

Telematik

8. Weitere ausgewählte Beispiele



Prof. Dr. Martina Zitterbart

Dipl.-Inform. Thomas Gamer

Dipl.-Inform. Martin Röhrich

[zit | gamer| roehricht]@tm.uka.de



I. Einführung

1. Einführung

II. Internet

2. Ende-zu-Ende Datentransport
3. Routingprotokolle und -architekturen
4. Medienzuteilung
5. Brücken

III. Übertragungstechnik

6. Datenübertragung

IV. Telekommunikationsnetze

7. ISDN

8. Weitere ausgewählte Beispiele

V. Netzmanagement

9. Netzmanagement

8.1 DSL (Digital Subscriber Line)

- 8.1.1 Übertragungstechnik
- 8.1.2 Aufbau einer ADSL-Verbindung
- 8.1.3 Weiterentwicklungen

8.2 Label Switching

- 8.2.1 Komponenten
- 8.2.2 Das Netzzugangs-Protokoll X.25
- 8.2.3 Multiprotocol Label Switching

8.3 Grid und Cloud Computing

- 8.3.1 Grid Computing
- 8.3.2 Cloud Computing
- 8.3.3 Ausblick

8.4 Ausblick: Future Internet

- Datenraten im Zugangsbereich von Internetnutzern

- Modem

- ▶ Bis zu 56 kbit/s
 - ▶ Volle Bandbreite häufig aufgrund von Störungen nicht erreichbar



- ISDN

- ▶ Bis zu 64 kbit/s
 - ▶ Volle Bandbreite durch digitale Übertragung nutzbar
 - ▶ Mit Kanalbündelung (der 2 B-Kanäle) 128 kbit/s erreichbar



- Zum Vergleich: LAN

- ▶ In lokalen Netzen waren zu Zeiten von ISDN schon Geschwindigkeiten bis zu 100 Mbit/s möglich!



→ Die Einführung von DSL im Jahr 1999 erhöht die Datenrate signifikant

- ▶ Bis zu 8 Mbit/s bei Nutzung der vorhandenen Verkabelung



- DSL kann grob in 2 Kategorien eingeteilt werden



- ADSL (**Asymmetric DSL**)

- ▶ Der Informationsfluss der meisten interaktiven Internet-Anwendungen ist asymmetrisch
 - ▶ Viele Daten werden vom Server angefordert
 - ▶ Wenig eigene Daten werden an den Server gesendet
- ▶ Downstream- und Upstream-Datenraten sind asymmetrisch
 - ▶ Downstream: 768 kbit/s - 8 Mbit/s
 - ▶ Upstream: 128 kbit/s - 576 kbit/s
- ▶ In Deutschland häufig unter der Bezeichnung DSL eingesetzt



- SDSL (**Symmetric DSL**)

