.

Weiterführende Links:

- ➔ [https://de.wikipedia.org/wiki/Gigabit\\_Passive\\_Optical\\_Network](https://de.wikipedia.org/wiki/Gigabit_Passive_Optical_Network)
- ➔ <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/1403181.htm>
- ➔ <https://www.ipinfusion.com/resources/fiber-to-the-premises-pondering-the-details>
- ➔ <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/switches/catalyst-pon-series/216230-understand-gpon-technology.html>
- ➔ <https://forum.huawei.com/enterprise/intl/en/thread/basic-gpon-concepts-gem-frame-and-t-cont/667259272221835265>

## 1.7 Zusammenfassung / Wiederholung



- ➔ Nyquist-Theorem
  - Signal mit Bandbreite  $H$ : max.  $2 \cdot H$  Abtastungen / s
- ➔ Shannon'sches Theorem
  - Leitung mit Bandbreite  $H$  und Rauschabstand  $S/N$ : max. Datenübertragungsrate  $H \cdot \log_2(1 + S/N)$
- ➔ bit/s versus Baud
  
- ➔ Telefonnetz (T1/E1, SONET)
  - synchrone Netze (garantierte, konstante Datenrate)
  - bit- bzw. byteweises Multiplexing
    - mehrere Datenströme über ein Kabel
  - taktbasiertes Framing (kein Bit-/Bytestuffing)

## 1.7 Zusammenfassung / Wiederholung ...



- ➔ PPP: Sicherungsschicht-Protokoll im Internet
  - unzuverlässig, keine Flußkontrolle
  - optionale Authentifizierung (PAP, CHAP)
  - Aushandlung von Parametern für Vermittlungsschicht
- ➔ *Frame Relay*: virtuelle Verbindungen
- ➔ ATM: Zellenvermittlung, virtuelle Verbindungen
  
- ➔ ADSL: 256 Kanäle á 4 kHz, jeweils mit QAM
- ➔ DOCSIS: OFDM, QAM, TDMA bzw. CDMA für upstream
- ➔ GPON: zwei Wellenlängen, TDMA für upstream