

Vorlesung Kommunikationstechnik

Digital Subscriber Line (xDSL)

Harald Orlamünder

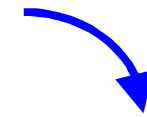
SS 2014

Inhalt

- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
- DSL-Typen
- Weiterentwicklungen

Grundidee

- **Das Ziel:**
Hochbitratige Datenübertragung über die Telefonanschlußleitung (TAL).
- **Das Problem:**
Die Charakteristik der Leitung
 - Frequenzgang
 - Störungen
- **Die Lösung:**
aufwändige Codier- und Modulationsverfahren.
- Und was ist mit der **Telefonie**?
 - Die muss natürlich nach wie vor unterstützt werden! ... irgendwie ...



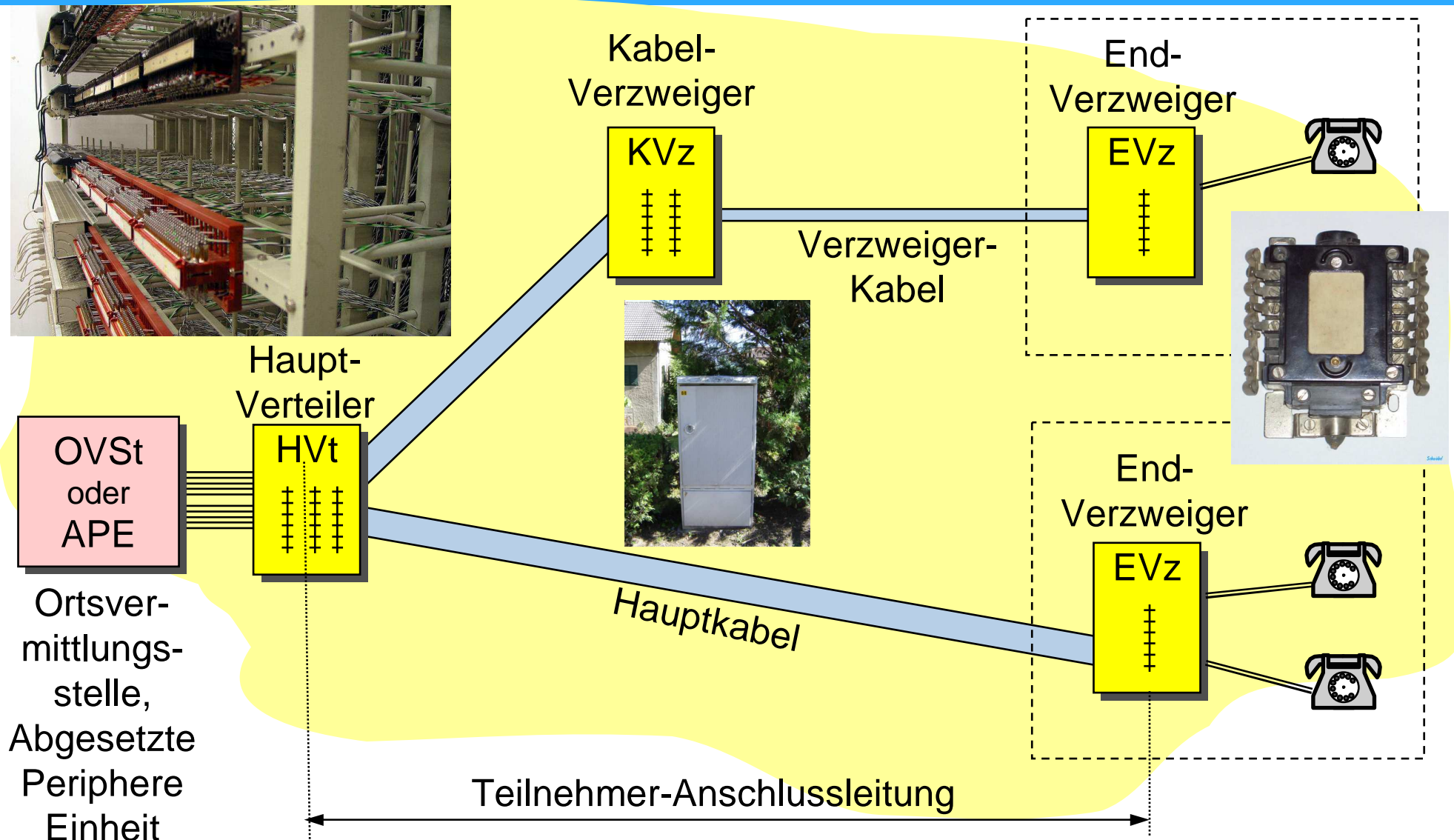
Der nutzbare Frequenzbereich muss über die 3,4 kHz der Telefonie erweitert werden.



Inhalt

- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
- DSL-Typen
- Weiterentwicklungen

Teilnehmer-Anschlussleitung – Konfiguration



Teilnehmer-Anschlussleitung – Kabel (1)

■ Hauptkabel:

- Mittlere Länge: 1,7 km
- 50% der Teilnehmer: < 1,5 km, in Städten 1,3 km
- 90% der Teilnehmer: < 4 km, in Städten: 2,8 km
- mittlere Anzahl der Kupferdoppeladern: 490

■ Verzweigungskabel:

- Mittlere Länge: 300m
- 50% der Teilnehmer: < 200m
- 90% der Teilnehmer: < 500m
- mittlere Anzahl der Kupferdoppeladern: 30



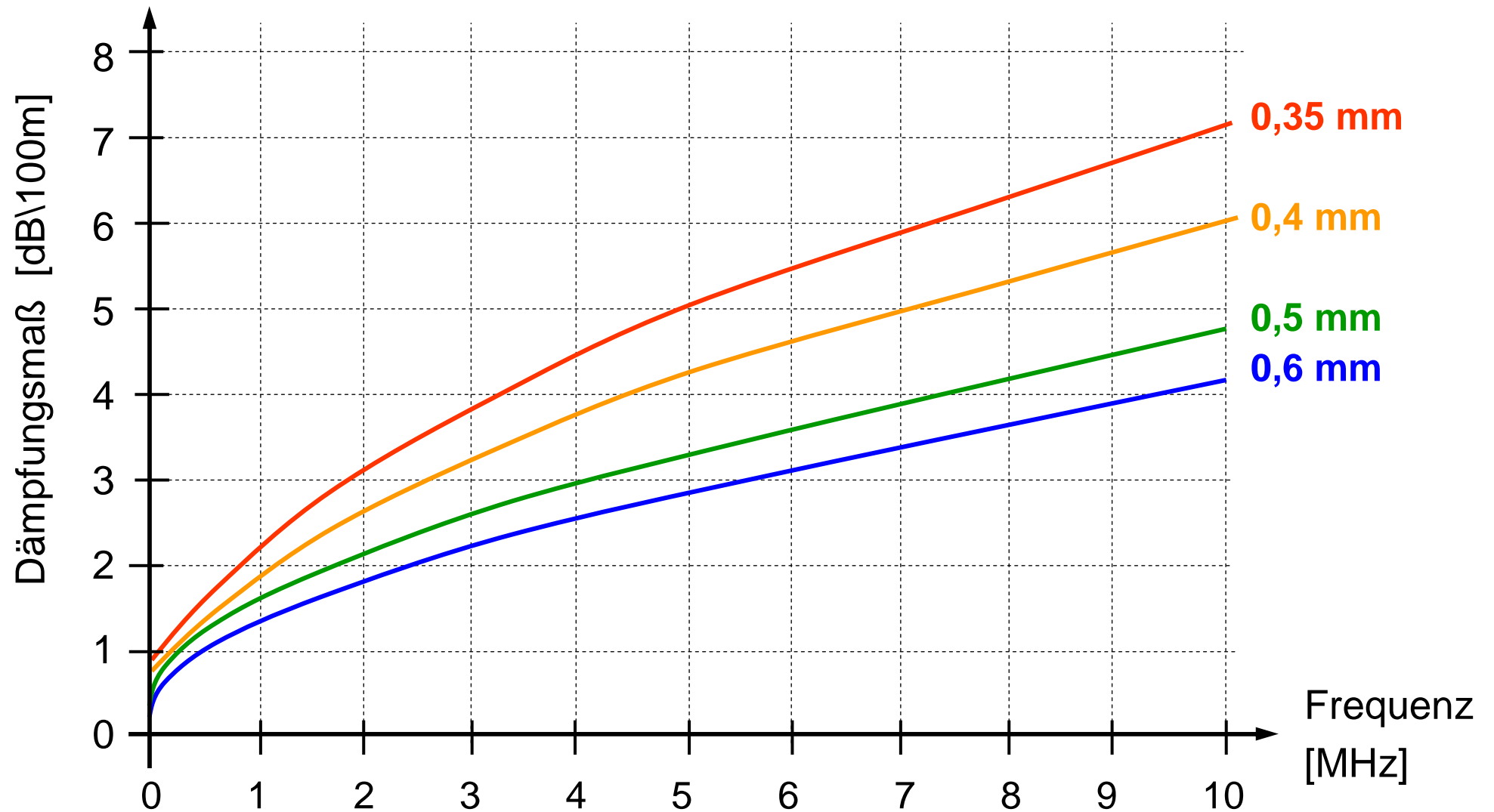
Hauptkabel, 2000 CuDa

Teilnehmer-Anschlussleitung – Kabel (2)

- Der Aderdurchmesser der Kupferdoppeladern bestimmt die Dämpfung der Leitung (bei gegebener Länge).
- Früher wurden bei der Deutschen Telekom die folgende Aderdurchmesser verwendet:
 - 0,4 mm
 - 0,6 mm
 - 0,8 mm (in Ausnahmefällen)
- Dann wurde „Kupfer gespart“ und bei Neuinstallationen folgende Aderdurchmesser verlegt:
 - 0,35 mm
 - 0,5 mm
- Eine Teilnehmer-Anschlussleitung besteht in der Regel aus einer Aneinanderreihung verschiedener Kabelstücken.

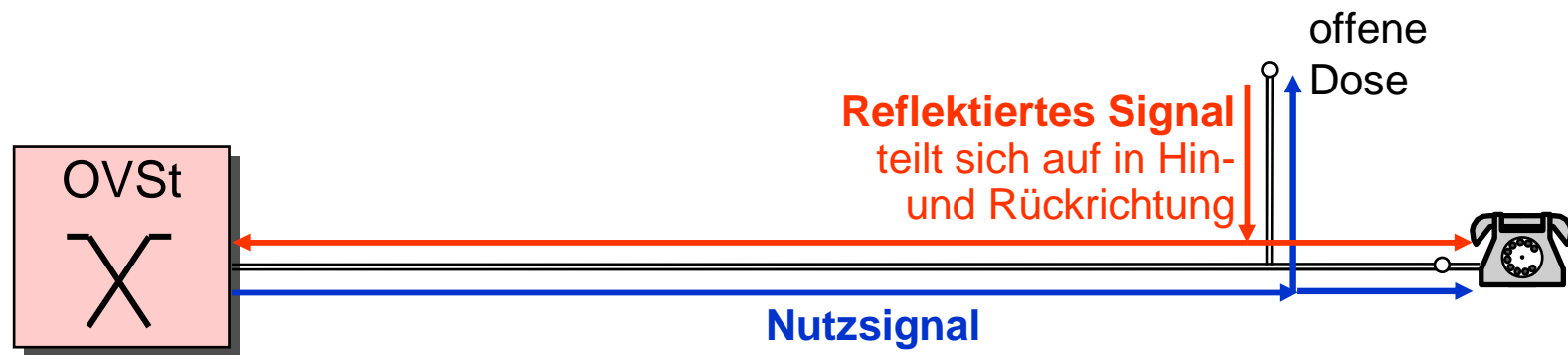
... schlecht für DSL ...

Teilnehmer-Anschlussleitung – Dämpfung



Teilnehmer-Anschlussleitung – Stichleitungen

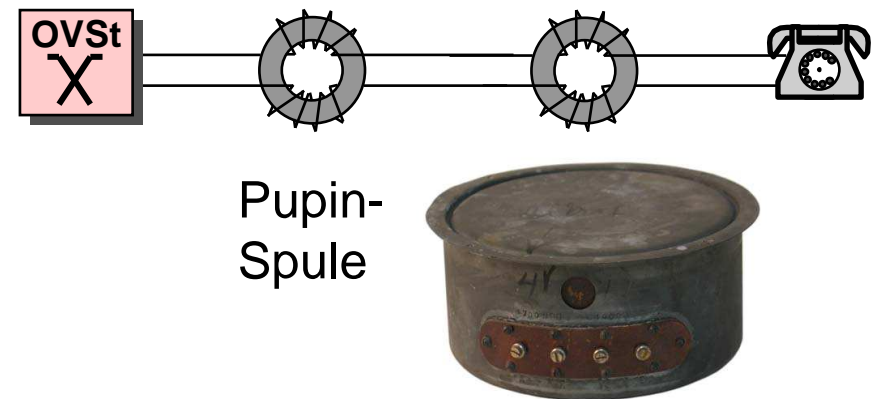
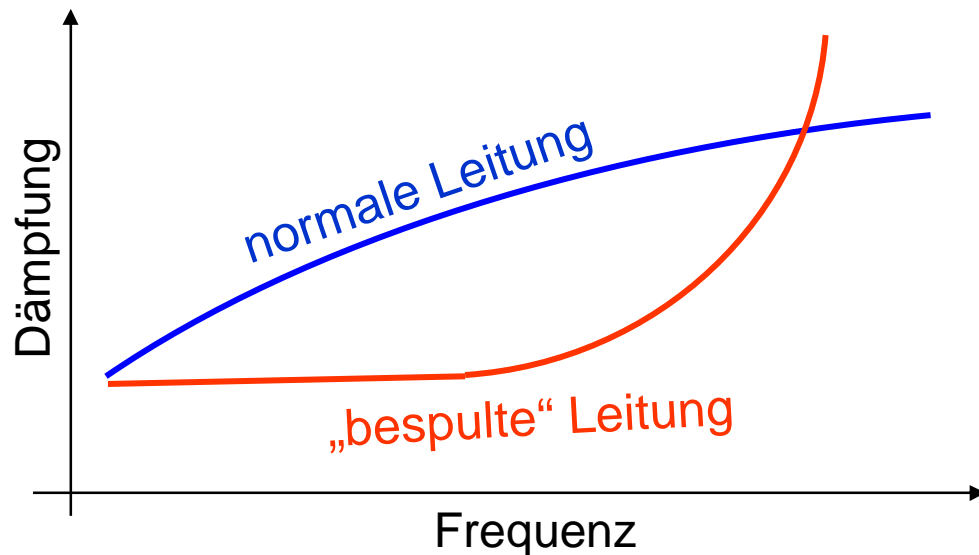
- Im Teilnehmerbereich finden sich häufig Stichleitungen, z.B. zu verschiedenen Telefonsteckdosen.
- An solchen nicht abgeschlossenen Leitungen kommt es zu Reflexionen des Signals



- Dies hat beim analogen Telefon keinen Einfluss, ist aber schädlich wenn höhere Frequenzen übertragen werden
(... schlecht für DSL ...)

Teilnehmer-Anschlussleitung – Pupin-Spulen

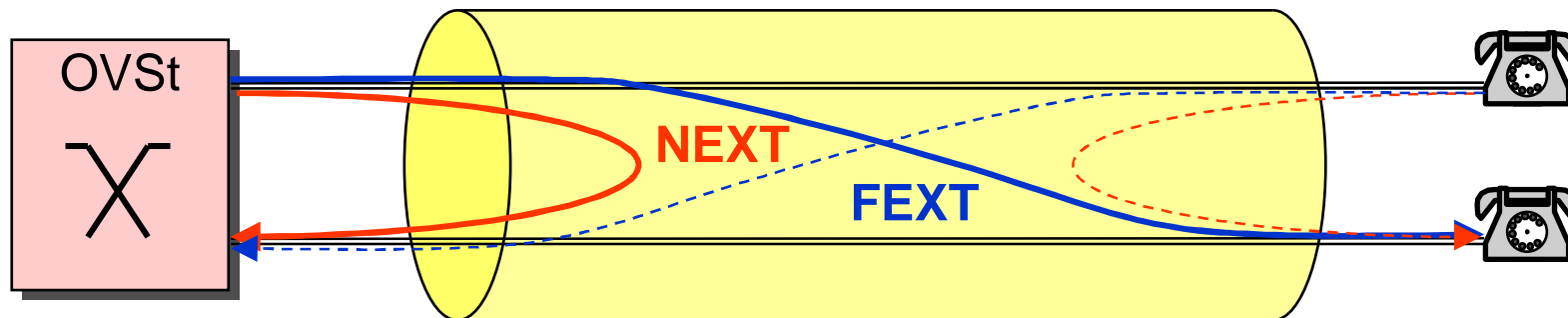
- Wird auf einer Leitung der Induktivitätsbelag erhöht, vermindert das die Dämpfung bei niedrigen Frequenzen.
- Diesen Effekt hat man früher durch das Einfügen von diskreten Spulen in die Leitung – so genannte Pupin-Spulen * – erreicht.
- Allerdings steigt die Dämpfung dadurch bei höheren Frequenzen stark an (... schlecht für DSL ...).



* Michael Pupin, 1858-1935
amerikanischer Elektro-Ingenieur

Teilnehmer-Anschlussleitung – Nebensprechen

- Die einzelnen Kupferdoppeladern in einem Kabel unterliegen einer induktiven Kopplung, so dass es zu „Nebensprechen“ oder „Übersprechen“ kommt.
- Man unterscheidet:
 - Nah-Nebensprechen (NEXT – Near End Cross Talk)
 - Fern-Nebensprechen (FEXT – Far End Cross Talk)

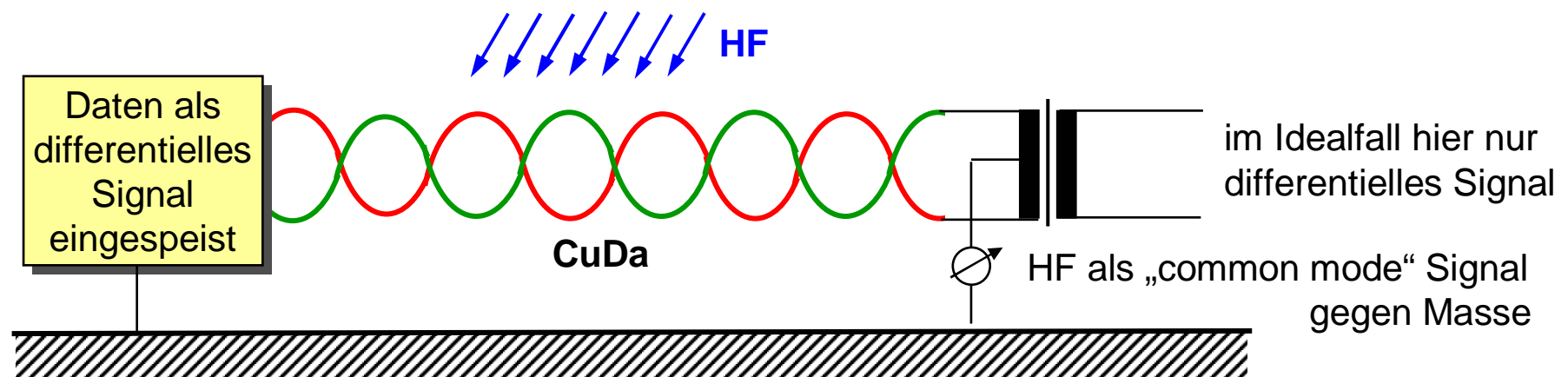


- Je höher die zu übertragende Frequenz ist, desto stärker ist das Nebensprechen (... schlecht für DSL ...).

„Self“: wenn gleiche Technik stört
„Alien“: wenn fremde Technik stört

Teilnehmer-Anschlussleitung – HF-Störungen

- Dadurch, dass die DSL-Techniken Frequenzen benutzen, die Funkdiensten zugewiesen sind, kann es zu Störungen kommen.
- Dabei kann
 - ein Funkdienst Hochfrequenz (HF) in die CuDa einkoppeln
 - die CuDa HF abstrahlen und einen Funkdienst stören.
- Durch die differentielle Betriebsweise (auch das Verdrillen) der CuDa werden diese Effekte zwar gemindert, können aber nicht vollständig eliminiert werden.