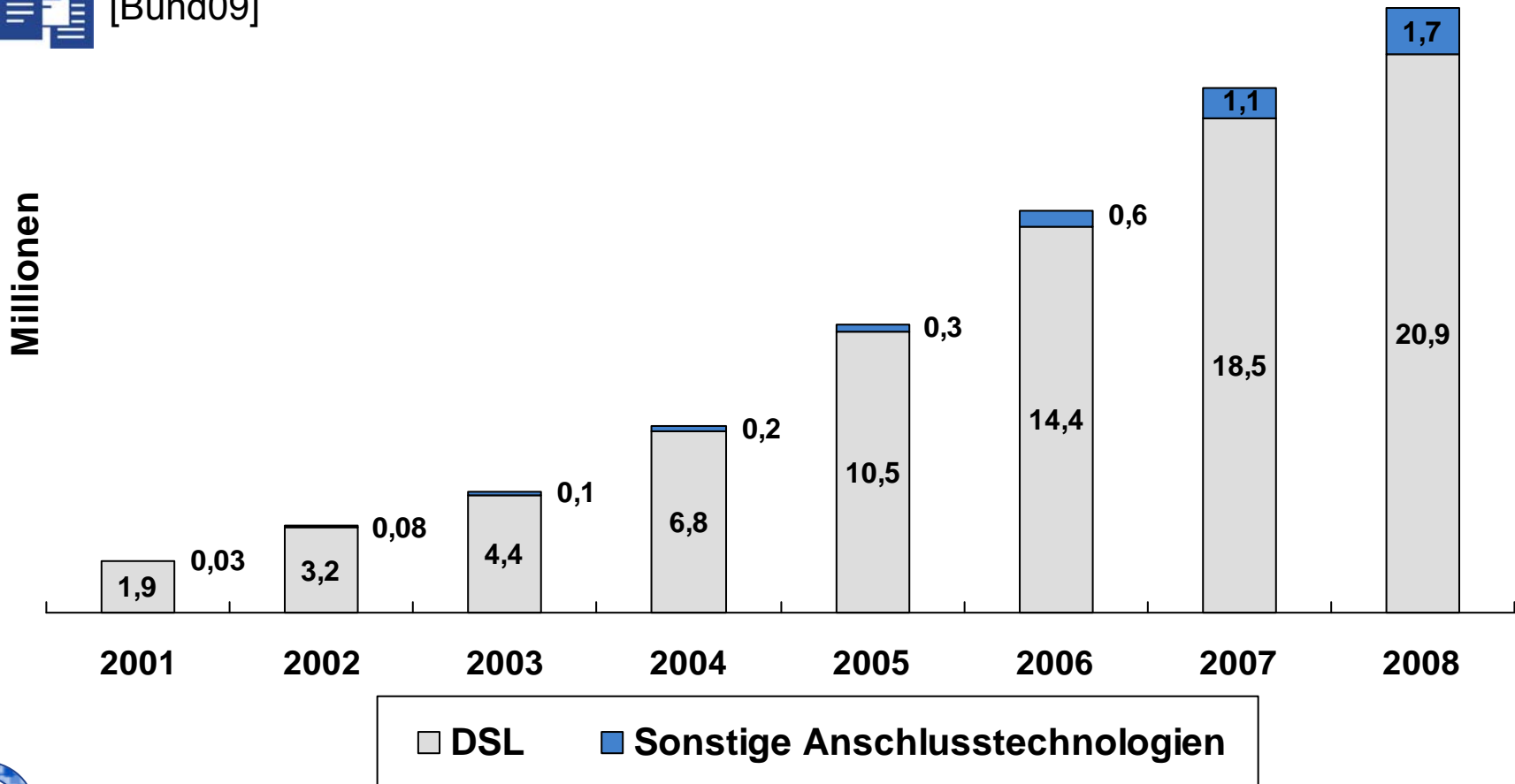
- ▶ Vor allem im Geschäftskundenbereich eingesetzt
 - ▶ Ausnahme: Q-DSL home von QSC
- ▶ Meist wesentlich teurer als ADSL
- ▶ Reiner Datenanschluss, d.h. keine gleichzeitige Telefonie möglich



- Bericht der Bundesnetzagentur (Stand: 17.06.2009)



[Bund09]

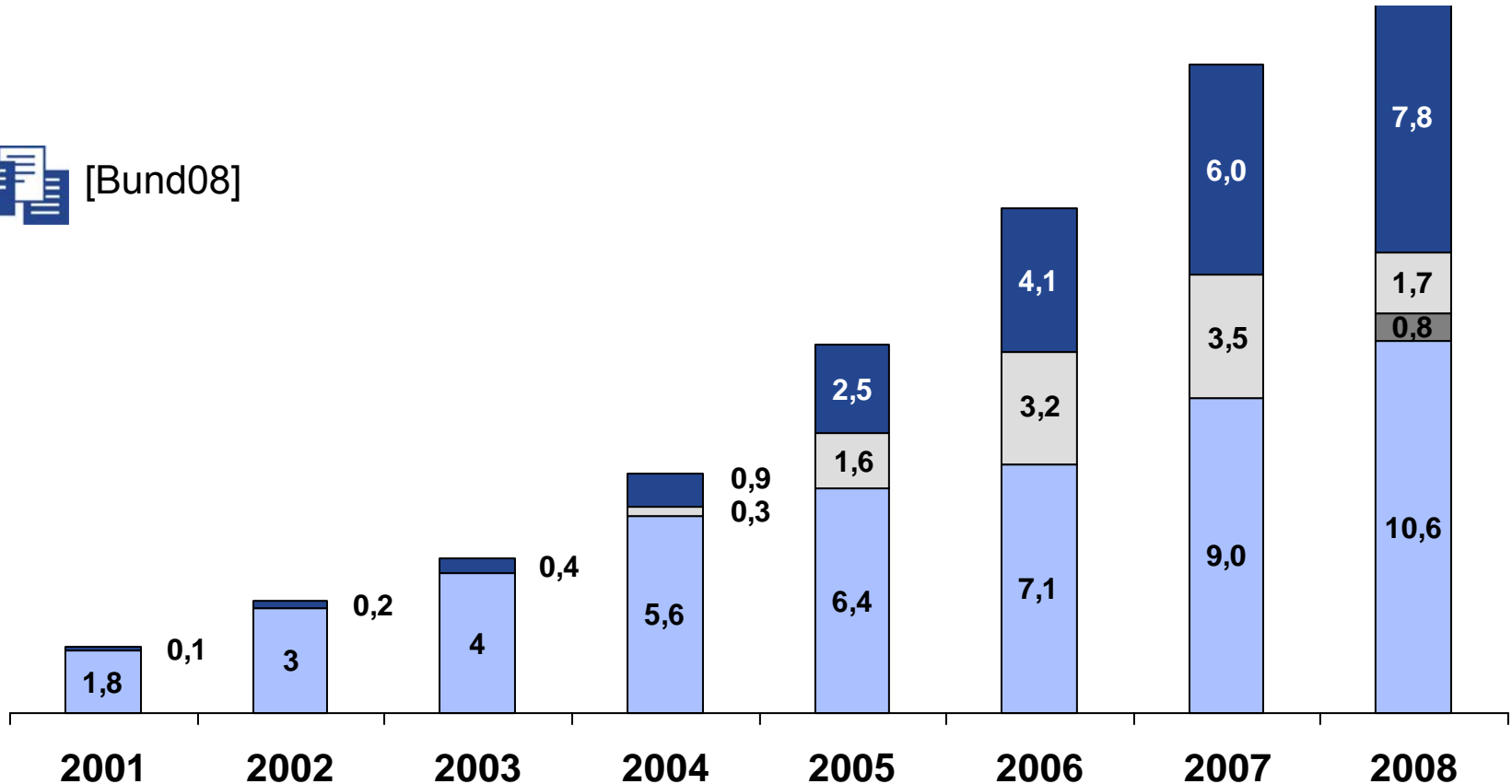


- Bericht der Bundesnetzagentur (Stand: 20.03.2009)



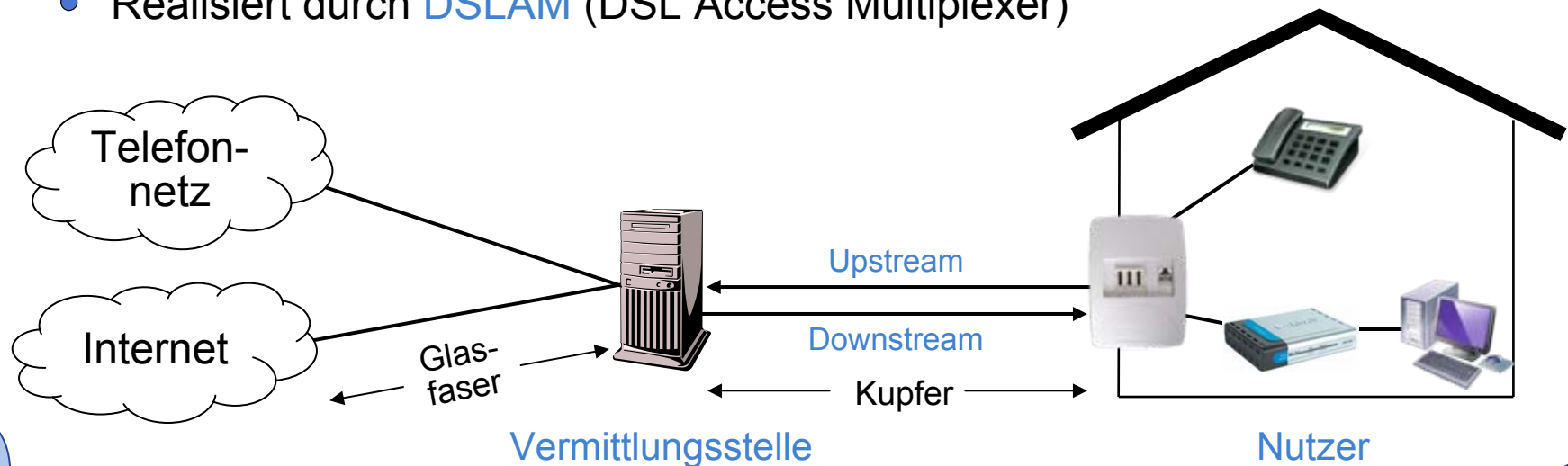
[Bund08]