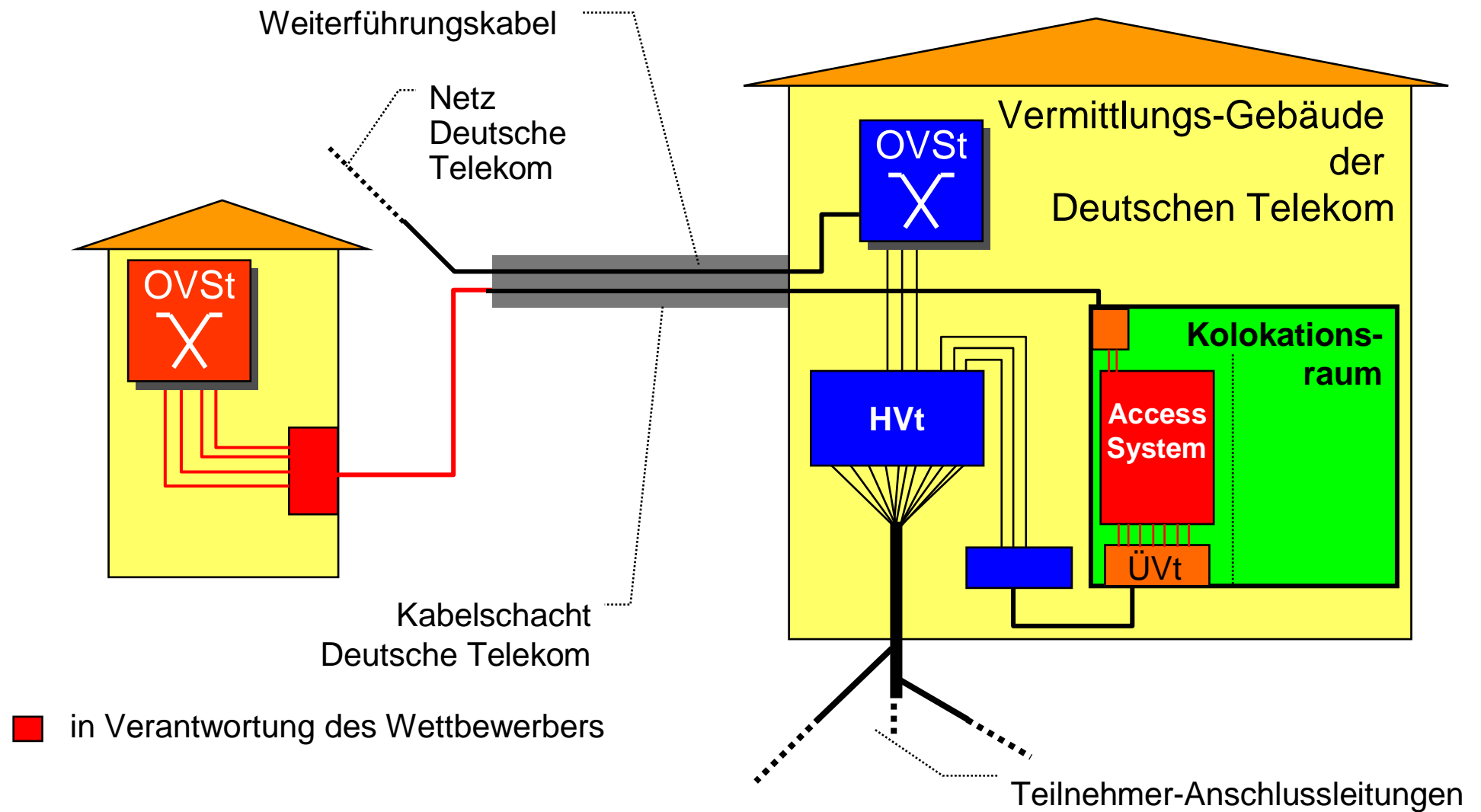
Teilnehmer-Anschlussleitung – Impuls-Störungen

- Jedes Ein- und Ausschalten von Geräten erzeugt einen Impuls, der sowohl als HF abgestrahlt wird, als auch in Leitungen sich fortpflanzt.
- Weitere Störer sind
 - Elektromotoren (Funkenabriss am Kollektor)
 - atmosphärische Effekte (z.B. Gewitter)
 - Hochspannungsleitungen (besonders defekte Isolatoren)

Wettbewerber der Deutschen Telekom

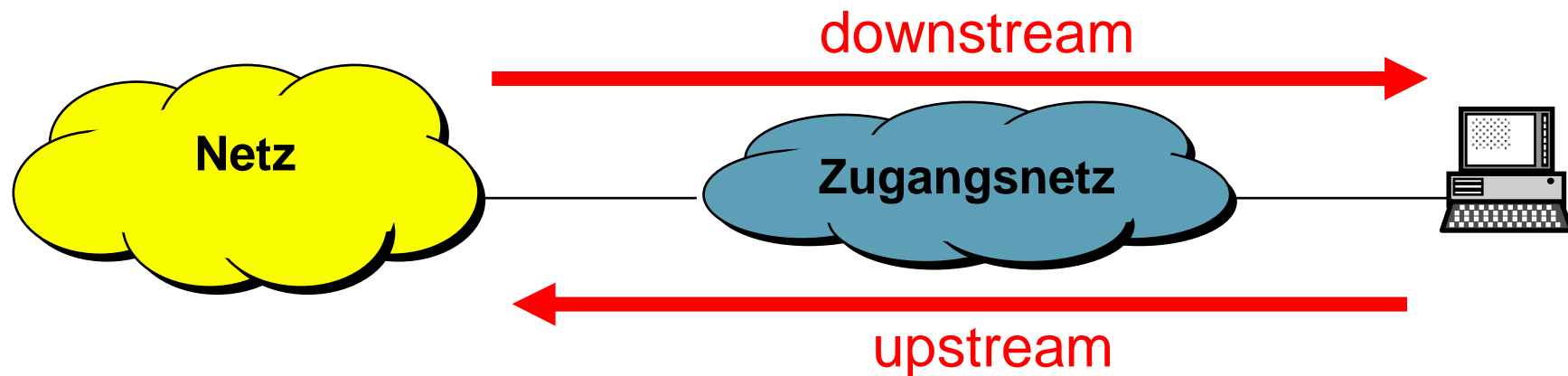
- Wenn Wettbewerber der Deutschen Telekom Telekommunikationsdienste im Festnetz anbieten wollen, so habe sie dazu mehrere Möglichkeiten:
 - **Verlegen eigener Leitungen** – das ist aufwändig und teuer („Wer gräbt verliert ...“)
 - **Aufbau einer Funk-Infrastruktur** (Wireless Local Loop – WLL, z.B. mit WiMAX) – das wurde immer wieder propagiert, wird aber bis heute nur in Nischen eingesetzt.
 - **Mieten** der Teilnehmeranschlussleitung von der Deutschen Telekom – so genannter „**Entbündelter Teilnehmerzugang**“

Entbündelter Teilnehmerzugang

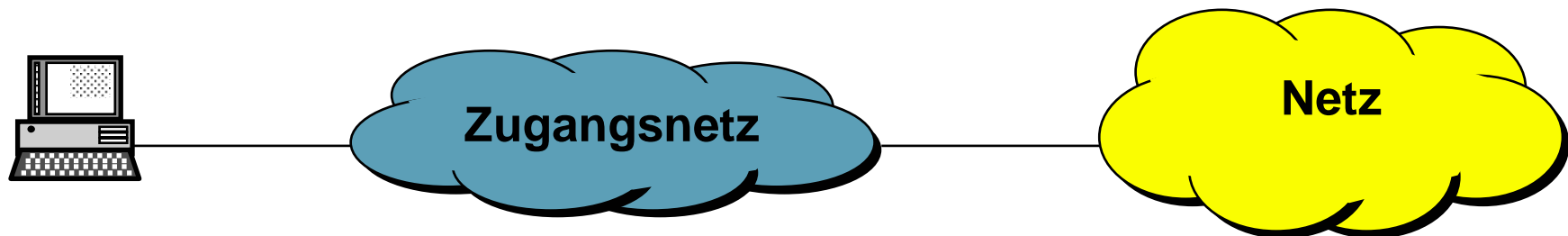


Sprachregelung

- „**Downstream**“ bezeichnet die Richtung VOM Netz ZUM Teilnehmer.
- „**Upstream**“ bezeichnet die Richtung VOM Teilnehmer ZUM Netz.



- **Achtung:** der Teilnehmer wird manchmal auch links gezeichnet!



Inhalt

- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
- DSL-Typen
- Weiterentwicklungen

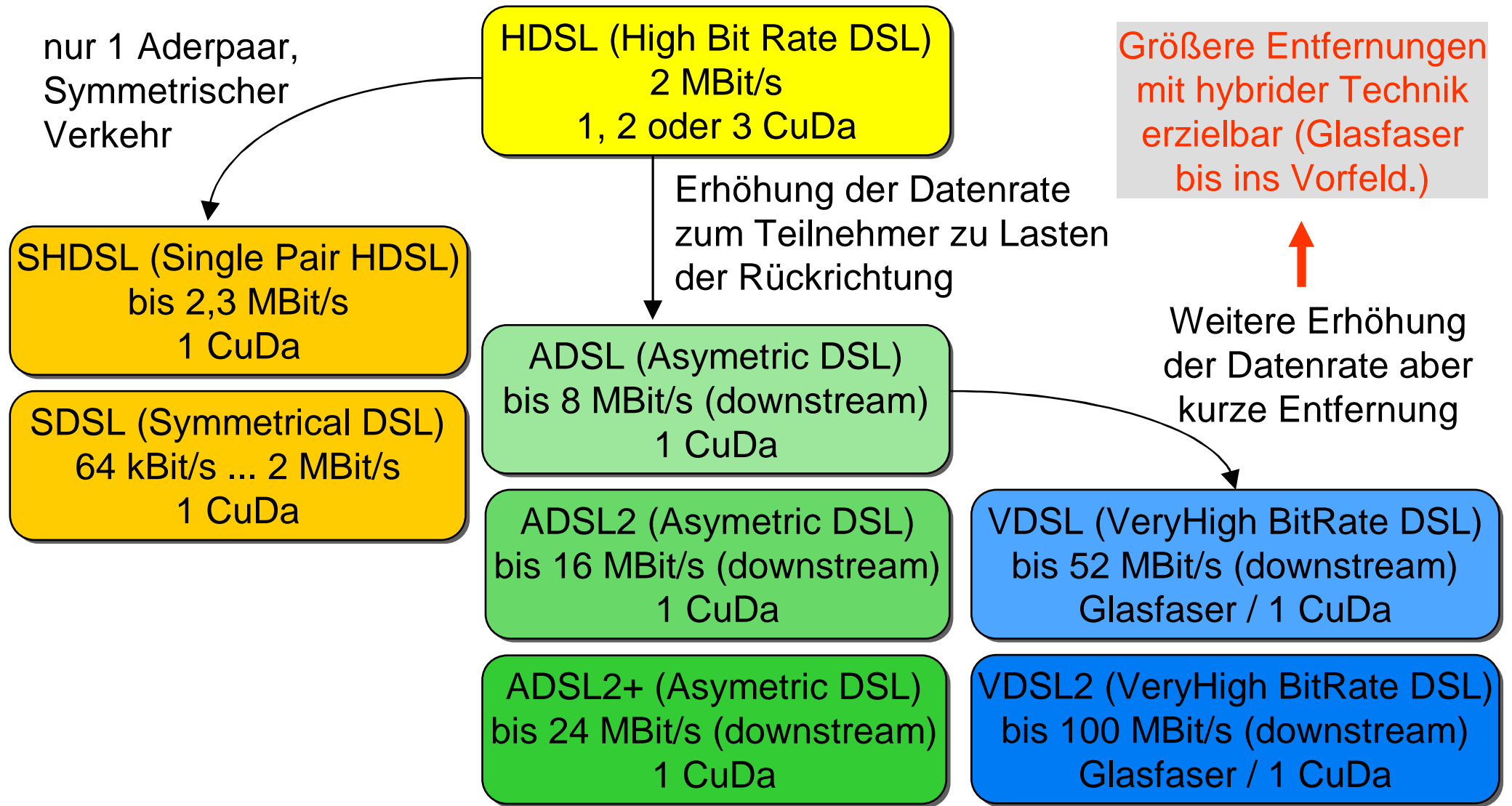
Digital Subscriber Line (DSL) – Allgemein

- Durch Weiterentwicklungen in der Technik und besonders in der Hochintegration von Chips konnte die Datenrate auf der klassischen Telefonanschlussleitung gegenüber ISDN nochmals kräftig gesteigert werden.
- Die Technik ist unter dem Begriff „**Digital Subscriber Line**“ (DSL) bekannt, wobei es eine Reihe von Varianten gibt:
 - **HDSL** (High-Speed Digital Subscriber Line)
 - **SDSL** (Symmetric Digital Subscribe Line)
 - **ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line)
 - **VDSL** (Very High Speed Digital Subscriber Line)

DSL-Technologien – Unterscheidungskriterien

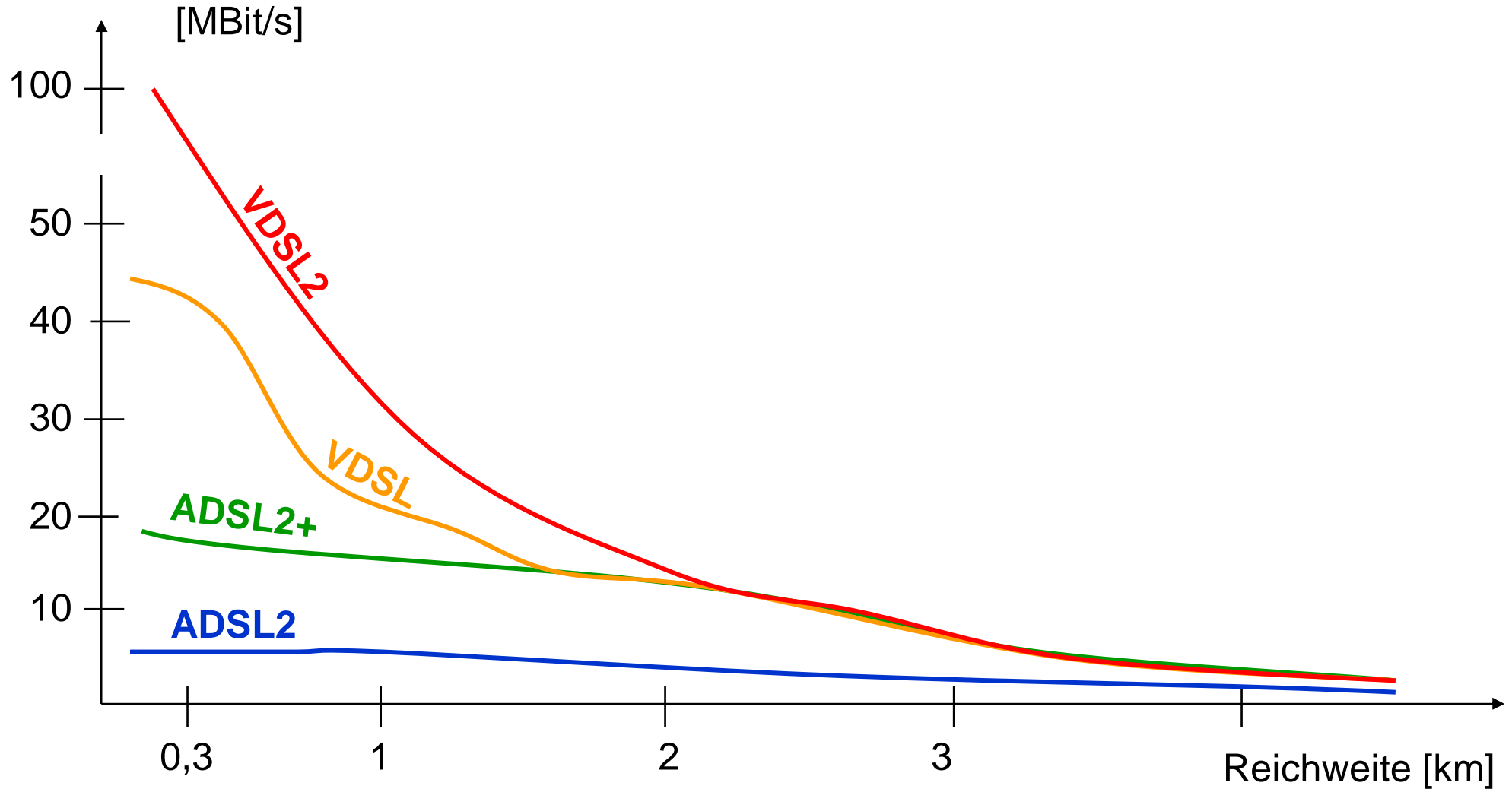
- Anzahl der benutzten Kupferdoppeladern (CuDa)
 - Einpaar-System ←
 - Mehrpaar-Systeme ←
 - Richtungstrennung
 - Simplex (Raummultiplex, getrennte CuDa) ←
 - Halbduplex (Zeitmultiplex) ←
 - Vollduplex (Frequenzmultiplex oder Echokompensationsverfahren) ←
 - Bandbreitenaufteilung
 - symmetrisch (Upstream gleiche Geschwindigkeit wie Downstream) ←
 - asymmetrisch (Downstream höhere Geschwindigkeit) ←
 - POTS/ISDN
 - im Basisband („Frequenzmultiplex“) ←
 - im Übertragungsrahmen („Zeitmultiplex“) ←
 - als „Daten“ (VoIP) ←
 - Komponenten im Vorfeld
 - nur passiv (z.B. Verteiler und Muffen) ←
 - mit aktiver Technik (hybride Lösung) ←
-

DSL-Technologien – Übersicht

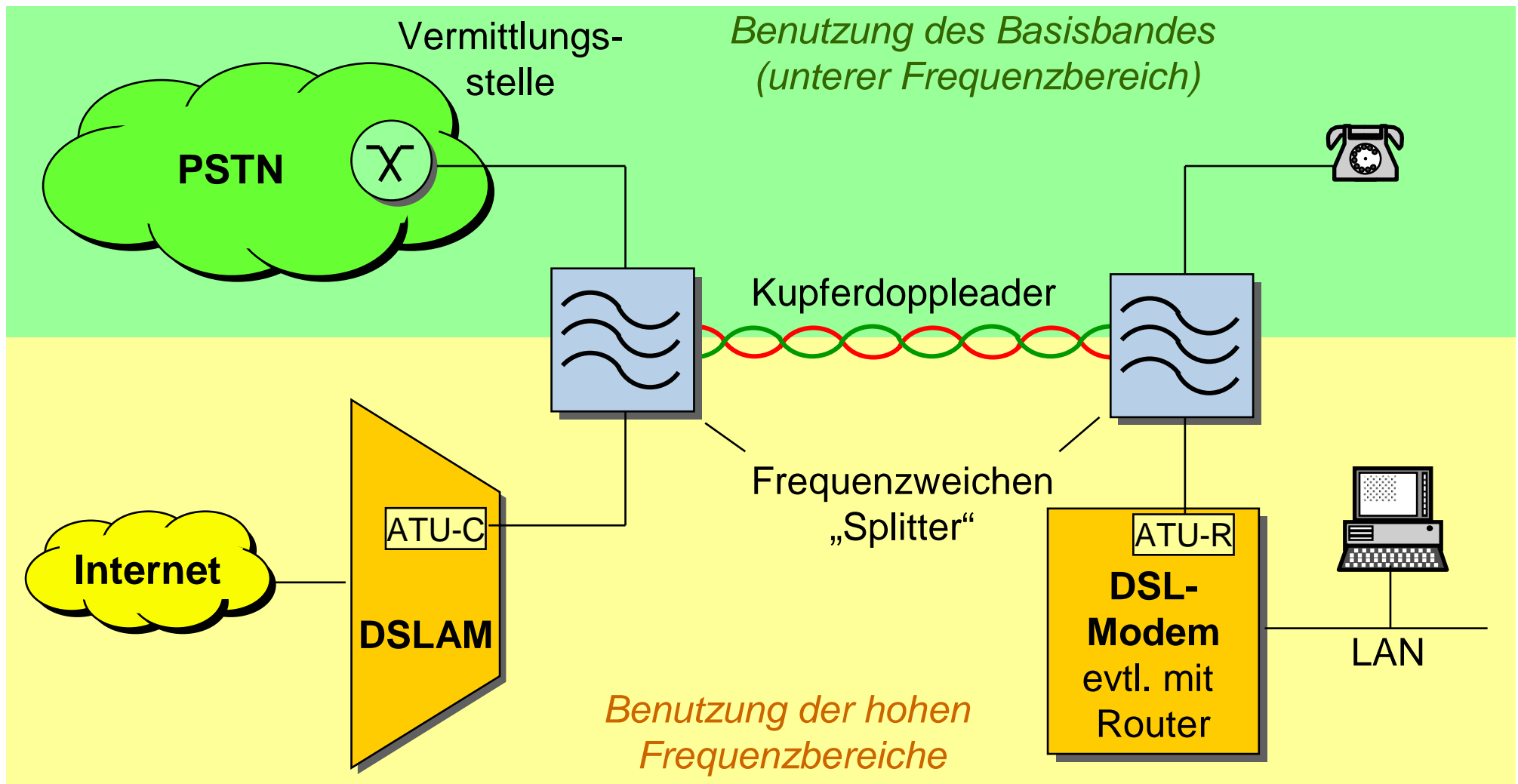


DSL – Reichweitenvergleich

Übertragungsgeschwindigkeit
[MBit/s]



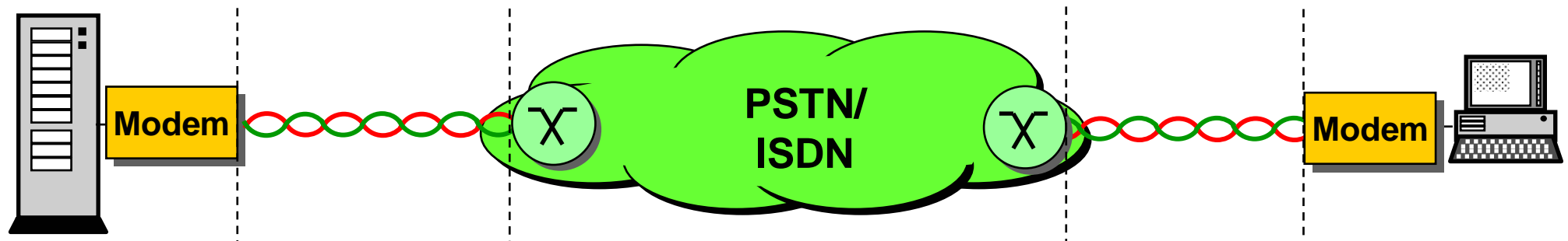
DSL-Referenzkonfiguration mit Splitter



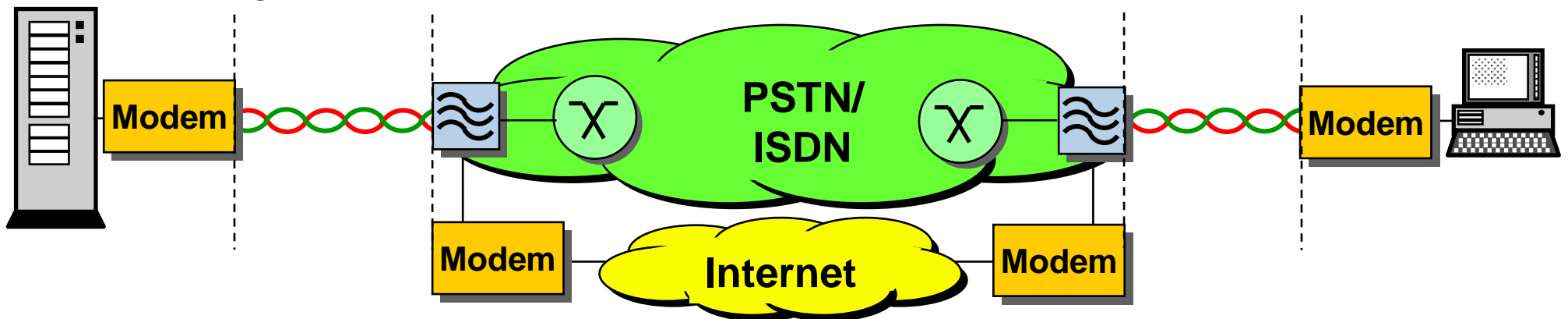
ATU-C ADSL Transmission Unit – Central Office, ATU-R ADSL Transmission Unit - Remote

DSL-Modem – Unterschied zum Sprachbandmodem

- **Sprachbandmodems** sind den Endsystemen zugeordnet und benutzen den Telefonkanal wie ein Telefon.



- **DSL-Modems** sind den Endsystemen und den Zugangssystemen zugeordnet und benutzen nur die Telefon-Anschlussleitung



DSL ohne Kupferdoppelader ?

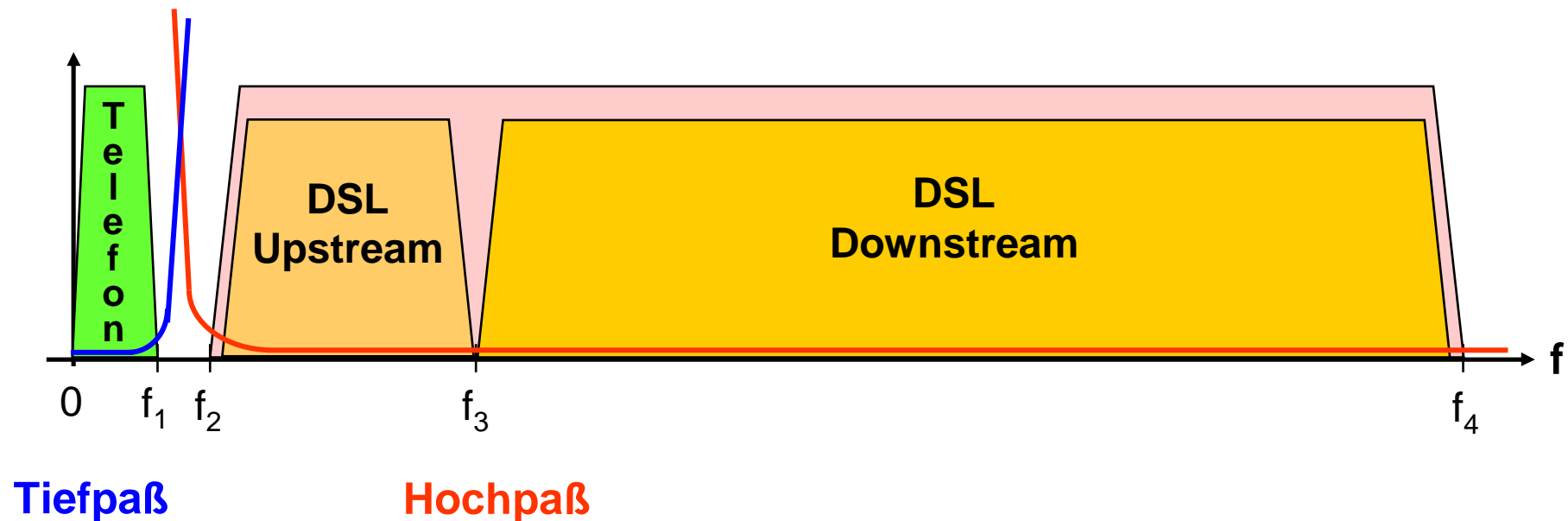
- Klassischerweise ist der Begriff „Digital Subscriber Line“ (DSL) mit der Kupferdoppelader des Telefonnetzes verknüpft.
- Allerdings schwimmen auf der Erfolgswelle inzwischen andere Techniken, die diesen Begriff fälschlicherweise nutzen:
 - Stromleitungen (Power-DSL, PDSL)
 - Satelliten (Sky-DSL)
 - Funk (Wireless-DSL, WDSL, Portable-DSL, Wave-DSL)
 - Glasfasern (Fiber-DSL, FDSL)
- Hier sollen aber nur die Techniken der Kupferdoppelader betrachtet werden.

Inhalt

- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
 - Frequenztrennung
 - Modulation und Codierung
 - Fehlerkorrektur
- DSL-Typen
- Weiterentwicklungen

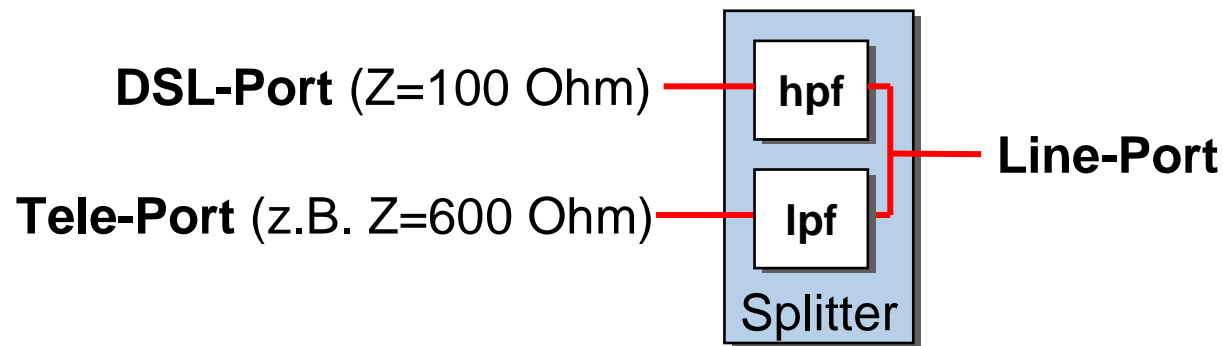
DSL-Technologie – Frequenztrennung

- Telefon im Basisband (tiefe Frequenzen) übertragen
- Daten moduliert auf höheren Frequenzen übertragen
- Frequenztrennung durch Filter („Splitter“)



DSL-Technologie – Splitter

- Der Splitter trennt den
 - niederfrequenten Anteil für das Telefon (Basisband) und den
 - höherfrequenten Anteil für die Daten
- Dazu dient eine Kombination aus
 - Hochpass (hpf) und
 - Tiefpass (lpf).
- Die verschiedenen Ports müssen den vorhandenen Wellenwiderständen entsprechen.

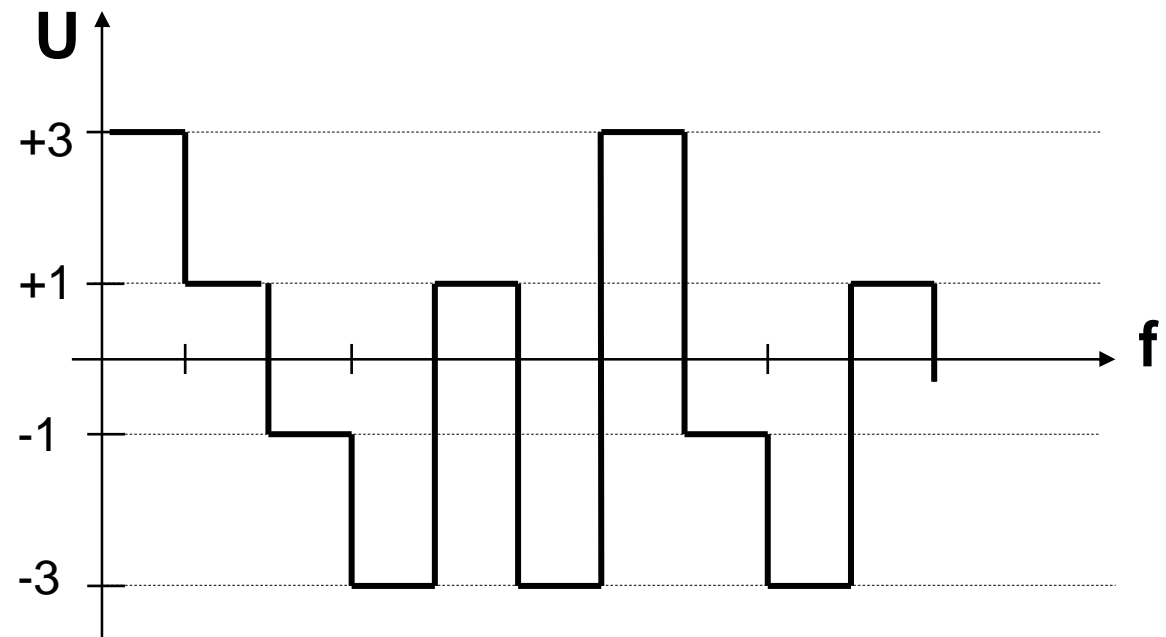


Inhalt

- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
 - Frequenztrennung
 - Modulation und Codierung
 - Fehlerkorrektur
- DSL-Typen
- Weiterentwicklungen

- Puls Amplituden Modulation (PAM), vergleichbar amerikanischem ISDN
- 2 binäre Symbole werden auf 1 vierwertiges (quartärnäres) Symbol abgebildet.
- Die Abbildung ist eindeutig und ohne Redundanz.

1. Bit	2. Bit	Q-Signal
1	0	+3
1	1	+1
0	1	-1
0	0	-3



- Von „Bell Communication Research“ in 1988 vorgestellt.
- Einträgerverfahren, Bandpass-Charakteristik.
- Entspricht der Quadratur Amplituden Modulation (**QAM**), wobei in der Regel keine analoge Modulation erfolgt, sondern die Funktionalität in einem digitalen Signalprozessor realisiert wird *.
- Einfache Realisierung
- Schneller Verbindungsaufbau
- **ABER:** das DMT-Verfahren ist für die Anforderung der Kupferdoppelader besser geeignet!

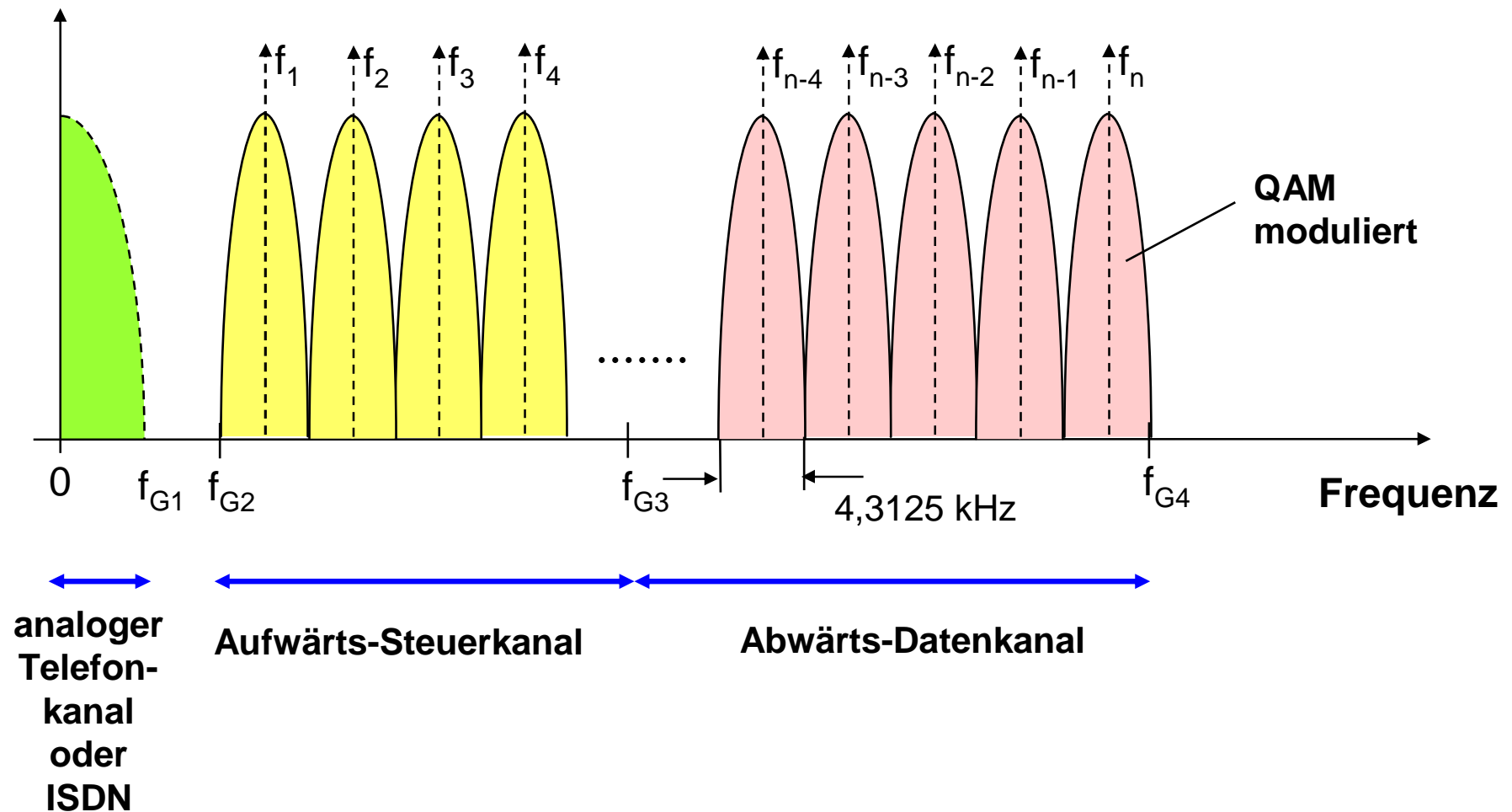
* Der Unterschied zur normalen QAM liegt in der Implementierung, wobei CAP nur dann funktioniert, wenn die Datenrate und die Trägerfrequenz in der gleichen Größenordnung liegen.)

Discrete Multi Tone (DMT) – Eigenschaften

- Gleichzeitige Übertragung eines analogen Telefonkanals
- Bis zu 256 **einzelne Träger** (bei ADSL), die flexibel dem Auf- und Abwärtskanal zugeordnet werden können
- Trägerabstand 4,3125 kHz, obere Grenzfrequenz: 1,104 MHz (bei ADSL)
- Jeder Träger wird mit **QAM** moduliert
- Stufenzahl des Modulators einstellbar von 4 bis 32194 (2 ... 15 Bit/Übertragungsschritt)
- Damit Übertragungsgeschwindigkeit pro Träger zwischen 6,5 kbit/s und 50 kbit/s
- Richtungstrennung durch **Frequenzmultiplex**, aber auch durch **Echolöschung** vorgesehen

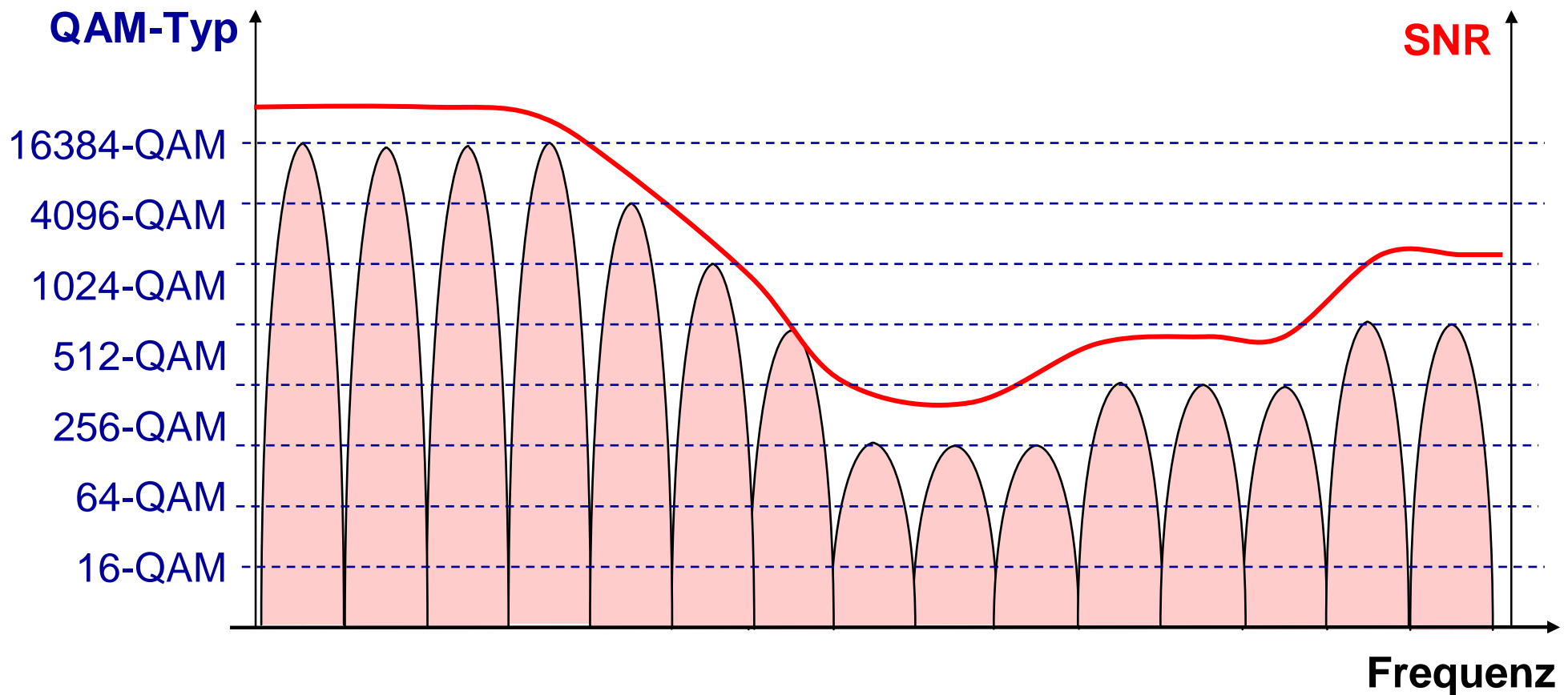
(DMT entspricht dem in der Funktechnik gebräuchlichen OFDM-Verfahren - Orthogonal Frequency Division Multiplex.)

Discrete Multi Tone (DMT) – Kanalbelegung (ADSL)



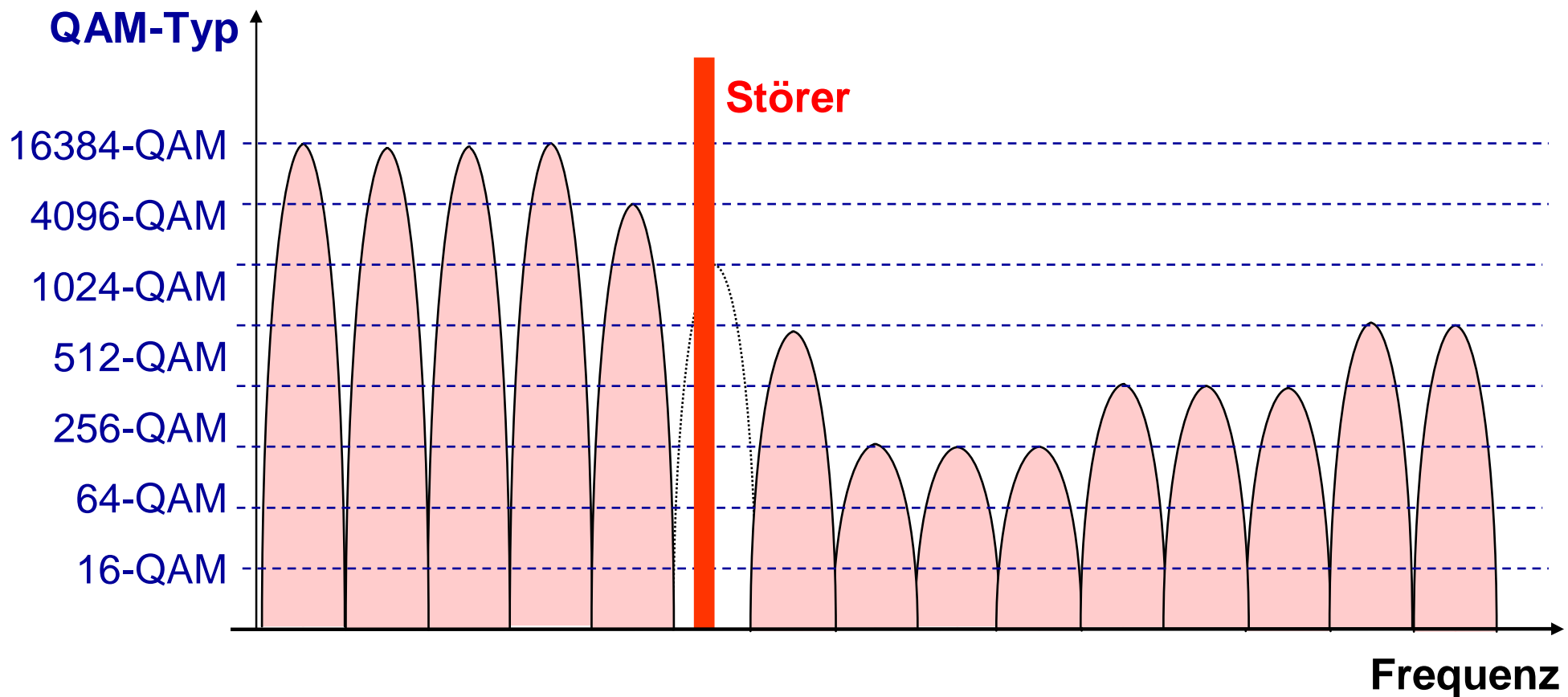
DMT – Anpassung an Störungen (1)

- Jeder Träger benutzt einen QAM-Typ, der den dort herrschenden Störverhältnissen entspricht.