Millionen

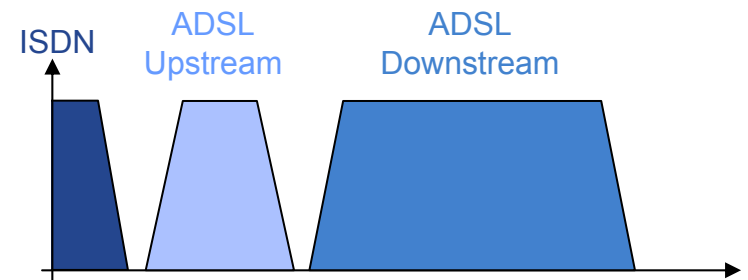
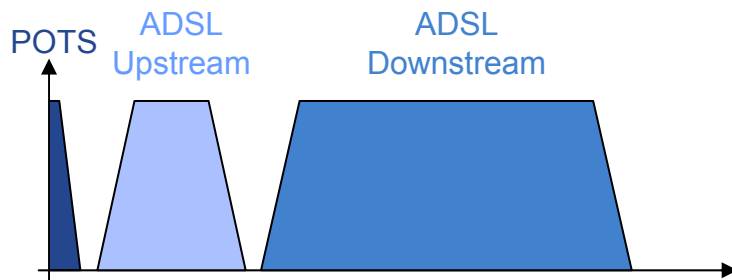


■ DTAG ■ Bitstrom DTAG ■ T-DSL-Resale ■ Wettbewerber (Eigenrealisierung)

- Beim Nutzer ankommendes Signal wird im **Splitter** in Telefon- und Datensignal getrennt
 - Splitter arbeitet passiv
 - ▶ Auch bei Ausfall des Splitters bleibt das Telefonsignal erhalten
- Nutzung der vorhandenen Kupfer-Doppeladern bis zur Vermittlungsstelle
- Umsetzung des vom Nutzer ausgehenden Signals auf Glasfaser in der Vermittlungsstelle
 - Auch hier muss eine vorherige Trennung stattfinden
 - Realisiert durch **DSLAM** (DSL Access Multiplexer)




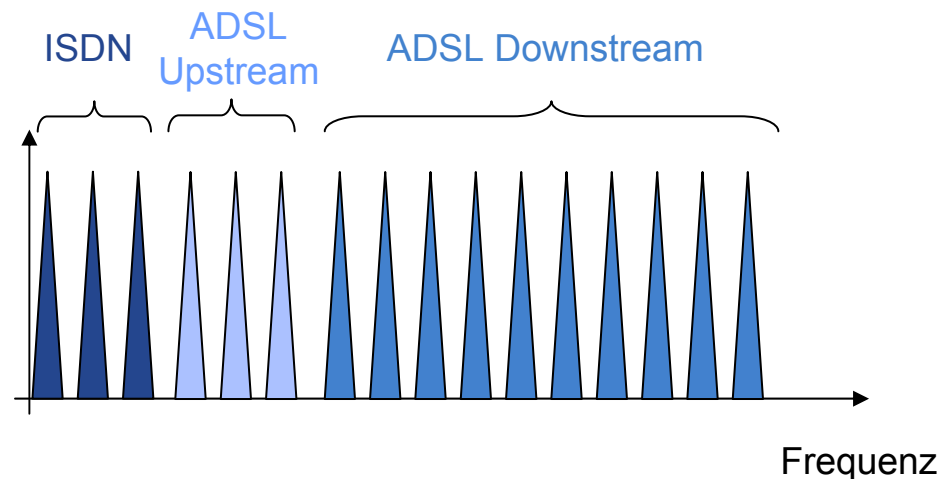
- Einsatz von Frequenzmultiplex
 - Nutzung der unteren Frequenzen für Telefonsignal
 - ▶ **Annex A**
 - ▶ Es werden nur 3 kHz für analoge Telefonie (POTS) benötigt
 - ▶ **Annex B**
 - ▶ Es werden 120 kHz für ISDN-Telefonie benötigt
 - ▶ Maximaler Downstream in diesem Fall nur 6 Mbit/s (statt 8 Mbit/s)
 - Höhere Frequenzen werden für Datensignal genutzt
 - ▶ Die verbleibenden Frequenzen bis 1,104 MHz werden für ADSL Upstream und Downstream genutzt
 - ▶ Annex B: 138-276 kHz für Upstream, 276-1104 kHz für Downstream