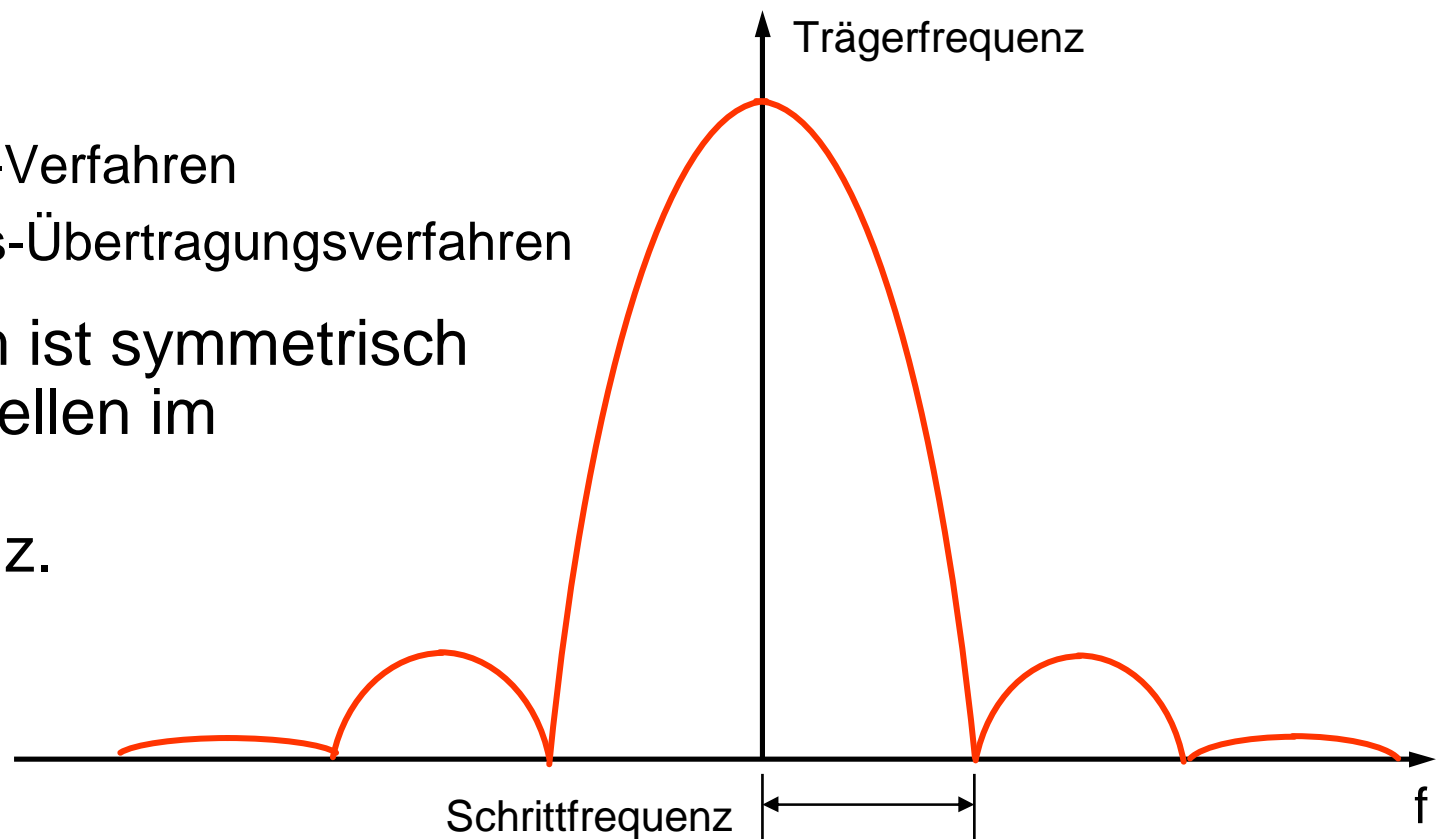
DMT – Anpassung an Störungen (2)

- Falls ein Träger massiv gestört ist, kann er aus dem Verbund genommen werden



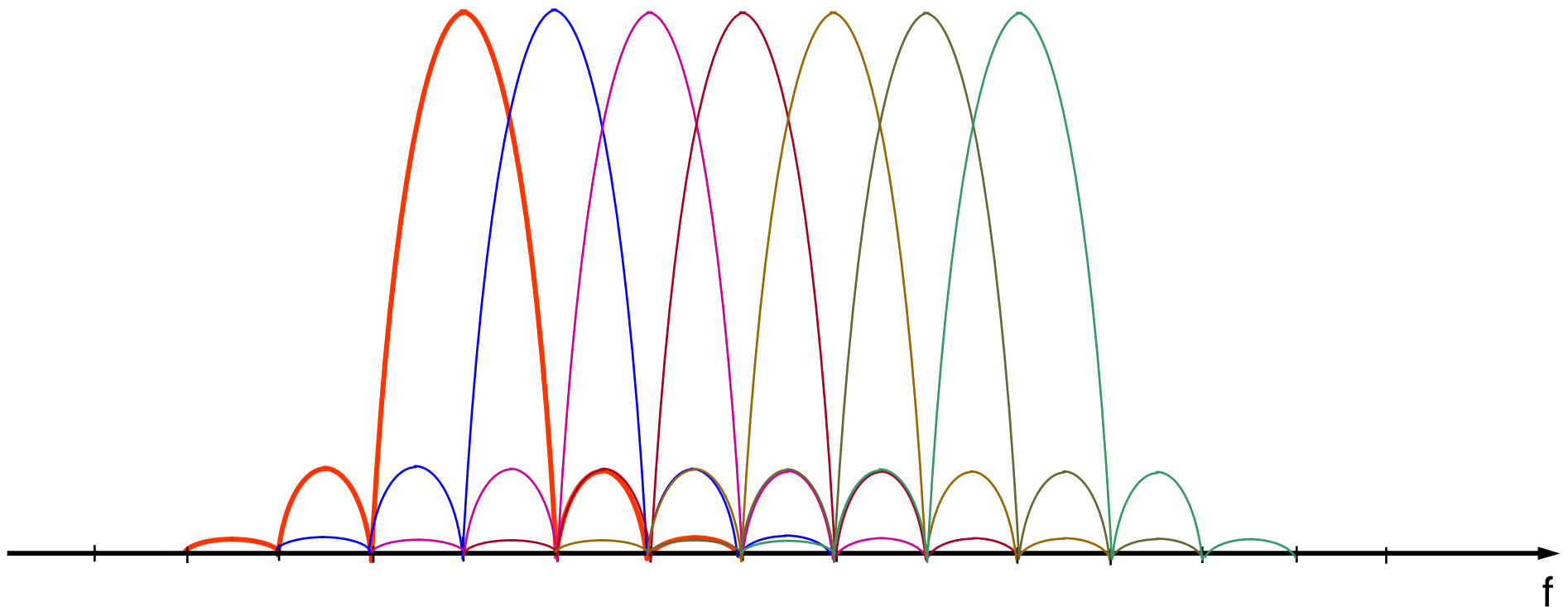
QAM – Quadratur Amplituden Modulation

- Die QAM ist eine Kombination einer
 - Amplitudenmodulation und einer
 - Phasenmodulation
- Die QAM ist
 - ein Einträger-Verfahren
 - ein Bandpass-Übertragungsverfahren
- Das Spektrum ist symmetrisch und hat Nullstellen im Abstand der Schrittfrequenz.

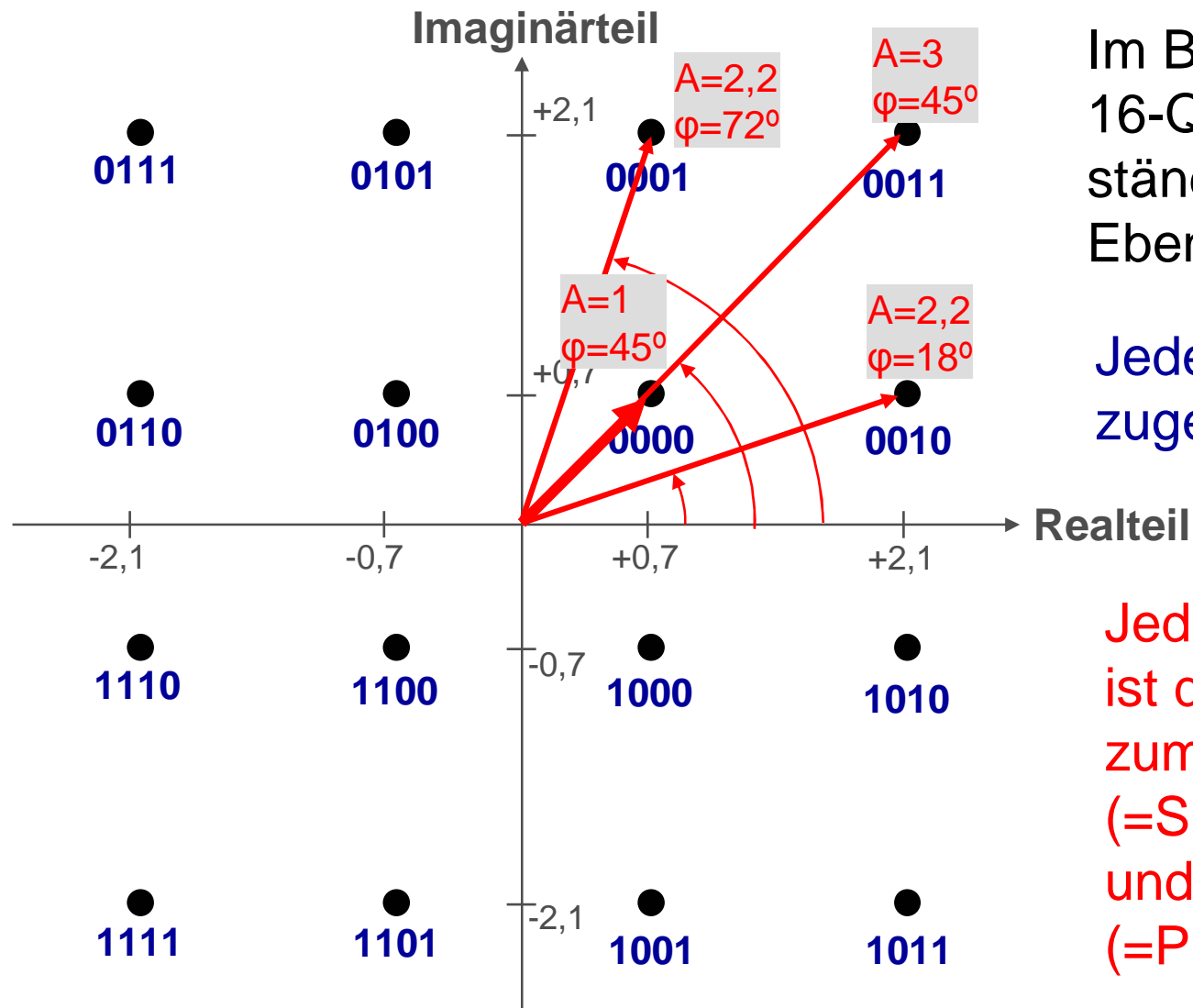


DMT – Verkämmung der Spektren

- Durch geeignete Wahl von Schrittfrequenz und Trägerabstand fällt das Maxima eines Spektrums in die Nullstellen der anderen Spektren.



QAM – Signalzustände in der komplexen Ebene

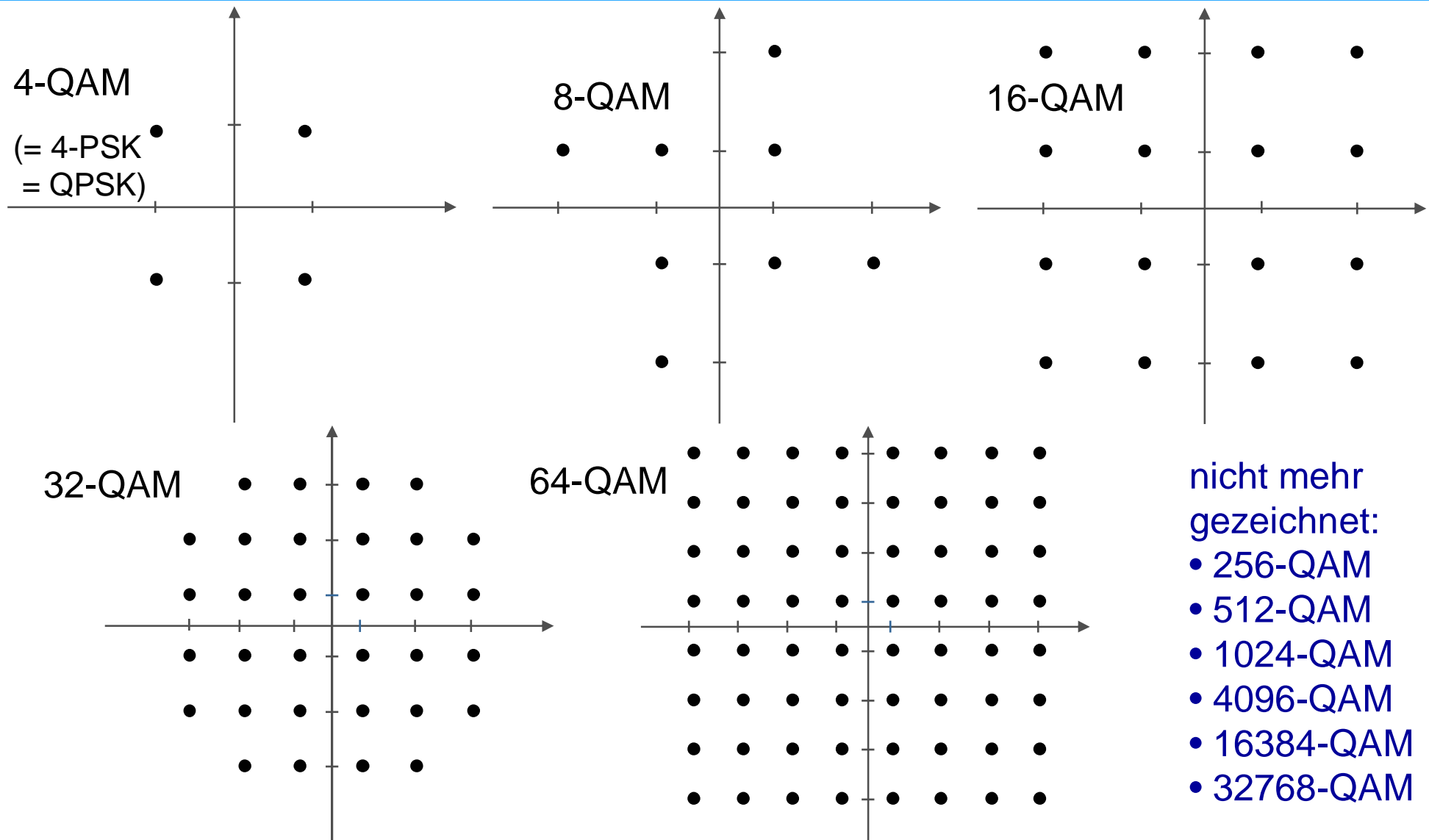


Im Beispiel:
16-QAM mit 16 Signalzu-
ständen in der komplexen
Ebene

Jedem Wert werden 4 Bit
zugeordnet

Jeder Signalzustand
ist durch seinen Abstand
zum Ursprung
(=Signalamplitude)
und durch seinen Winkel
(=Phasenlage) bestimmt.

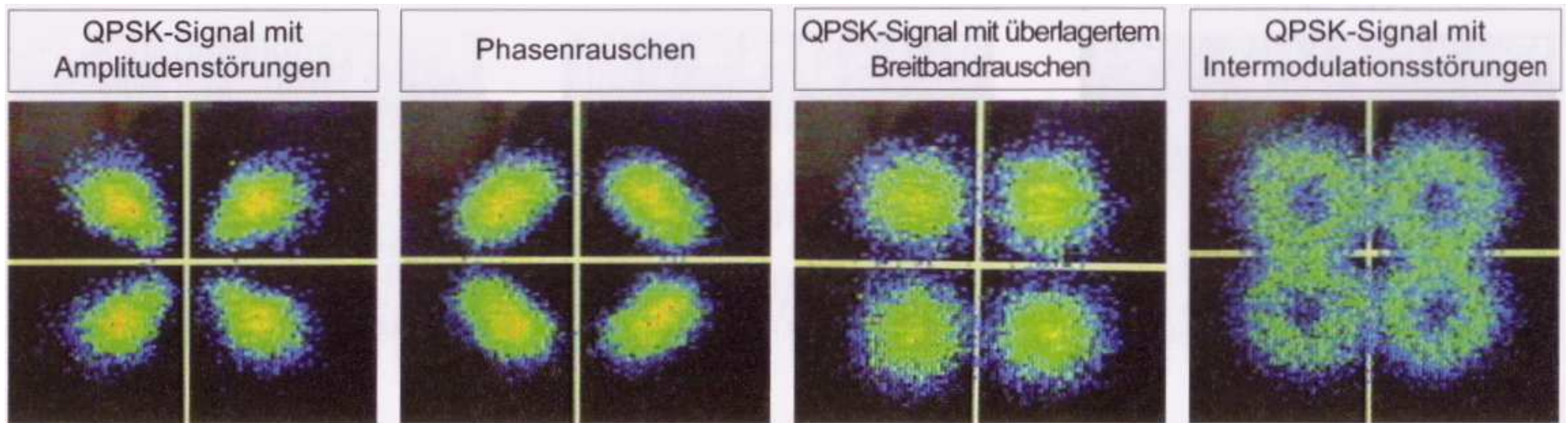
QAM – Signalzustände



nicht mehr
gezeichnet:

- 256-QAM
- 512-QAM
- 1024-QAM
- 4096-QAM
- 16384-QAM
- 32768-QAM

QAM / PSK – Fehlerfälle



Inhalt

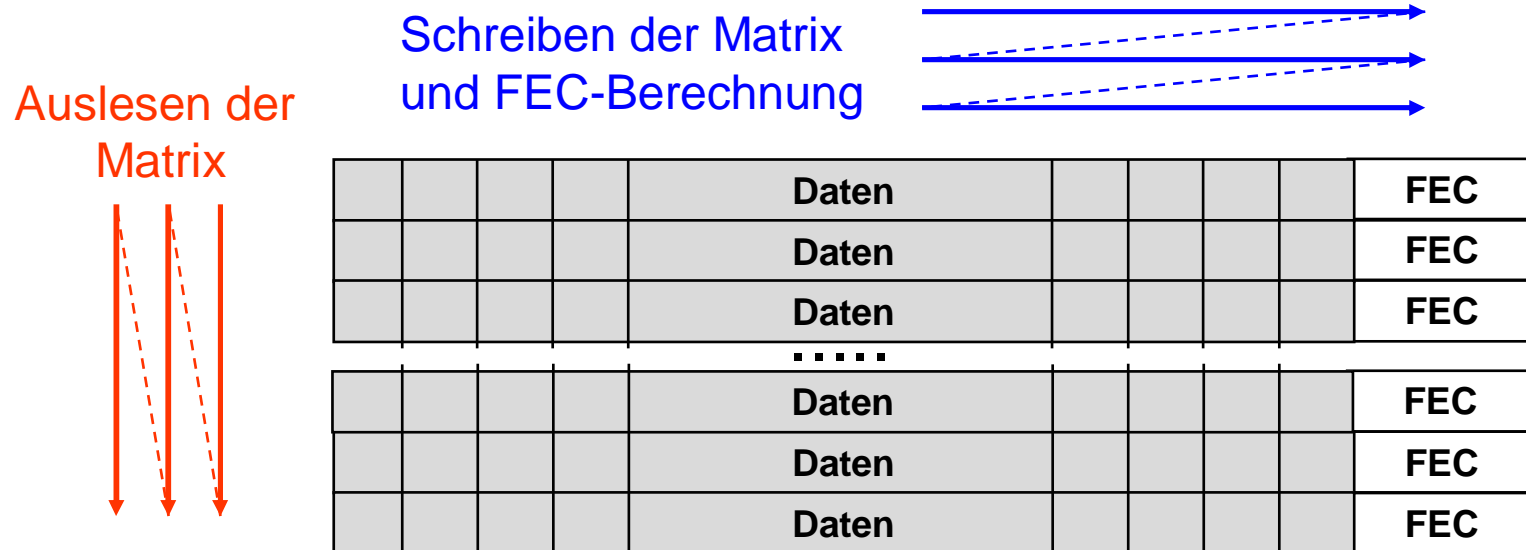
- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
 - Frequenztrennung
 - Modulation und Codierung
 - Fehlerkorrektur
- DSL-Typen
- Weiterentwicklungen

Fehlerkorrektur – Allgemeines

- Scrambler (Daten-Verwürfelung)
 - Erzeugen scheinbar zufällige Bitfolge
 - Verhindern lange 0- und 1-Folgen (wegen Taktrückgewinnung)
 - Streben Gleichverteilung vom 0 und 1 an (Gleichstromfreiheit)
- Prüfsumme
 - Cyclic Redundancy Check (CRC) durch Polynomdivision
 - Erlaubt Fehlererkennung und Fehlerkorrektur
- Interleaving
 - Verschachtelung der Nutzdaten
 - Burst-Fehler wird „verschmiert“ und damit leichter korrigierbar
- Vorwärts-Fehlerkorrektur (Forward Error Correction, FEC)
 - Reed-Solomon-Codierung, zyklischer Blockcode
 - Hinzufügen von Redundanz