POTS: Plain Old Telephone System

ISDN: Integrated Services Digital Network

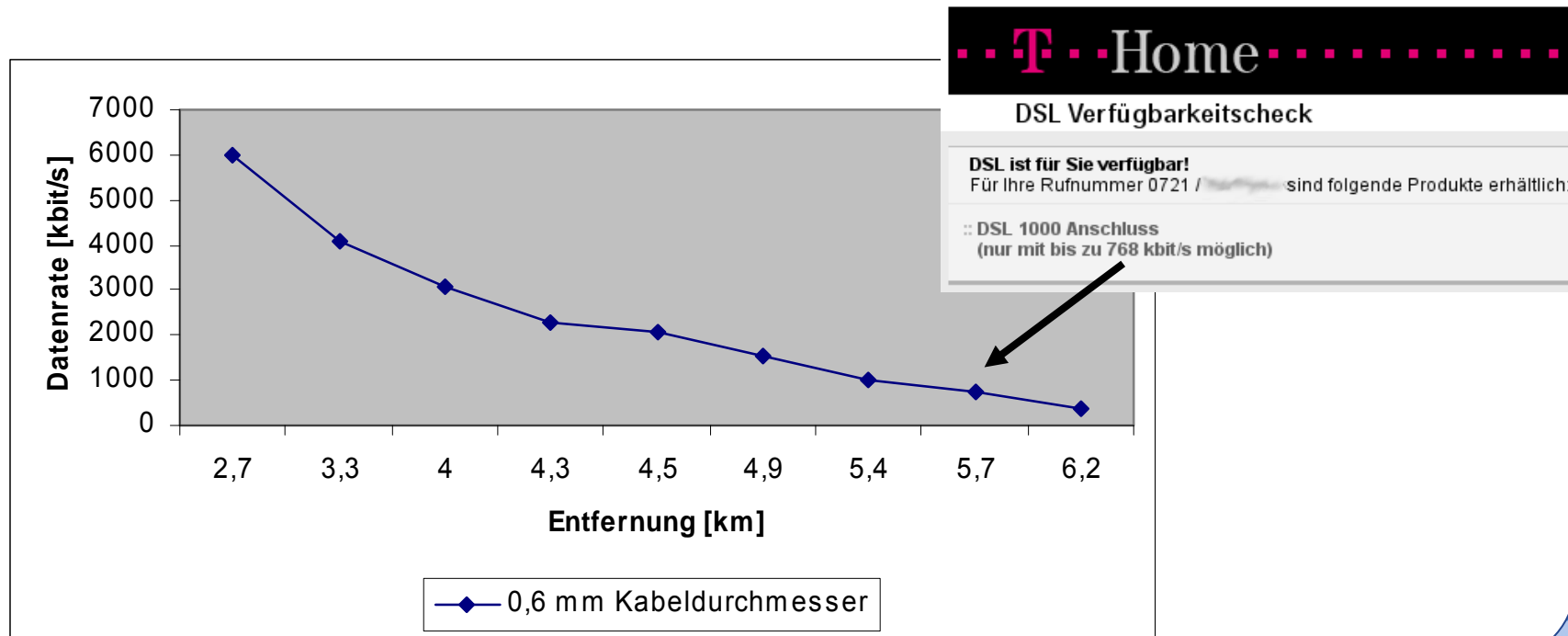
- Einsatz von Discrete Multitone (DMT) zur Modulation
 - Aufteilung des gesamten Frequenzbereichs in Menge von Trägern
 - ▶ Sehr ähnlich zu OFDM in drahtlosen Netzen 
 - ▶ Wenig stör anfällig
 - ▶ Auf häufig gestörten Trägern werden weniger Bits übertragen
 - ▶ Vernachlässigbare Laufzeitverzerrung
 - ▶ Jeder Träger belegt eine Bandbreite von 4,3125 kHz
 - ▶ Bei Annex B werden jeweils 32 der 256 Träger für ISDN und für ADSL Upstream benötigt



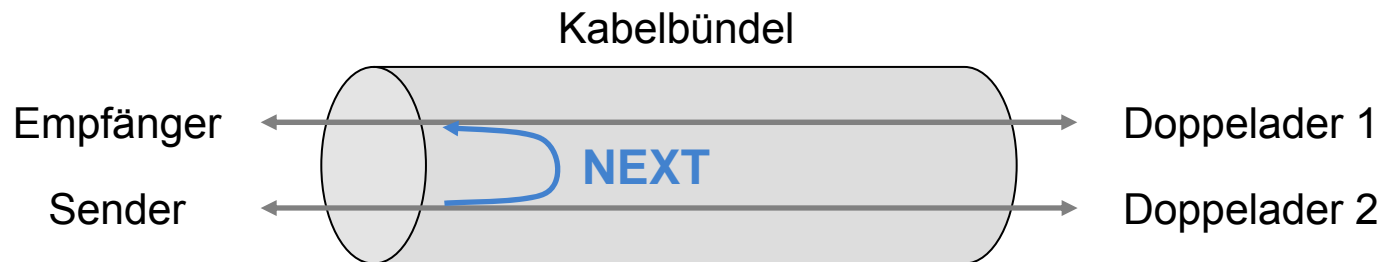
- **Dämpfung** beeinflusst die an einem bestimmten Anschluss nutzbare Datenrate
- Dämpfung wird hauptsächlich von 3 Parametern beeinflusst
 - **Kabeldurchmesser**
 - ▶ Dämpfung sinkt mit steigendem Kabeldurchmesser
 - ▶ Größerer Kabeldurchmesser ermöglicht bei gleicher Entfernung höhere Datenraten

Durchmesser [mm]	Dämpfung [dB/km]
0,35	14
0,4	12
0,5	8,5
0,6	7,5
0,8	5,7

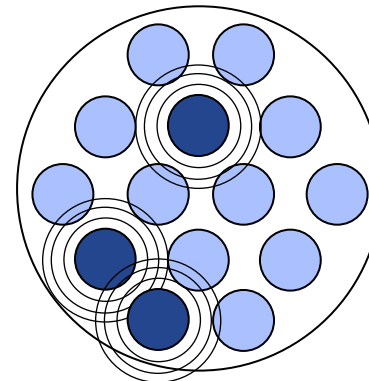
- **Entfernung** zwischen Nutzer und Vermittlungsstelle, d.h. Länge der Kupfer-Doppelader
 - ▶ Bei größerer Entfernung sinkt die erreichbare Datenrate
 - ▶ Auch die Upload-Rate sinkt entsprechend
 - ▶ Beispiel: Kabeldurchmesser von 0,6mm



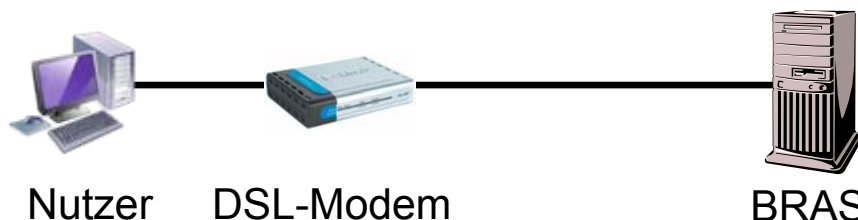
- **Störungen**, z.B. Übersprechen (Crosstalk)
 - ▶ **NEXT** (Near End Crosstalk)
 - ▶ Sender stört Empfänger
 - ▶ Entsteht durch nicht ideales Abstrahlverhalten der Baugruppen an der Grenze zwischen Up- und Downstream-Spektrum
 - ▷ z.B. im Fall von Annex B bei 276 kHz
 - ▶ Meist hoher Störpegel, da Signal beim Sender kaum gedämpft



- **Störungen**, z.B. Übersprechen (Crosstalk)
 - ▶ FEXT (Far End Crosstalk)
 - ▶ Sender stören sich gegenseitig
 - ▶ Entsteht bei parallel laufenden Signalen über die gesamte Leitungslänge
 - ▶ Störpegel ist meist geringer als bei NEXT, da Signal über die gesamte Leitungslänge gedämpft wird
- Nur bestimmte Anzahl verfügbarer Doppeladern pro Kabelbündel für ADSL nutzbar