Fehlerkorrektur – Interleaving

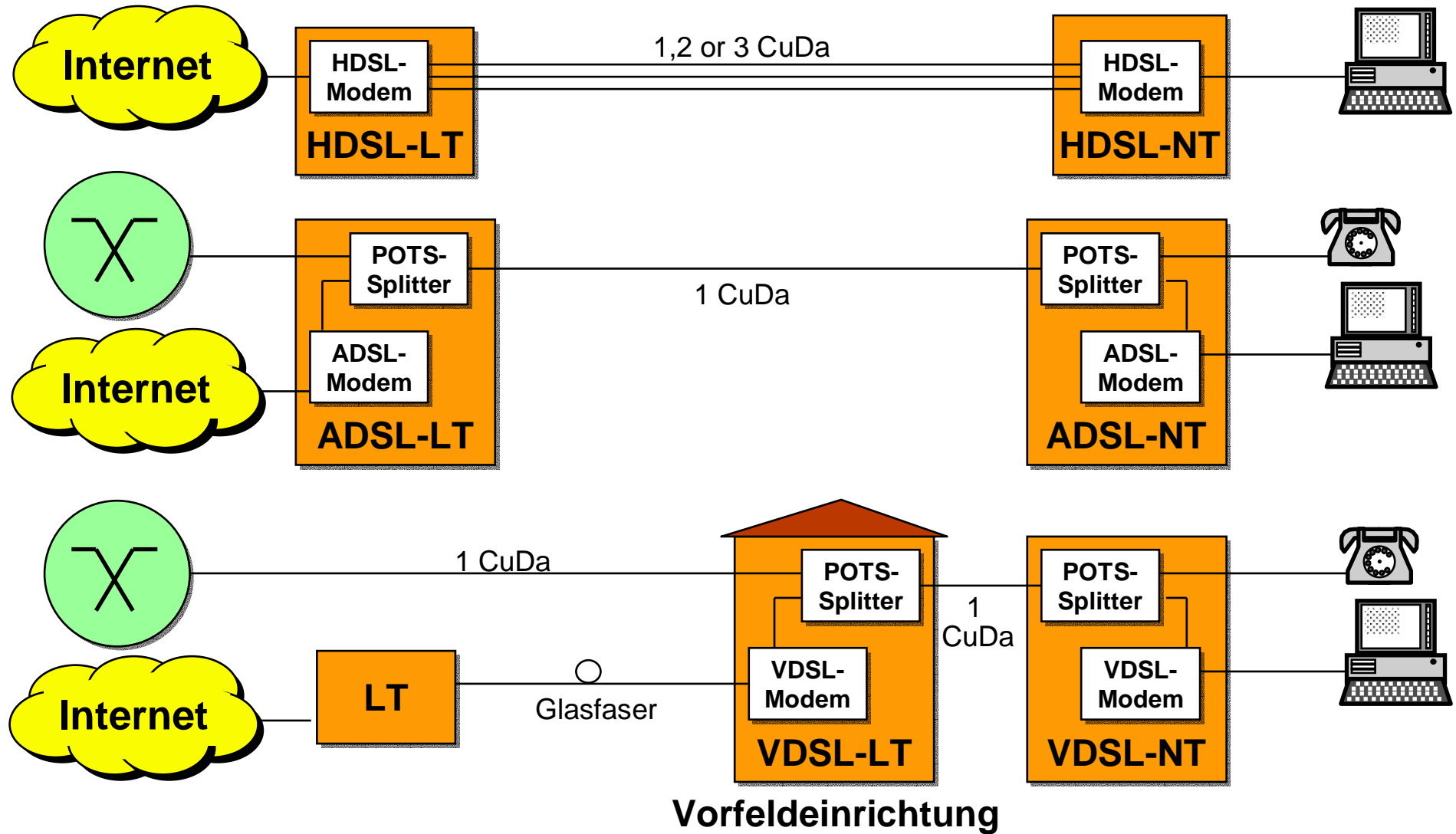
- Beim Interleaving werden Daten zeilenweise in einen Speicher geschrieben und spaltenweise ausgelesen und gesendet.
- Fehlerkorrektur-Information (FEC) wird per Zeile berechnet
- Burst-Fehler werden dadurch zu eine Reihe von Einzelfehlern.
- Nachteil ist die Verzögerung der Übertragung.



Inhalt

- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
- DSL-Typen
 - HDSL und SHDSL
 - ADSL, ADSL2 und ADSL2+
 - VDSL und VDSL2
- Weiterentwicklungen

DSL-Typen (1)



DSL-Typen (2)

HDSL High bit rate Digital Subscriber Line

Symmetrisches Übertragungssystem mit 2,304 Mbit/s über eine, zwei oder drei Doppeladern
Puls-Amplituden-Modulation mit 4 Stufen (2B1Q), Gegenbetrieb mit Echolöschung

SDSL Symmetric single pair Digital Subscriber Line (HDSL2)

Weiterentwicklung von HDSL für eine einzelne Doppelader, Geschwindigkeitsanpassung
(n*64 kbit/s), Puls-Amplituden-Modulation mit 16 Stufen, Fehlerkorrektur durch Trellis-Coding

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line

Asymmetrisches Übertragungssystem mit bis zu 6,788 Mbit/s in Abwärts- und 640 kbit/s in
Aufwärtsrichtung, Geschwindigkeitsanpassung mit n*32 kbit/s mit automatischer Einstellung beim
Verbindungsaufbau, Trägerfrequenzverfahren mit 256 Trägern (DMT), Bandbreite 1,104 MHz,
Quadratur-Amplituden-Modulation mit 2^2 bis 2^{15} Signalzuständen pro Träger, gleichzeitige
Übertragung eines analogen Telefonsignals oder eines ISDN-BA im ursprünglichen
Frequenzbereich mit Trennung durch Filterweichen

VDSL Very high speed Digital Subscriber Line

Weiterentwicklung von ADSL für für FITL-Architekturen, hohe Geschwindigkeit bei verkürzter
Reichweite, symmetrische oder asymmetrische Übertragung mit bis zu 36,8/36,8 Mbit/s bzw.
24,5/4 Mbit/s, gleichzeitige Übertragung eines analogen Telefonsignals oder eines ISDN-BA
im ursprünglichen Frequenzbereich mit Trennung durch Filterweichen

DSL-Standards der ITU-T

Backup

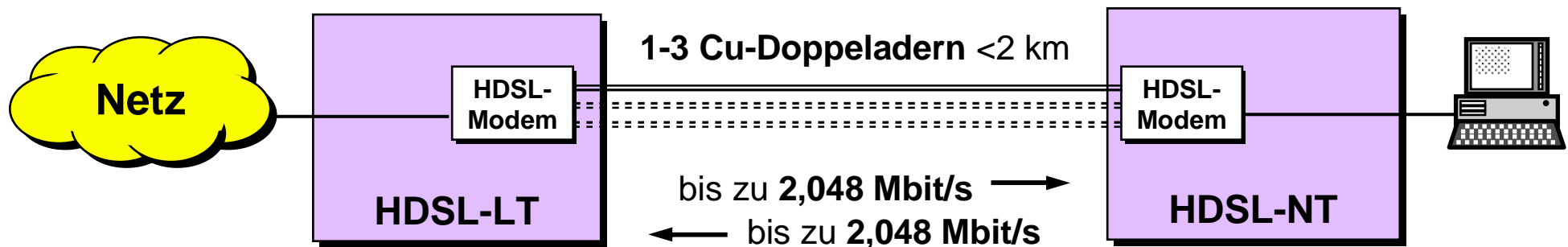
Familie	ITU-T-Rec.	Beschreibung, <i>Arbeitstitel</i>	Jahr
HDSL	G.991.1	normales HDSL, <i>G.hdsl</i>	1998
	G.991.2	verbessertes HDSL, <i>G.shdsl</i>	2003
ADSL	G.992.1	normales ADSL, <i>G.dmt</i>	1999
	G.992.2	splitterloses ADSL, <i>G.Lite</i>	1999
ADSL2	G.992.3	verbessertes ADSL, <i>G.dmt.bis</i>	2002
	G.992.4	verbessertes, splitterloses ADSL, <i>G.Lite.bis</i>	2002
	G.992.5	ADSL2+ , mehr Bandbreite, <i>G.adslplus</i>	2003
VDSL	G.993.1	schnelles DSL mit Vorfeldeinrichtung, <i>G.vdsl,f</i>	2004
	G.993.2	<i>G.VDSL2</i>	2005
	G.994.1	Handshake Procedures for DSL, <i>G.hs</i>	2007
	G.996.1	Test Procedures for DSL, <i>G.test</i>	2001
	G.997.1	Physical Layer Management for DSL, <i>G.ploam</i>	2006
	G.998.1	Bonding for DSL (ATM-based), <i>G.bond1</i>	2005
	G.998.2	Bonding for DSL (Ethernet-based), <i>G.bond2</i>	2005

Inhalt

- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
- DSL-Typen
 - HDSL
 - ADSL, ADSL2 und ADSL2+
 - VDSL und VDSL2
- Weiterentwicklungen

High-Speed Digital Subscriber Line (HDSL)

- War die erste DSL-Technik am Markt.
- Ursprünglich aus USA (ANSI-T1): 1,544 MBit/s sollten über 2 CuDa ohne Regenerator übertragen werden können.
- In Europa (ETSI-TM6): 3 CuDa mit gleicher Bitrate pro Paar = 2,048 MBit/s
- Fortschritte in der Technologie erlaubten 2- und 1-Paar-System mit gleichen Bitraten.
- Heute ersetzt durch SDSL.



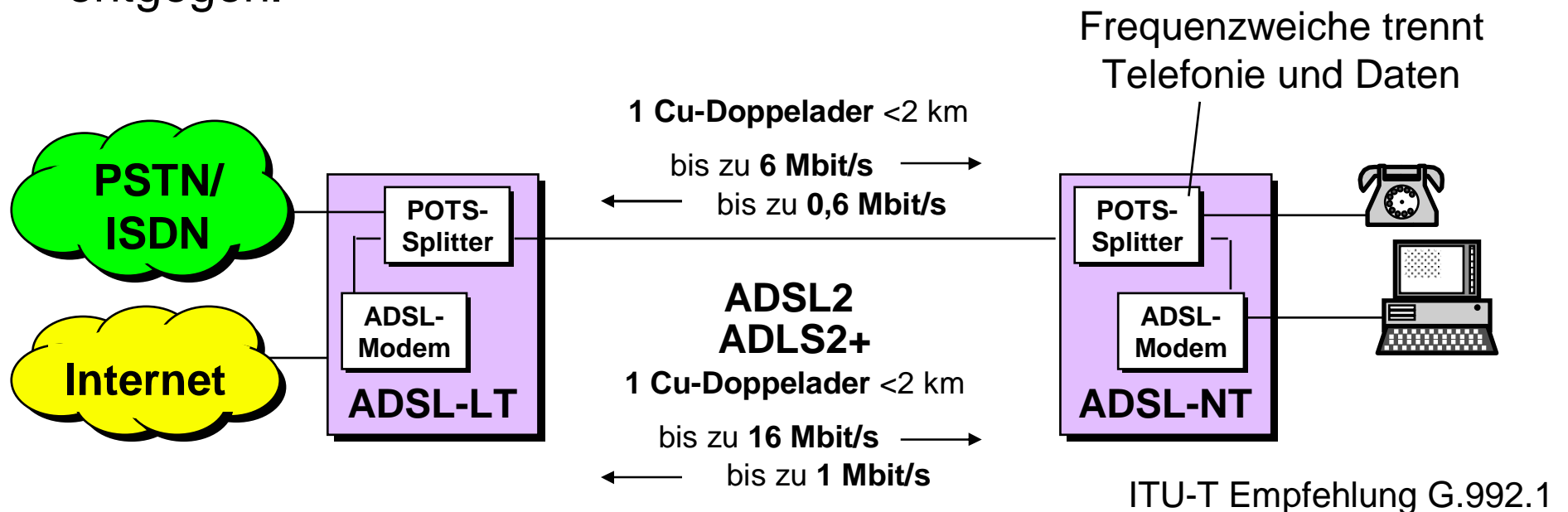
ITU-T Empfehlung G.991.1

Inhalt

- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
- DSL-Typen
 - HDSL
 - ADSL, ADSL2 und ADSL2+
 - VDSL und VDSL2
- Weiterentwicklungen

ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

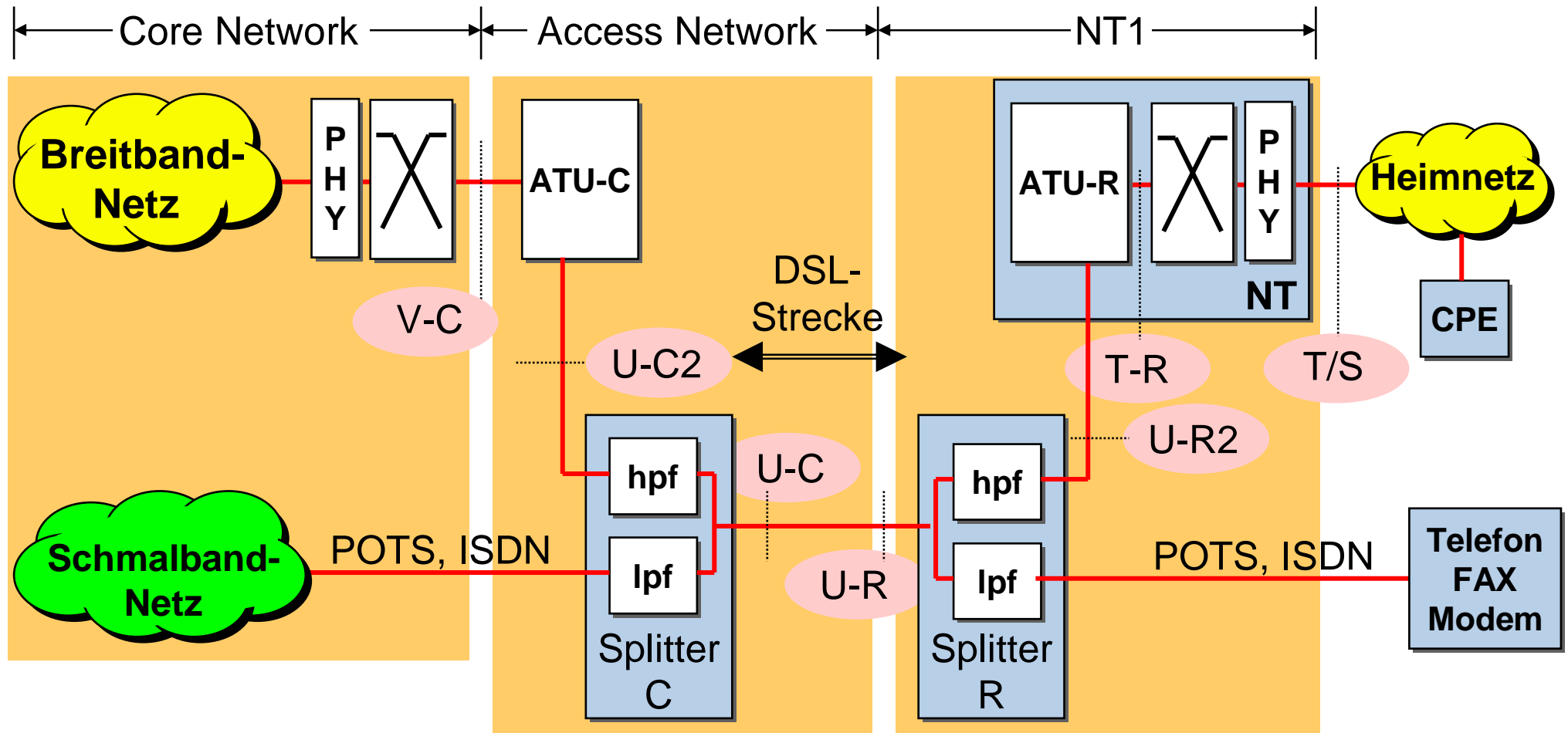
- Ursprünglich für „Video on Demand“ (VOD) entwickelt (Übertragung von Fernsehprogrammen). Bitrate vom Teilnehmer ca. 10% der Bitrate zum Teilnehmer (nur für Kommandos zu einem Video-Server notwendig).
- ADSL wurde mit der Verbreitung des Internet wieder reaktiviert. Die Asymmetrie kommt den Verhältnissen beim Web-Abruf sehr entgegen.



ADSL – Eigenschaften

- Keine neue Kabelinstallation
- Kosten direkt proportional mit der Anzahl angeschlossener Kunden
- Genügend Kapazität für Video-Dienste
- Kein Einfluss auf den Telefon-Dienst auf dem gleichen Kabel
- Unsymmetrische Bandbreitenaufteilung gut geeignet für Client-Server-Anwendungen, Web-Zugriff und Video-Anwendungen.
- ATM und STM-Transport

ADSL – System Referenzmodell



hpf high pass filter
lpf low pass filter

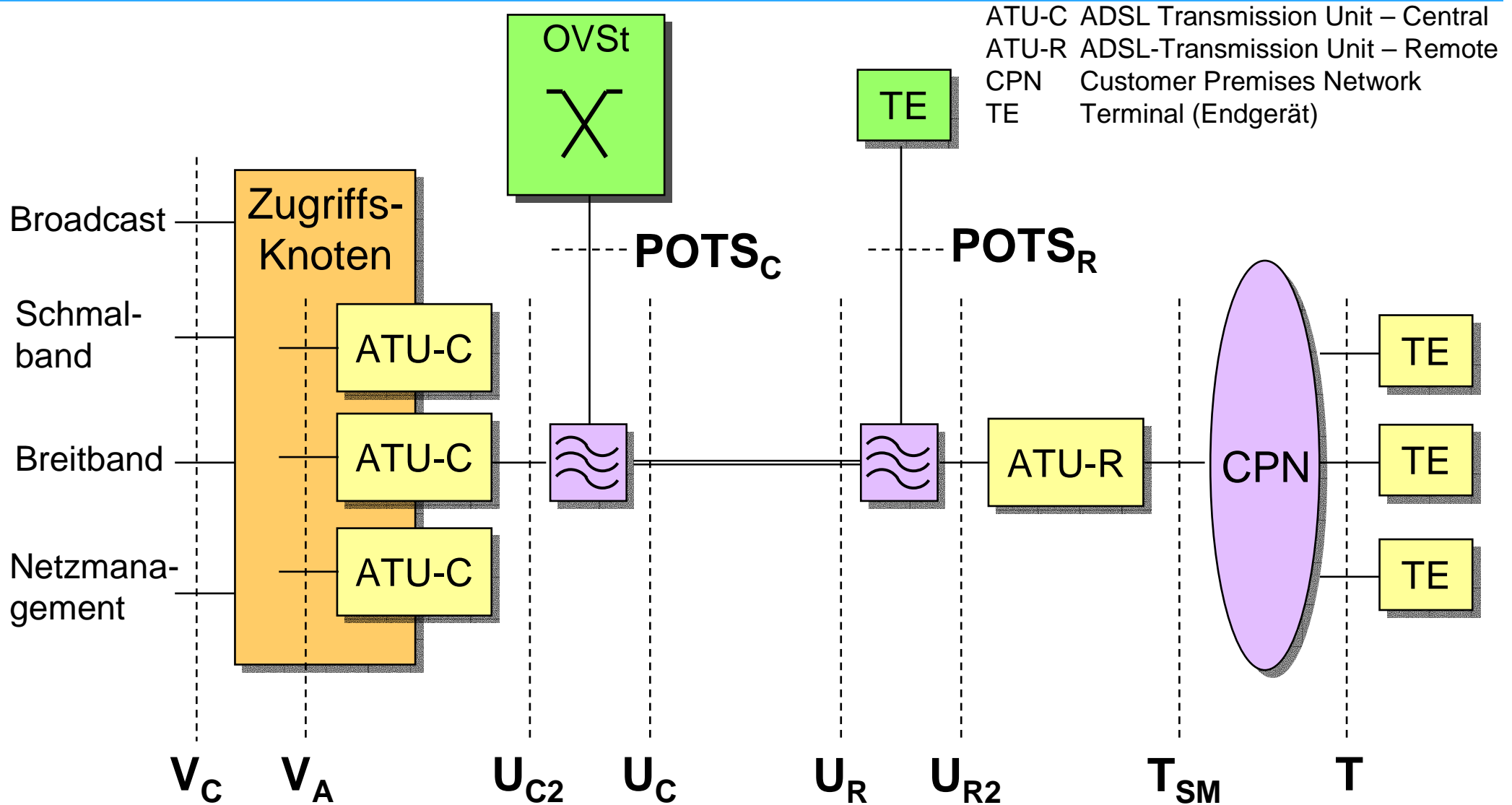
ATU-C
ATU-R

ADSL Transmission Unit – Central
VDSL-Transmission Unit – Remote

CPE
Customer Premises Equipment

ADSL – Referenzkonfiguration (DSL-Forum)