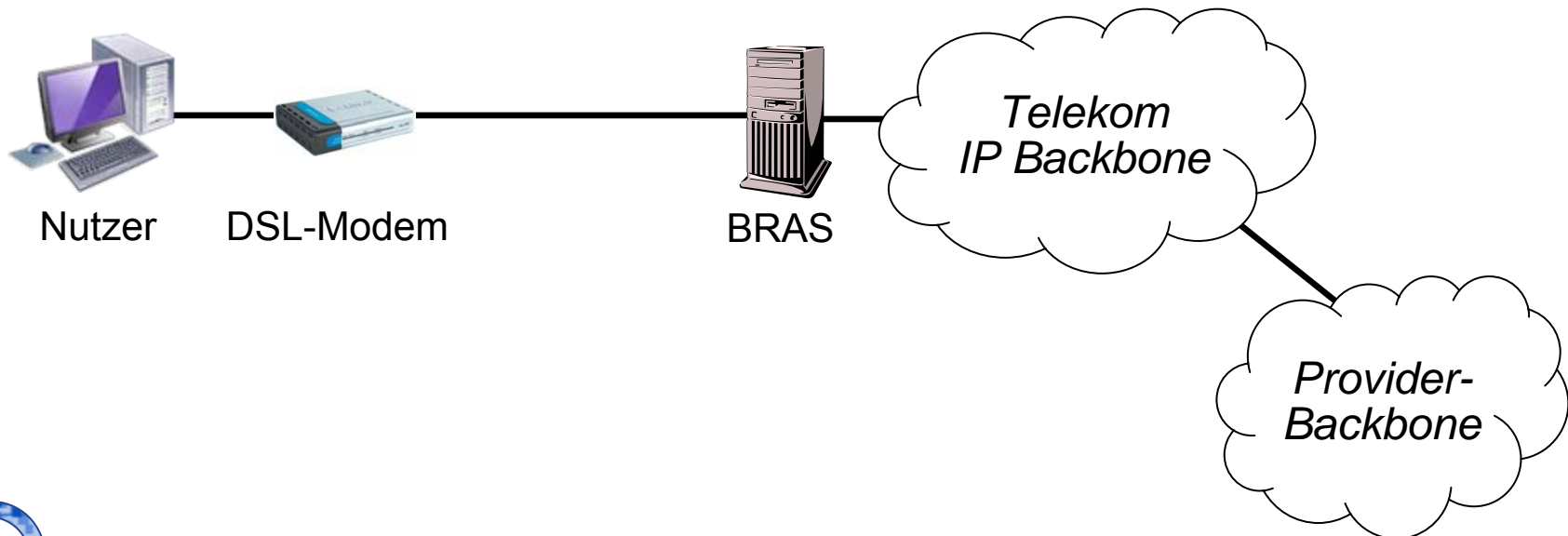


- Ablauf (Provider ist gleichzeitig Netzbetreiber)
 - Establish-Phase
 - ▶ Aufbau der physikalischen Verbindung
 - ▶ Aushandlung der Verbindungsparameter (Datenrate, genutzte Träger)
 - ▶ Aushandlung der Authentifizierungsmethode
 - Authentication-Phase
 - ▶ Authentifizierung basierend auf der ausgehandelten Methode
 - ▶ Password (PAP), Challenge Handshake (CHAP, MS-CHAP)
 - Network-Phase
 - ▶ Vergabe der IP-Adresse
 - ▶ Bekanntgabe der DNS-Server-Adresse
- Anschließende Datenübertragung erfolgt über PPPoE



BRAS: Broadband Remote Access Server
(auch DSL Access Concentrator genannt)

- Ablauf (Provider nutzt DSL Resale-Anschluss)
 - Abbruch des vorherigen Ablaufs in der Authentifizierungs-Phase
 - ▶ Erst zu diesem Zeitpunkt ist klar, dass der Nutzer Kunde eines anderen Providers ist
 - ▶ Benutzername: *xyz@provider*
 - Danach Weiterleitung aller Dateneinheiten an anderen Provider
 - ▶ Gesamter Ablauf wird neu gestartet und komplett mit neuem Provider durchgeführt