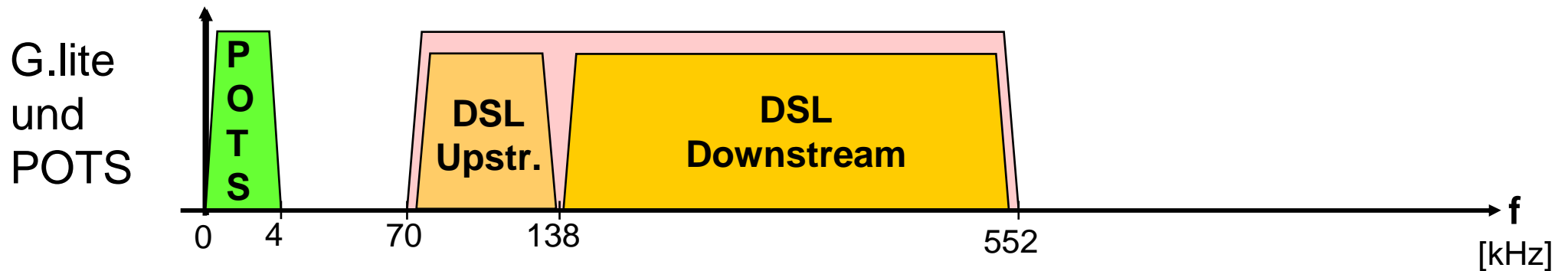
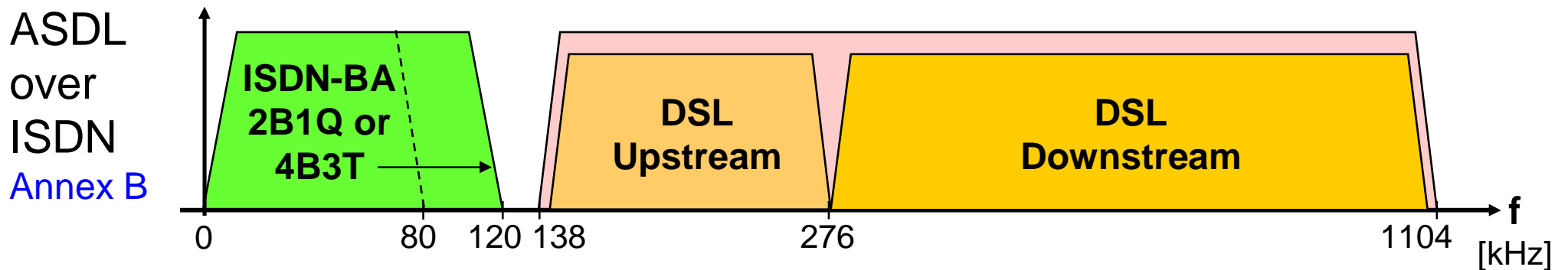
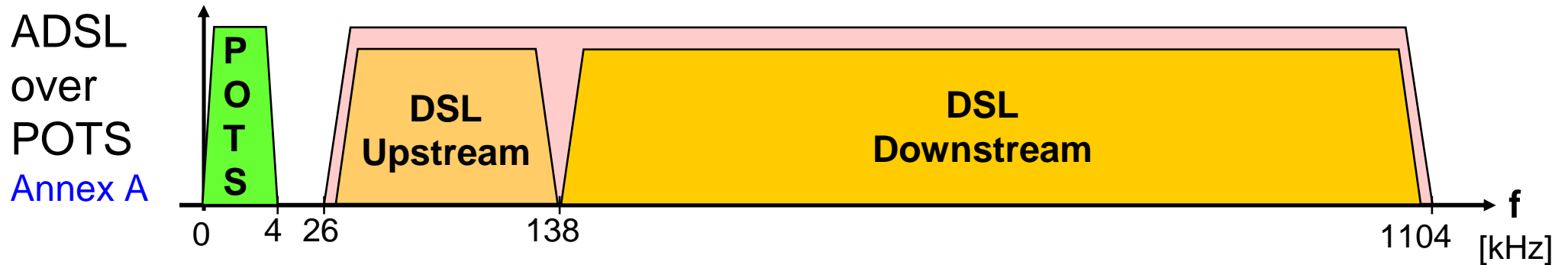
Backup



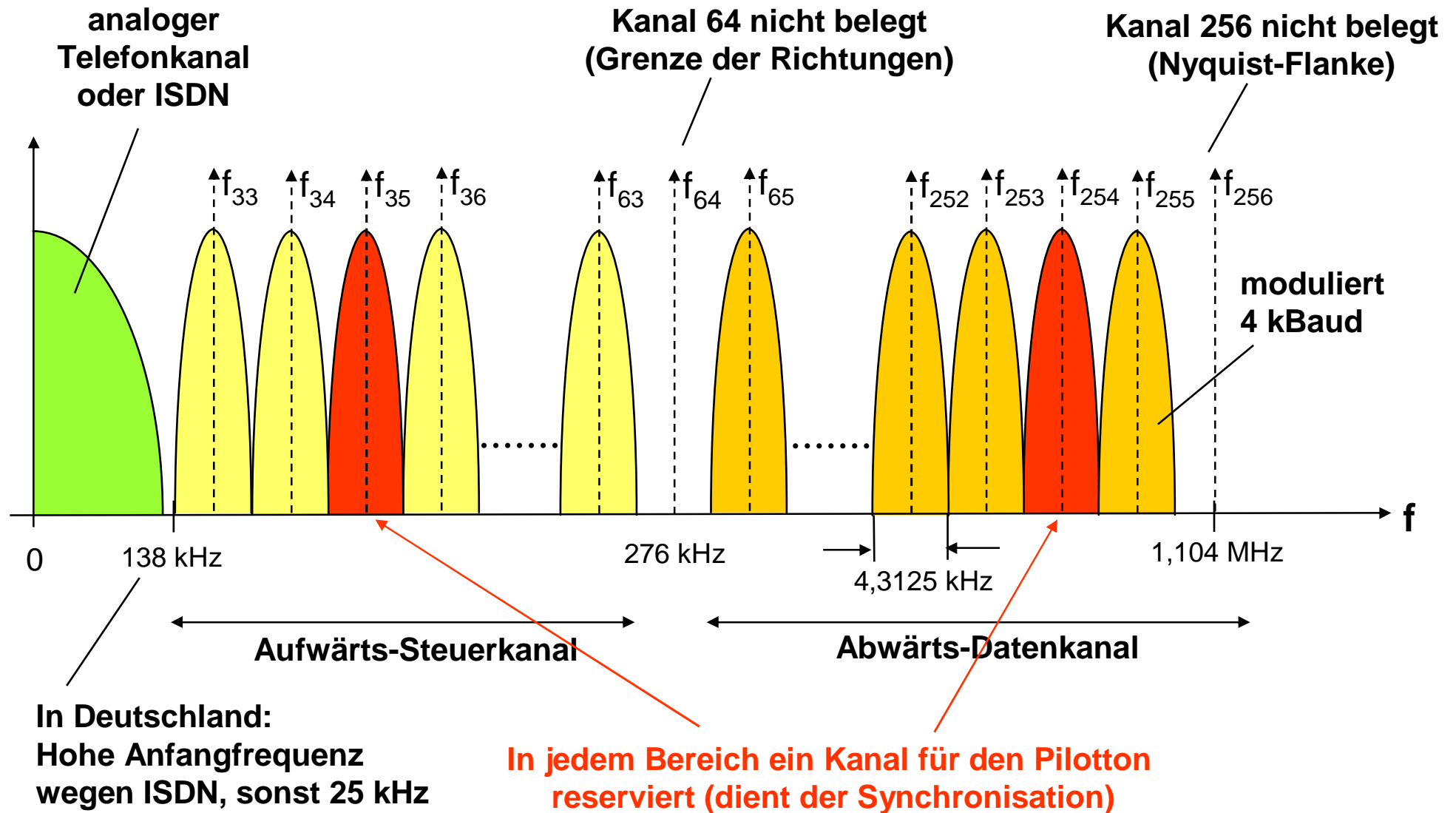
ADSL – Schnittstellenspezifikation U_{R2}

- Zu Beginn der ADSL-Verbreitung mussten die „Amtsseitigen“ und „Kundenseitigen“ Komponenten – der DSLAM und das DSL-Modem – von gleichen Hersteller stammen.
(Das entspricht der alten Philosophie der Übertragungstechnik.)
- Die Deutsche Telekom wollte in ihrem Netz diese Verbindung aufbrechen und auch andere Modem-Anbieter ins Netz nehmen.
- Dazu war eine Spezifikation der Schnittstelle am U_{R2} -Referenzpunkt notwendig – die „ **U_{R2} -Spezifikation**“ 1 TR 112 entstand.
- Aus der Vielzahl der Optionen in den Standards wurde eine nationale Auswahl getroffen.

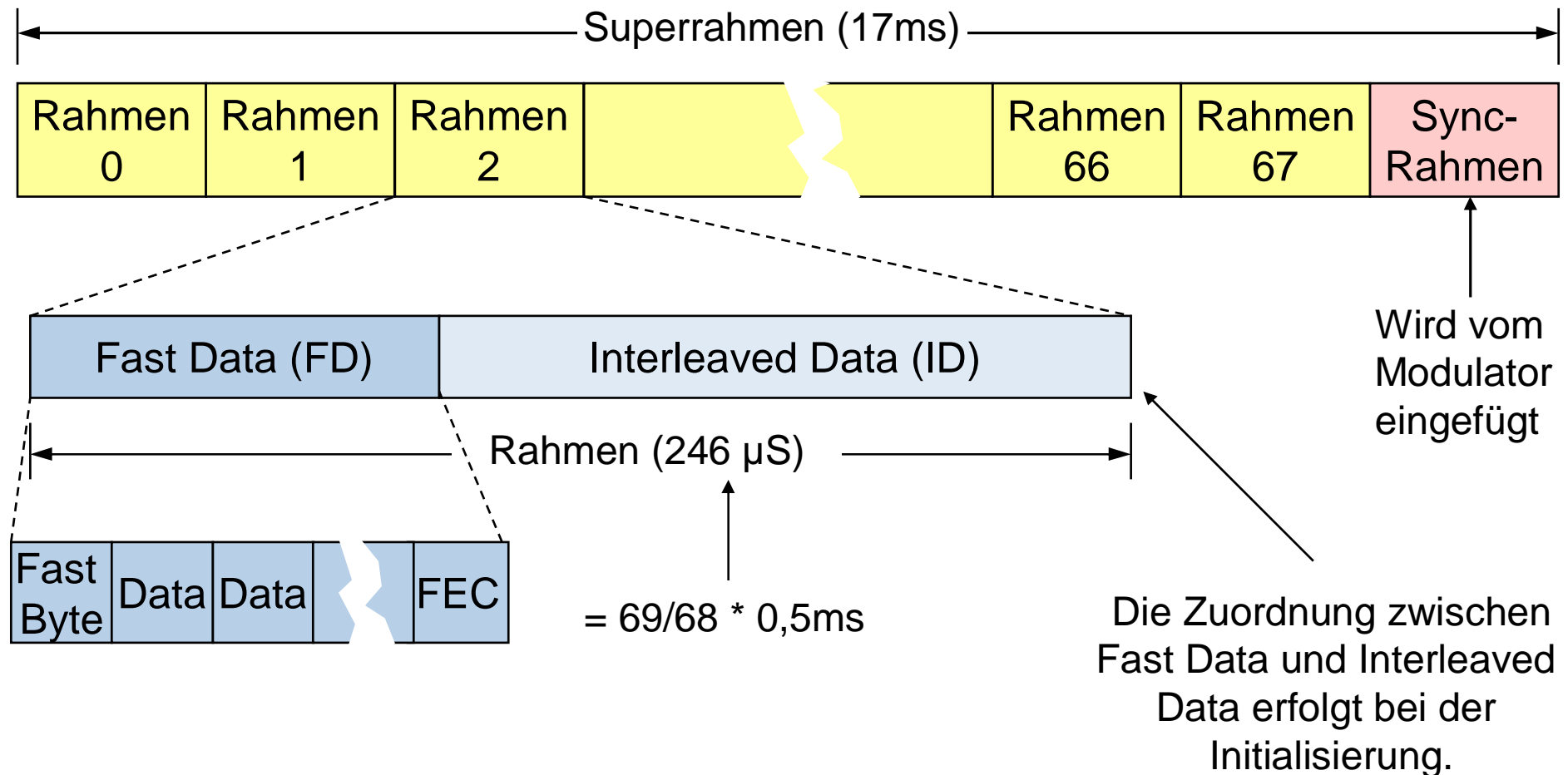
ADSL – Frequenzbereiche



ADSL – Kanalbelegung (Discrete Multi Tone - DMT)



ADSL – Rahmenstruktur



Fehlerschutz: im Rahmen 0 (crc)


Steuerbits und OAM: in den Rahmen 1, 34 und 35 (indicator bits)

ADSL – Interleaving

- ADSL unterstützt zwei Fehlerschutz-Modi:
 - Fast Data (FD)
 - Interleaved Data (ID)
- Fast Data fügt den Fehlerschutz nahe der Daten ein und erlaubt ein schnelles Erkennen und Rekonstruieren beim Empfänger, allerdings ist das Verfahren anfällig für Burst-Fehler.
- Interleaved Data verschachtelt Daten und Fehlerschutz über längere Zeiträume. Damit können Burstfehler korrigiert werden, allerdings dauert es lange, bis alle notwendigen Daten aufgesammelt sind.

Die Interlever-Tiefe kann 64 und optional 128, 256 oder 512 betragen.

ADSL – Initialisierung

- 
- Phase 1: Handshake
 - Austausch von Grundinformationen und Fähigkeiten der ADSL-Modems.
 - Für alle xDSL-Varianten gleich!
 - Phase 2: Trainingsphase
 - Einstellen der Verstärker und Entzerrer.
 - Dazu senden einer Pseudozufallsfolge.
 - Phase 3. Kanal-Analyse
 - Bestimmung der Eigenschaften der Teilkanäle (z.B. Signal-Rauschabstand).
 - Daraus bestimmen des Modulationsgrades der Einzelträger
 - Dazu senden einer anderen Pseudozufallsfolge.
 - Phase 4: Parameteraustausch
 - Übertragen der ermittelten Werte

**Das Ganze kann
mehrere Minuten
dauern!**

ADSL2 – Hintergrund und Ziele

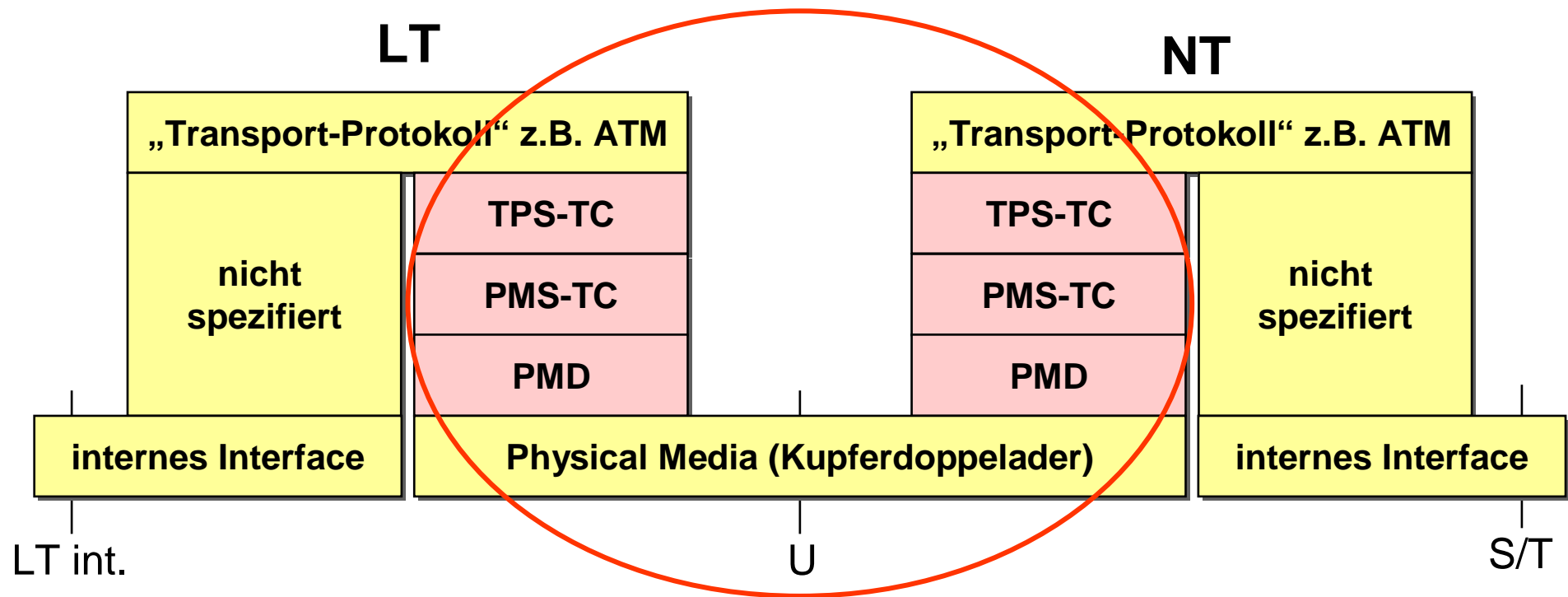
- ADSL wurde (bei ITU-T) 1999 standardisiert.
- In der Folgezeit gab es einige Verbesserungen, die im Jahr 2005 zur Standardisierung einer zweiten Generation von ADSL, dem ADSL2, führten.
- Ziele:
 - für den Kunden: kundenfreundlicher und leistungsfähiger
 - für den Betreiber: profitabler
 - ... und so kompatibel zu ADSL wie möglich

ADSL2 – Technische Verbesserungen

- Verbesserungen in der **Modulation**, damit:
 - Erhöhung der Übertragungsgeschwindigkeit und/oder
 - Erhöhung der Reichweite
- Reduktion des Leistungsverbrauchs durch **adaptive Leistungsregelung**
- Verbesserte **OAM-Funktionen** (speziell für Diagnose)
- **Schnellerer Start** (ca. 10 Sekunden), bessere Taktsynchronisation
- **Verbesserung der Interoperabilität**, weniger Optionen.
Aber: flexibleres Rahmenformat
- Möglichkeit der Zusammenfassung zweier Kupferdoppeladern (so genanntes „**Bonding**“)
- Neben STM und ATM auch **Packet Mode** (... Ethernet...)
- **Rückwärts-Kompatibilität** mit ADSL

ADSL2 – Protokoll Referenzmodell (1)

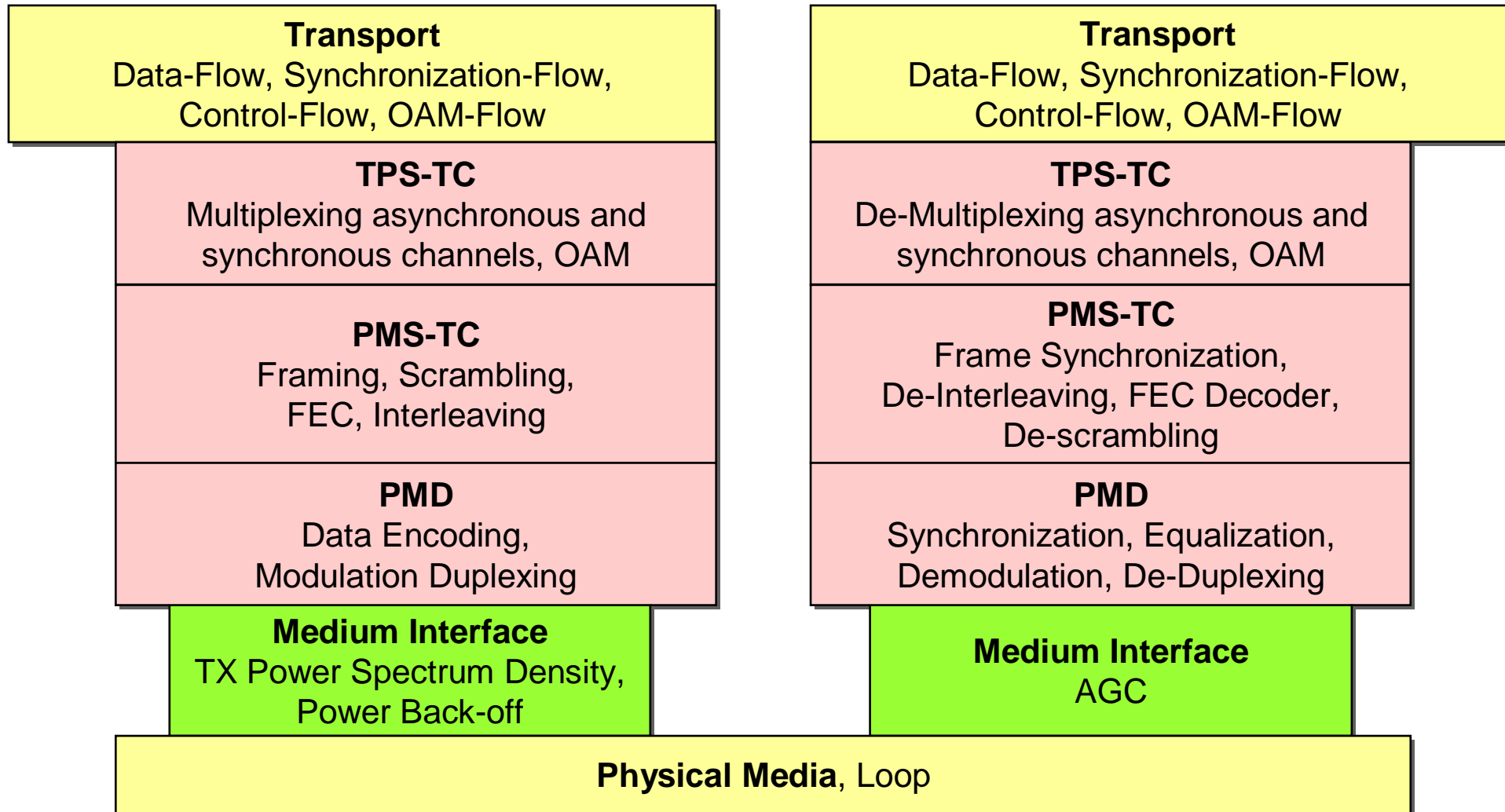
- Für ADSL2 wurde ein Protokoll Referenzmodell entworfen, das die Physikalische Schicht in 3 Teilschichten (Sublayers) unterteilt.



TPS-TC Transmission Protocol Specific TC (Transmission Convergence) Sublayer
PMS-TC Physical Media Specific TC (Transmission Convergence) Sublayer
PMD Physical Media Dependent (Sublayer)

ADSL2 – Protokoll Referenzmodell (2)

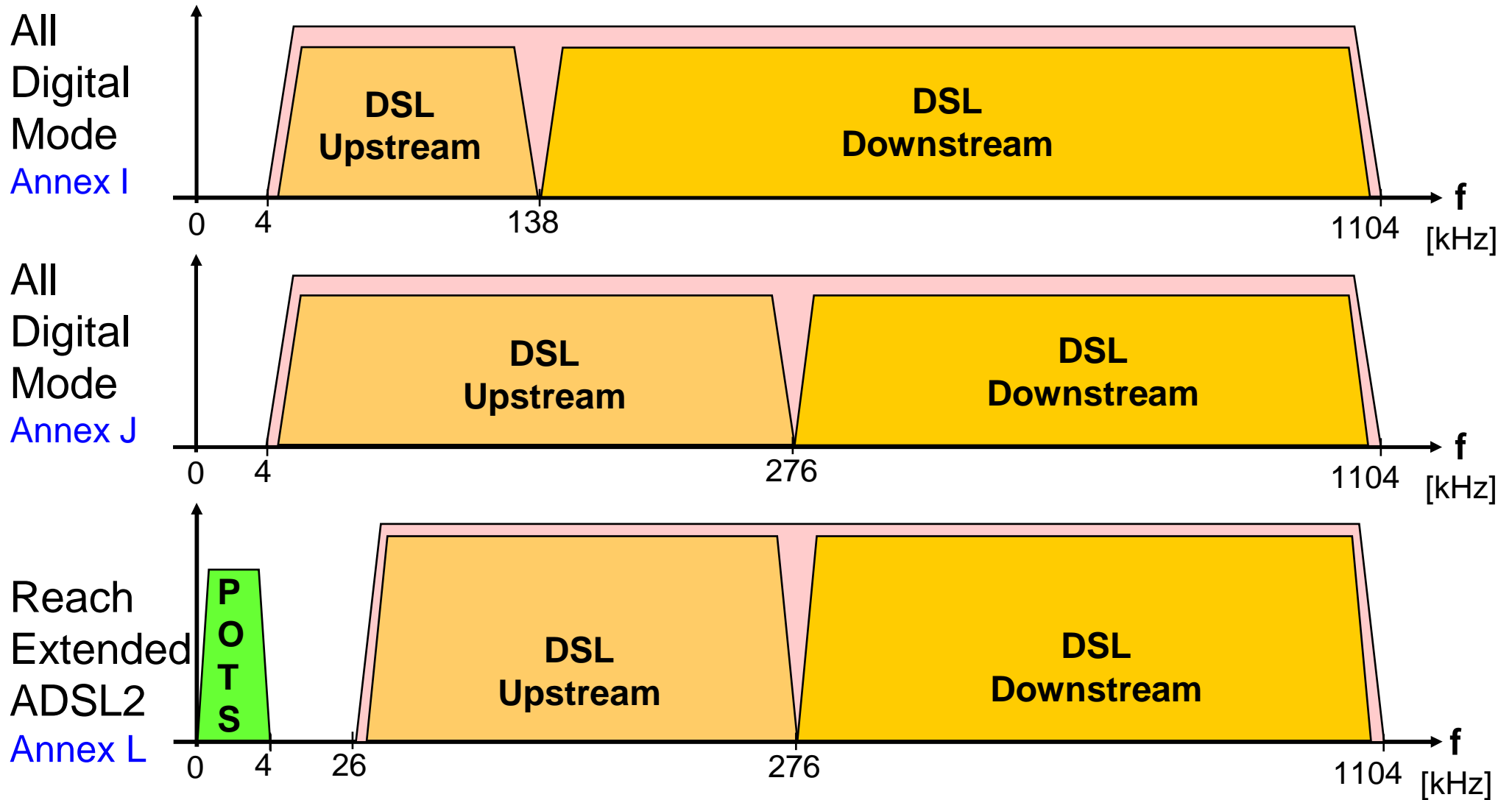
Backup



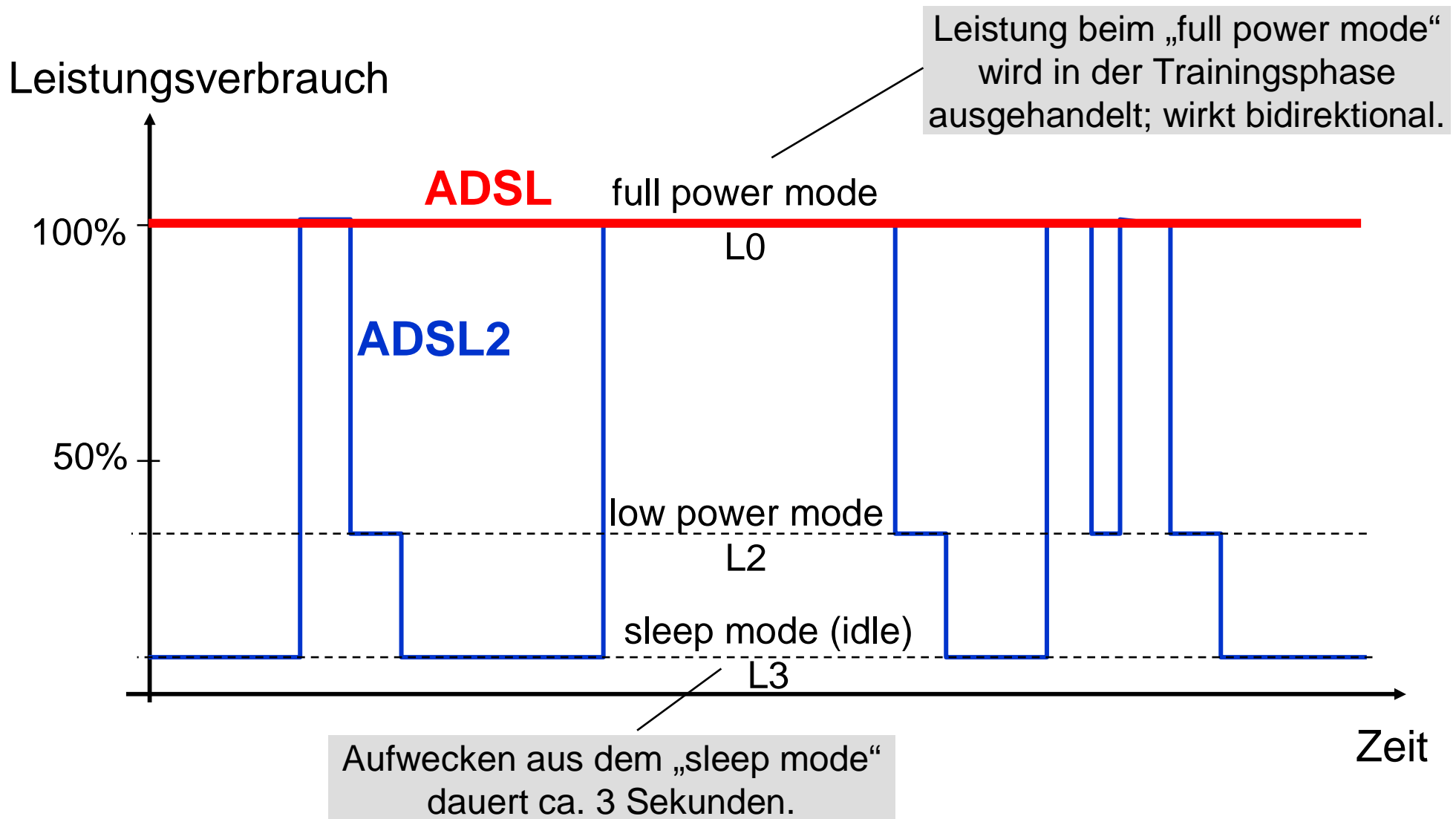
ADSL2 – Frequenzbereiche (1)

- Neben den auch bei ADSL spezifizierten Varianten
 - ADSL und POTS ([Annex A](#))
 - ADSL und ISDN ([Annex B](#))
- gibt es weitere Frequenzaufteilungen:
 - **All Digital Mode** ([Annex I und J](#)) – ohne POTS oder ISDN, dafür Nutzung der DTM-Träger ab Nr. 2 für Datenübertragung. Der Unterschied liegt in der Grenzfrequenz zwischen Up- und Downstream.
 - **Reach Extended ADSL2** ([Annex L](#)) – wie „ADSL und POTS“ ([Annex A](#)) aber mit erhöhter Sendeleitung und Ausblendung von einzelnen Trägern.
 - Höher Upstream-Datenrate zu Lasten des Downstreams ([Annex M](#)).

ADSL2 – Frequenzbereiche (2)



ADSL2 – Adaptive Leistungsregelung

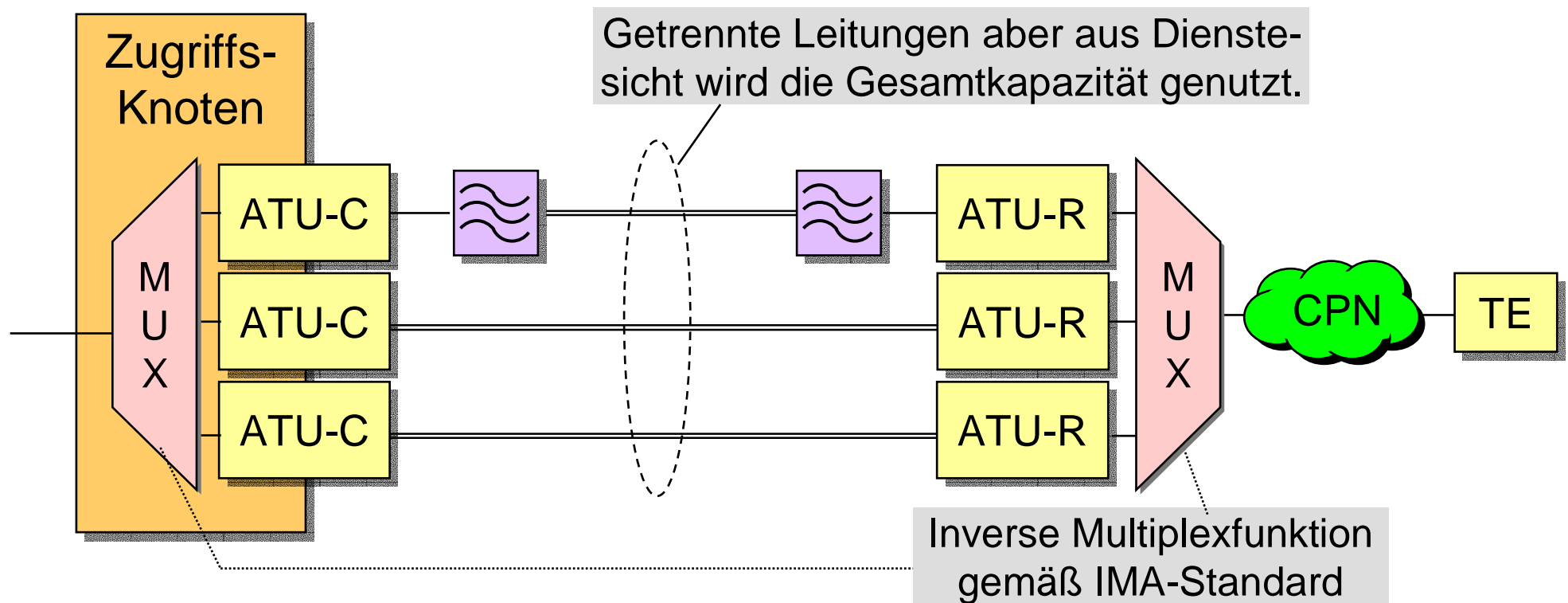


ADSL2 – Diagnose

- In ADSL war nur „**Single Ended Line Testing**“ (SELT) möglich.
- Bei ADSL2 ist auch „**Double Ended Line Testing**“ (DELT) möglich.
 - Dazu muss das Teilnehmermodem Informationen über die **Leitungsqualität** erfassen und zum DSLAM zurück senden können, z.B.
 - Sendeleistung
 - Leitungsdämpfung
 - Grundrauschen
 - Signal-Rauschabstand.
 - Bei extrem schlechter Leitung wird mit einer speziellen Initialisierung ein langsamer Datenpfad aufgebaut.
 - Damit weniger Servicetechniker-Einsätze vor Ort notwendig!
- Für die Kupferleitung selbst gibt: „**Metallic Line Testing**“ (MELT).
 - Hier wird Messequipment (evtl. auch eingebaut im DSL-Modem) genutzt.

ADSL2 – Bonding

- Unter „Bonding“ versteht man das Zusammenschalten mehrere physikalische Leitungen zu einer Gesamtkapazität.
- Bei ADSL2 findet dieses „Inverse Multiplexen“ auf der ATM-Schicht statt (IMA).

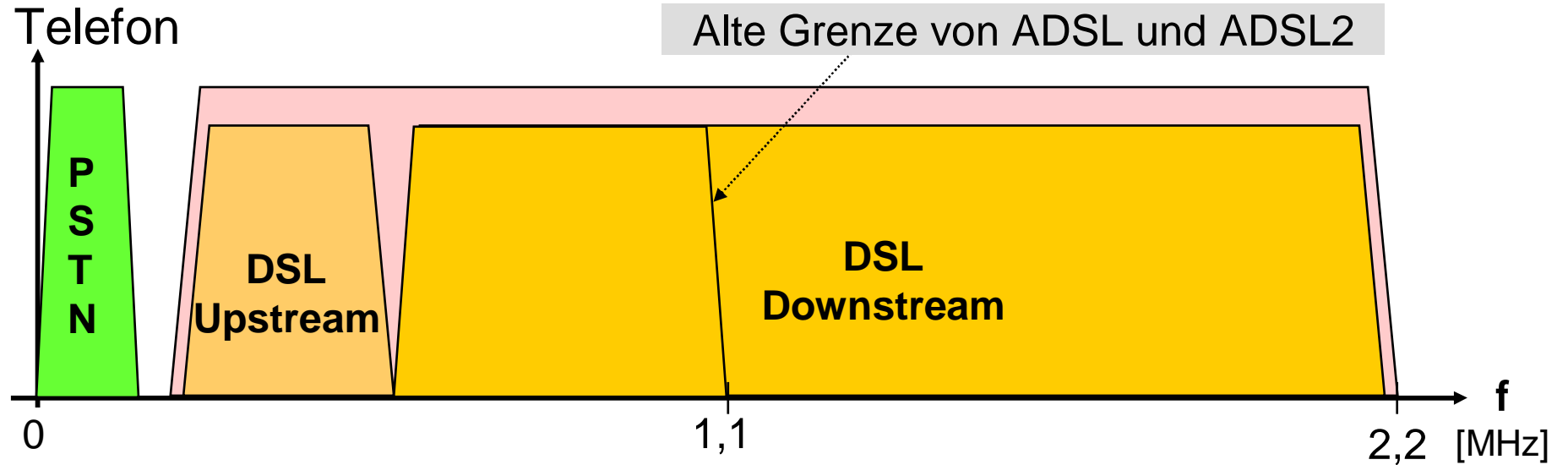


ADSL2+ – Allgemeines

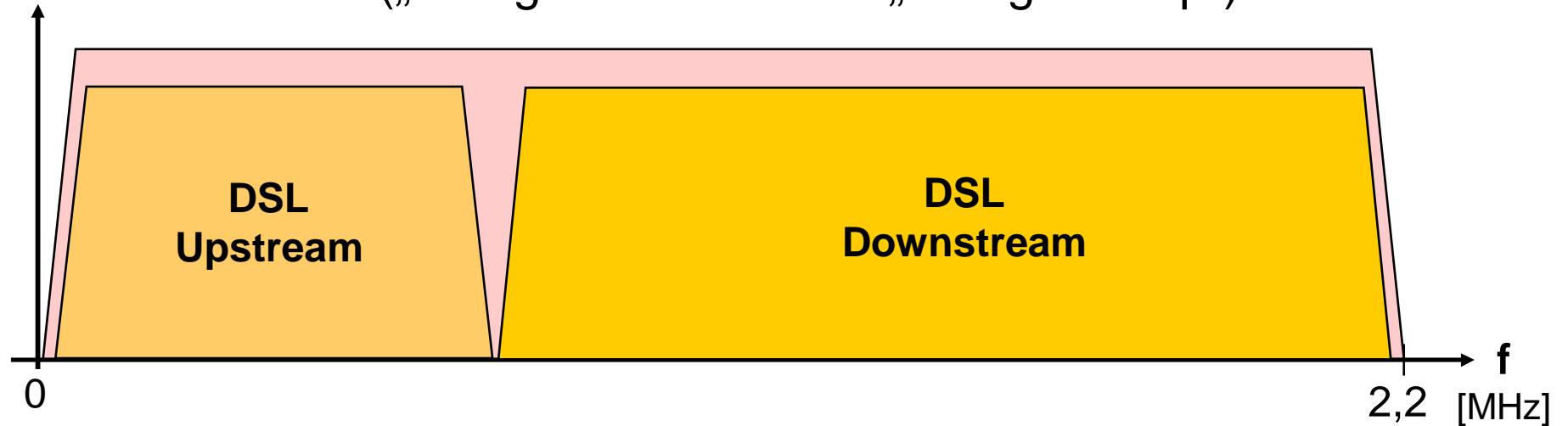
- Ziele:
 - Weitere Erhöhung der Übertragungsgeschwindigkeit.
 - ... und so kompatibel zu ADSL2 wie möglich.
(Der Standard G.992.5 ist ein Delta-Dokument zu ADSL2!)
- Technik
 - ... alle Eigenschaften von ADSL2, zusätzlich:
 - Verdoppelung der benutzten Bandbreite auf **2,2 MHz** und damit auf max. **512 Träger**.
 - Der zusätzliche Bereich wird voll dem Downstream zugeschlagen. Der untere Bereich ist identisch zu ADSL2.
 - **Dynamisches Spektrum Management** (DSM) erlaubt die Anpassung der einzelnen Sendepiegel während des laufenden Betriebs.
- Warum erst jetzt?
 - Die Technologie hat Fortschritte gemacht – die Begrenzung auf 256 mögliche Träger kann fallen!

ADSL2+ – Varianten

mit Telefon

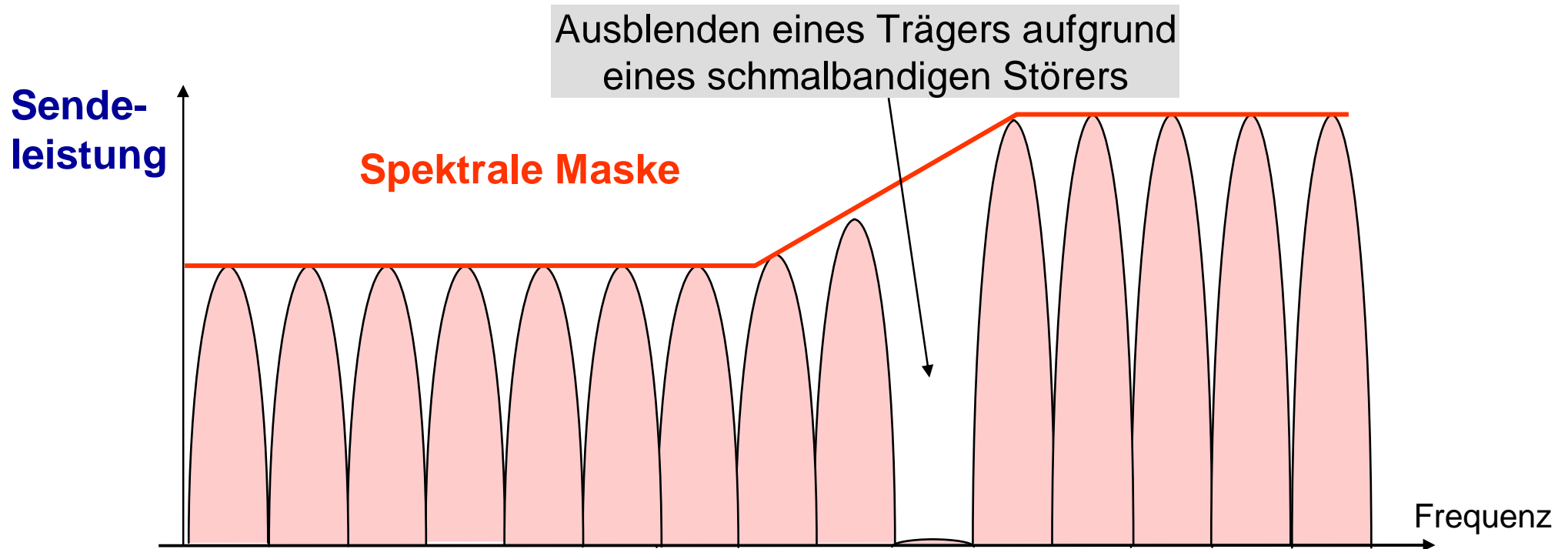


Splitterloser Betrieb („all digital mode“ oder „all digital loop“)



Dynamic Spectrum Management (DSM)

- Jeder Träger benutzt eine spezifische Sendeleistung, die von den Randbedingungen abhängt.
- Speziell die beiden Bereiche unter 1,1 MHz und zwischen 1,1 und 2,2 MHz können aus Gründen des Nebensprechens unterschiedliche Leistungen aufweisen.



Rate Adaptive Mode (RAM)

*Heute bei ADSL
Standard!*

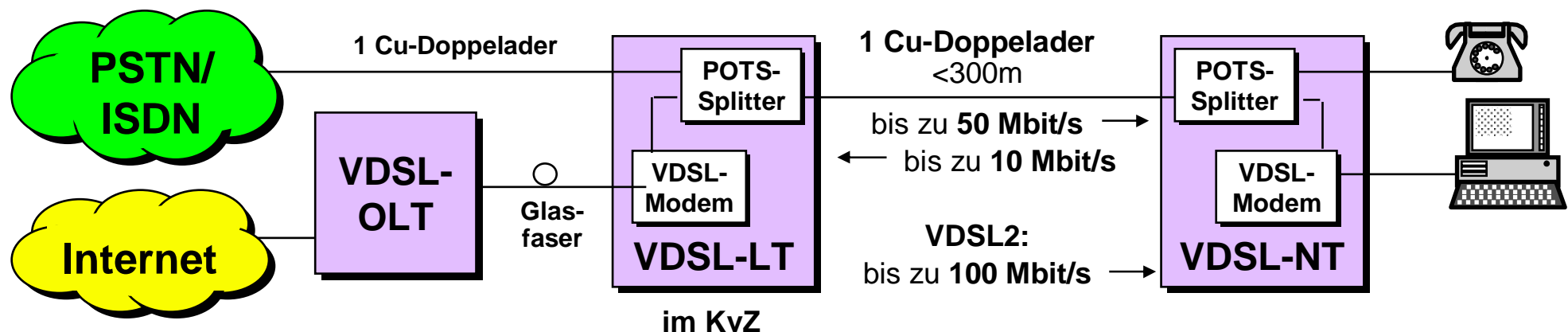
- Unter “**Rate Adaptive ADSL**” (RADSL) wird ein ADSL verstanden das im “Rate Adaptive Mode” arbeitet.
- Dabei ermittelt das ADSL-Modem die mögliche Übertragungsgeschwindigkeit aufgrund der Bedingungen auf der Leitung.
 - entspannt die 256-kBit/s-Spezifikation für den upstream.
 - erlaubt dann die Überbrückung größerer Entfernungen.
- Drei Modis zur Änderung der Übertragungsgeschwindigkeit
 - **MANUAL** – manuelle Änderung
 - **AT_INIT** – beim Systemstart bestimmt und eingestellt
 - **DYNAMIC** – ständige Anpassung an die Gegebenheiten (optional)
- Die Modis sind für beide Richtungen unabhängig einsetzbar:
 - Downstream Rate Adaptation
 - Upstream Rate Adaptation

Inhalt

- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
- DSL-Typen
 - HDSL und SHDSL
 - ADSL, ADSL2 und ADSL2+
 - VDSL und VDSL2
- Weiterentwicklungen

Very High Speed Digital Subscriber Line (VDSL)

- Der derzeit letzte Schritt der Entwicklung benutzt die Glasfaser-Technik: die „Very High Speed Digital Subscriber Line“ (VDSL).
- Die Bitrate wird nochmals kräftig gesteigert, allerdings auf Kosten der Reichweite, die nur noch ausreicht, um z.B. die Strecke vom Teilnehmer zum Kabelverzweiger (KvZ) zu überbrücken.
- Man könnte VDSL auch als FTTC bezeichnen („Fiber to the Curb“).



VDSL – Allgemeines

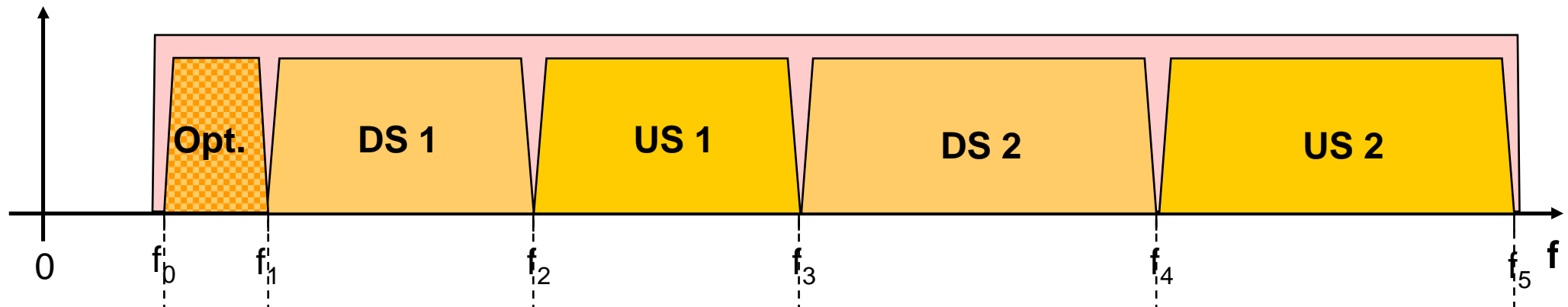
- Nur noch die Strecke vom **Kabelverzweiger** zum Kunden wird per CuDa überbrückt, bis zum Kableverzweiger kommt eine Glasfaser zum Einsatz. (... 80% der Kosten des Anschlussnetzes liegen im Verzweigerkabel!)
(Falls die Länge es zulässt kann der optische Abschluss auch im Gebäude der Vermittlungsstelle liegen.)
- Die Bandbreite auf der Kupferdoppelader wird auf **12 MHz** angehoben. Damit nimmt aber das Störpotenzial zu (in beide Richtungen).
- Die Anzahl der DMT-Träger erhöht sich auf bis zu **4096** (DMT hat sich durchgesetzt ... wie schon bei ADSL ...)
- „Profile“ wurden definiert für verschiedene Dienste und verschiedene Regionen der Welt.

VDSL – Datenkommunikation

- VDSL unterstützt je Richtung zwei „Datenpfade“:
 - „high latency“ (low BER expected)
 - „low latency“ (high BER expected)
- Der Betreiber kann das System entsprechend konfigurieren, so dass entweder beide Datenpfade angeboten werden oder nur einer der beiden.
- Asymmetrischer und symmetrischer Verkehr sind möglich.

BER = Bit Error Ratio

VDSL – Frequenzaufteilung



Bandplan **A** (früher: Bandplan 998, optimiert für asymmetrischen Verkehr)

25	138/276*	3,75	5,2	8,5	12
f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5

Bandplan **B** (früher: Bandplan 997, optimiert für symmetrischen Verkehr)

25	138/276*	3,0	5,1	7,05	12
f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5

Es gibt noch einen Bandplan C, der allerdings nur in Schweden gilt.

* Typ A beginnt bei 138 kHz
Typen B und M beginnen bei 276 kHz

DS	Downstream
US	Upstream
Opt	optional nutzbar (wenn kein ISDN darunter liegt)

VDSL in der Realität (1)

- Durch die begrenzte Reichweite wird Equipment nahe beim Teilnehmer benötigt. Dazu werden die alten „Kabelverzweiger“ (KVZ) umgebaut und enthalten jetzt aktive Komponenten (... und einen neue Name: Multifunktionsgehäuse – MFG).



VDSL in der Realität (2)

DSLAM
(Alcatel
7330FTTN)

Fern-
speisung

Verteiler

Kartenhalter



VDSL – Multifunktionsgehäuse

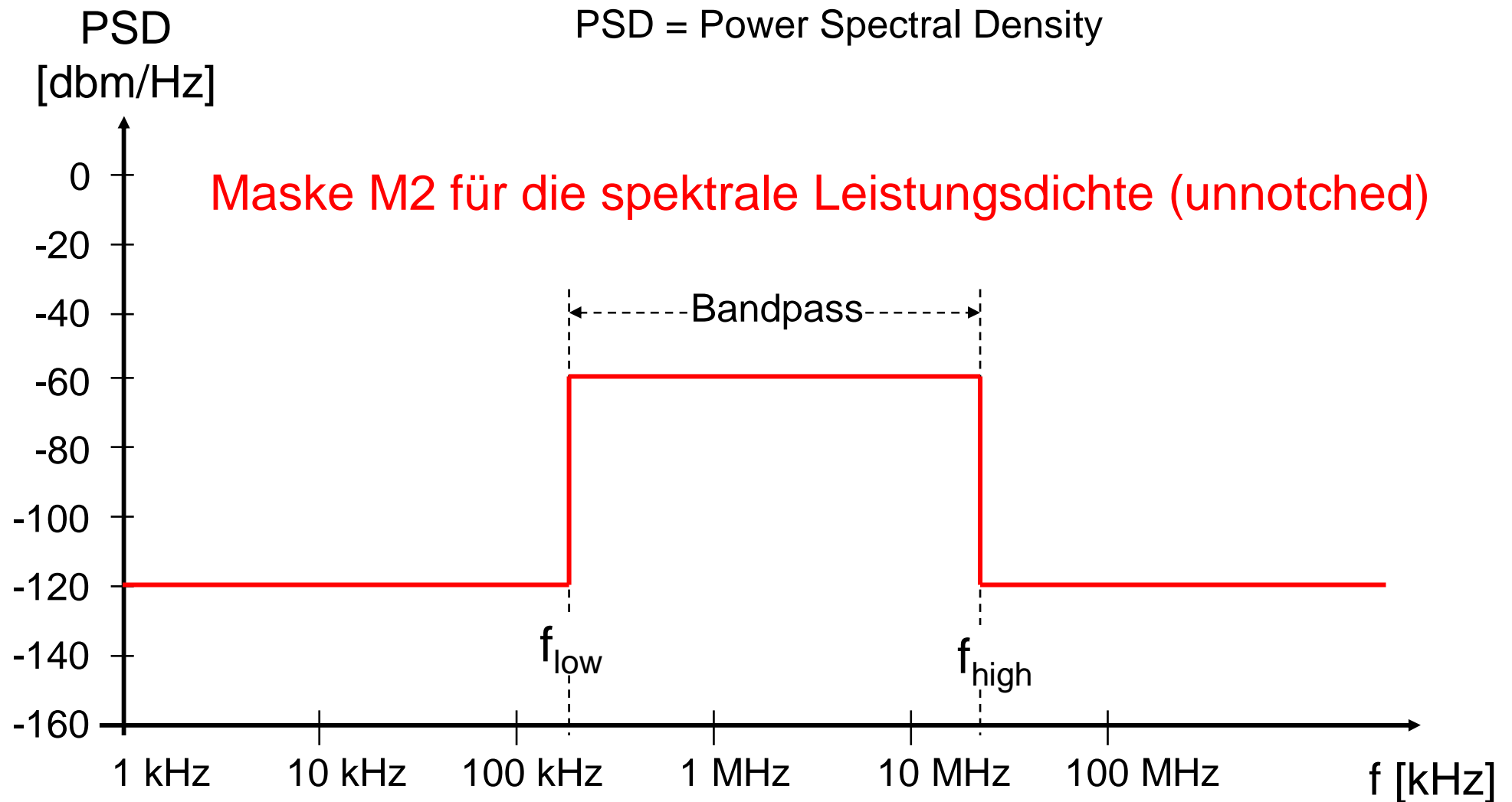
Für das Multifunktionsgehäuse (MFG), oder „Outdoor Cabinet“, gibt es einige Randbedingung:

- **Entwärmung** – rund um die Uhr und das ganze Jahr Betrieb bei nicht zu vernachlässigender Verlustleistung (auch im Sommer). Die Lösung: Lüfter !
- **Geräuschemission** – Einhalten der gesetzlichen Anforderungen an die Lärmemission (z.B. TA Lärm), auch in Wohngebieten.
- **Bauraum und Bauform** – möglichst klein, „überschaubar“ für Verkehrsteilnehmer (betrifft die Bauhöhe), Schutz gegen: Vandalismus, Graffiti, Einbruch, Wasser, Vibration, Stöße, Erdbeben, Blitzschlag.

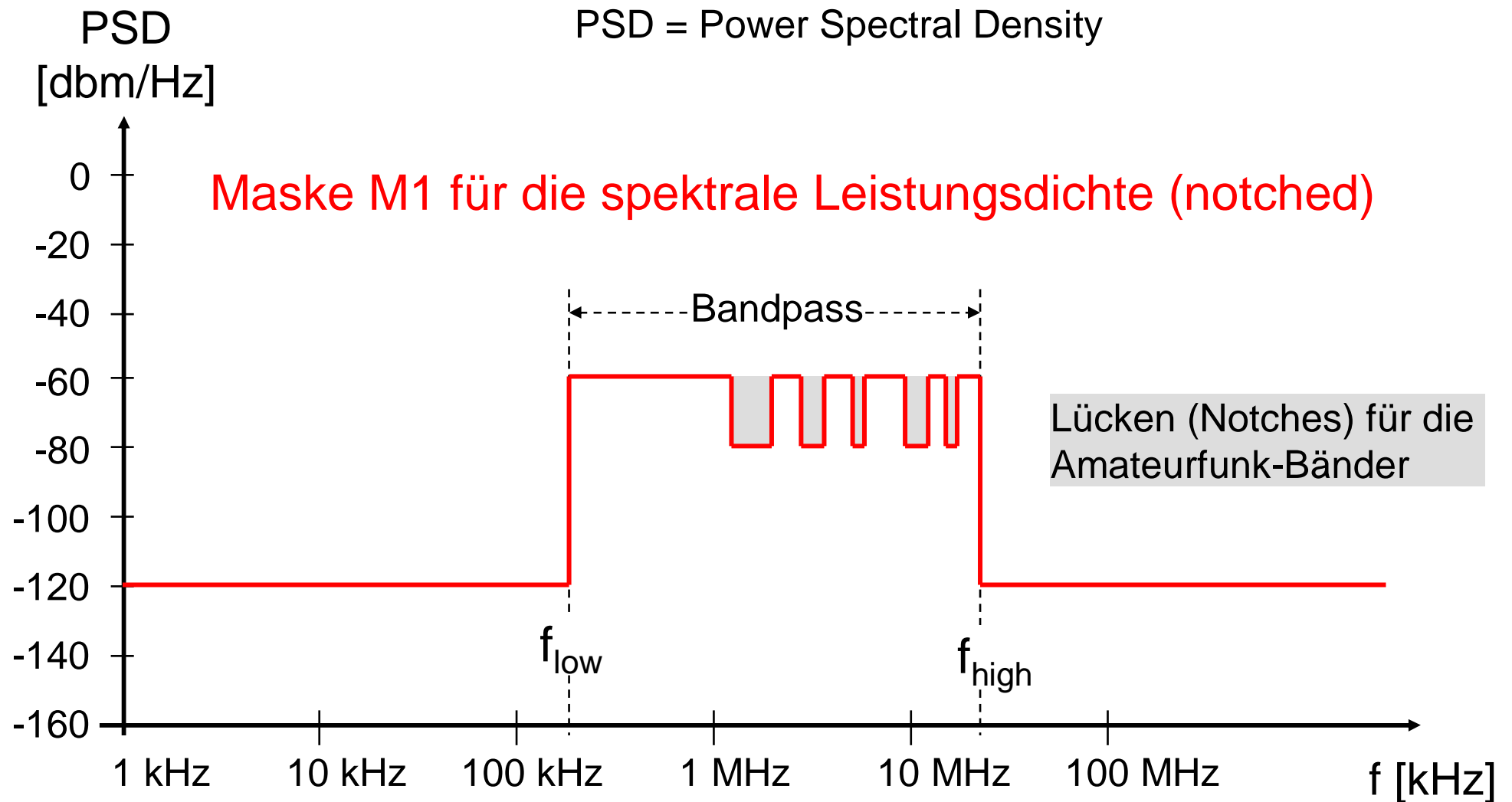
VDSL2

- VDSL2 baut auf folgenden Standards auf:
 - ADLS2
 - ADSL2+
 - VDSL
- Damit ist auch eine Rückwärtskompatibilität zu ADSL, ADSL2 und ADSL2+ gegeben.
- Ergänzungen:
 - Die Bandbreite auf der Kupferdoppelader kann auf 30 MHz angehoben werden.
 - Das steigert die Leistungsfähigkeit auf kurzen Strecken auf bis zu 200 Mbit/s.
 - Trellis-Codierung (ergibt besseres S/N).
 - Unterschiedliche Qualitätsstufen für verschiedene Dienste.
 - Bis zu 16 Frequenzbereiche müssen aussparbar sein („notches“).
 - Viele Detailverbesserungen.

VDSL2 – Spektrale Leistungsdichte (1)



VDSL2 – Spektrale Leistungsdichte (2)



VDSL2 – Profile – Allgemein

- Der VDSL2-Standard erlaubt eine Vielzahl unterschiedlicher Parameter.
- Um nun nicht jedes mal alle Parameter einzeln spezifizieren zu müssen, werden gewisse Parameterwerte zu Gruppen zusammengefasst, so genannten **Profilen**. Profile begrenzen die Komplexität.
- Für unterschiedliche Dienste und verschiedene Regionen der Welt kommen unterschiedliche Profile zum Einsatz.
- Ein VDSL2-Transceiver muss mindestens ein Profil unterstützen, kann aber – um universeller zu sein – mehrere Profile unterstützen.
- VDSL2 definiert derzeit 8 Profile.

VDSL2 – Profile – Übersicht

	Profil							
	8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
P_{\max} (downstream, dBm)	+17,5	+20,5	+11,5	+14,5	+14,5	+14,5	+14,5	+14,5
Subcarrier Spacing (kHz)	4,3125	4,3125	4,3125	4,3125	4,3125	4,3125	4,3125	8,625
Number of Subcarrier	2048	2048	1972	2048	2783	2783	4096	3479
Bandwidth (MHz)	8,832	8,832	8,5	8,832	12	12	17,664	30
Data Rate _{max} (bidir., Mbit/s)	50	50	50	50	68	68	100	200

Tabelle unvollständig

- 8b: größere Reichweite bei Übersprechen gleicher Dienste
- 12a: vergrößerter Upstream
- 17a: Reichweite wie 12a aber vergrößerter Downstream

Die Deutsche Telekom verwendet 8b und 17a.

Inhalt

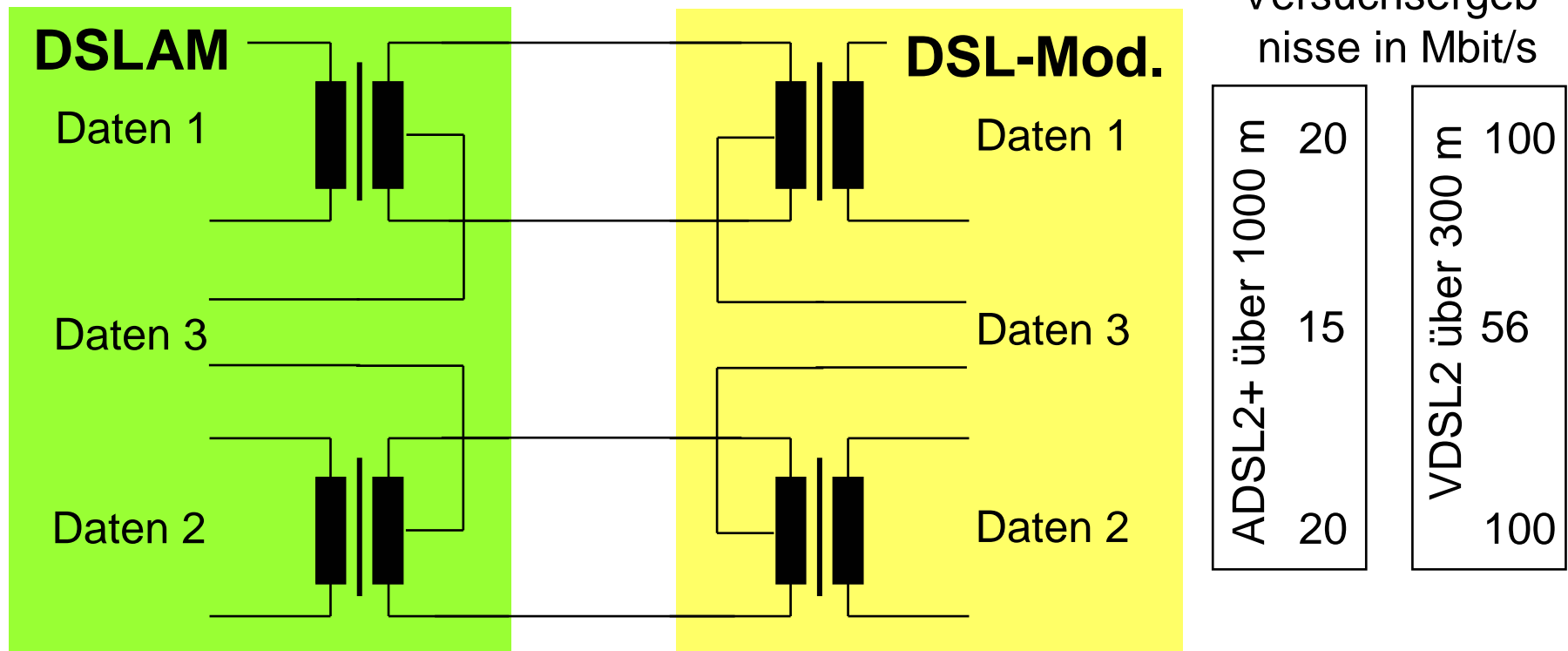
- Einleitung
- Teilnehmeranschluss
- DSL-Einführung
- Techniken in DSL-Systemen
- DSL-Typen
- Weiterentwicklungen

VDSL Vectoring

- Ein Betreiber, dem das ganze Kabelbündel gehört, kann über alle Doppeladern die gegenseitigen Störungen herausrechnen.
- Das erlaubt eine höhere Übertragungsgeschwindigkeit für VDSL.

Phantomkreise

- Fraunhofer ESK und Infineon haben auf DSL-Leitungen den Phantomkreis erprobt.
- Mit zwei „realen“ Leitungen werden drei Übertragungsstrecken aufgebaut.



„Nutzung“ von Störungen

- Ähnlich dem MIMO-Konzept bei der Funktechnik gibt es Überlegungen, dieses Prinzip auch auf Leitungsgebundener Telekommunikation zu nutzen.
- Dazu werden Störungen durch andere Leitungen (Nebensprechen) ausgenutzt, um eine bessere Nutzdatenübertragung zu erzielen.
- Dazu sind ausgefeilte Signalprozessor-Techniken notwendig.
- ob das wirklich funktioniert, ist noch offen.

MIMO Multiple Input – Multiple Output



ENDE

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dipl.-Ing. Harald Orlamünder
harald.orlamuender@t-online.de