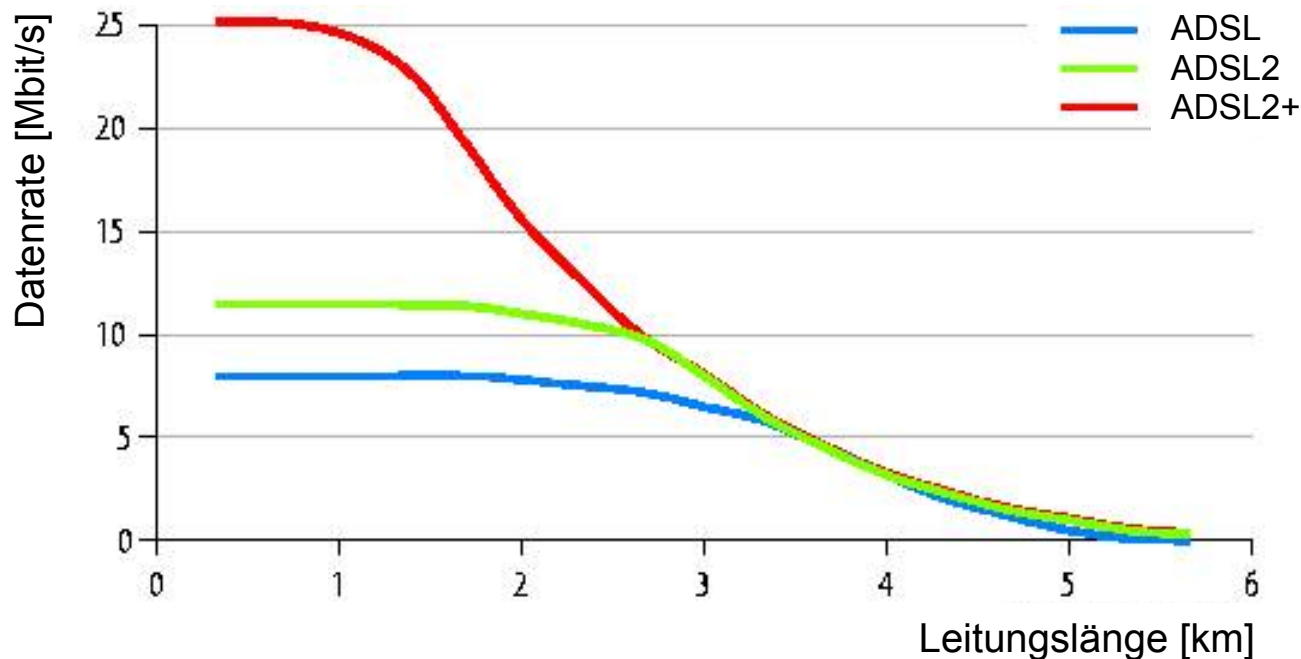


- Aushandlung der Datenrate ist Teil der Establish-Phase
- Fixed rate (hauptsächlich Telekom)
 - Datenrate wird anhand einer Dämpfungstabelle auf bestimmten Wert festgelegt
 - Dieser Wert enthält einen „Sicherheitsaufschlag“, damit auch bei zukünftigen Änderungen, z.B. stärkeren Störungen durch neue DSL-Anschlüsse, die Datenrate erreicht werden kann
- Adaptive rate
 - Aushandlung der maximalen unter aktuellen Gegebenheiten erreichbaren Datenrate
 - ▶ Häufig höhere Datenraten erzielbar als mit fixed rate
 - ▶ Resynchronisation bei Verschlechterung der Bedingungen erforderlich
 - ▶ Kurzer Ausfall der Verfügbarkeit
 - **Aktuell:** Die Telekom führte bis zum 16. Januar 2009 einen Pilottest zur Umstellung auf Adaptive Rate durch
 - ▶ Das Ergebnis des Tests ist allerdings bislang nicht offiziell bekannt

- ADSL2
 - Erhöhung der maximal erreichbaren Datenrate durch verbesserte Kodierung und Signalverarbeitung, z.B. effizientere Nutzung der Träger
 - Hat sich in Deutschland nicht durchgesetzt
- ADSL2+
 - Einführung im Jahr 2005
 - Nutzung eines größeren Frequenzbereichs (bis 2 MHz)
 - Verbesserte Kodierung und Signalverarbeitung
 - ▶ Weniger Übersprechen
 - Energieeinsparung durch Abschaltung des Modems im Idle-Zustand
 - Anpassung der Datenrate während Übertragung möglich (vgl. adaptive rate)
 - Downstream-Rate bis 25 Mbit/s möglich (Annex A)
 - ▶ Upstream-Rate erhöht sich ebenfalls leicht auf 1 Mbit/s
 - Annex M erhöht Upstream auf bis zu 3 Mbit/s
 - ▶ Downstream wird dafür auf 20 Mbit/s reduziert

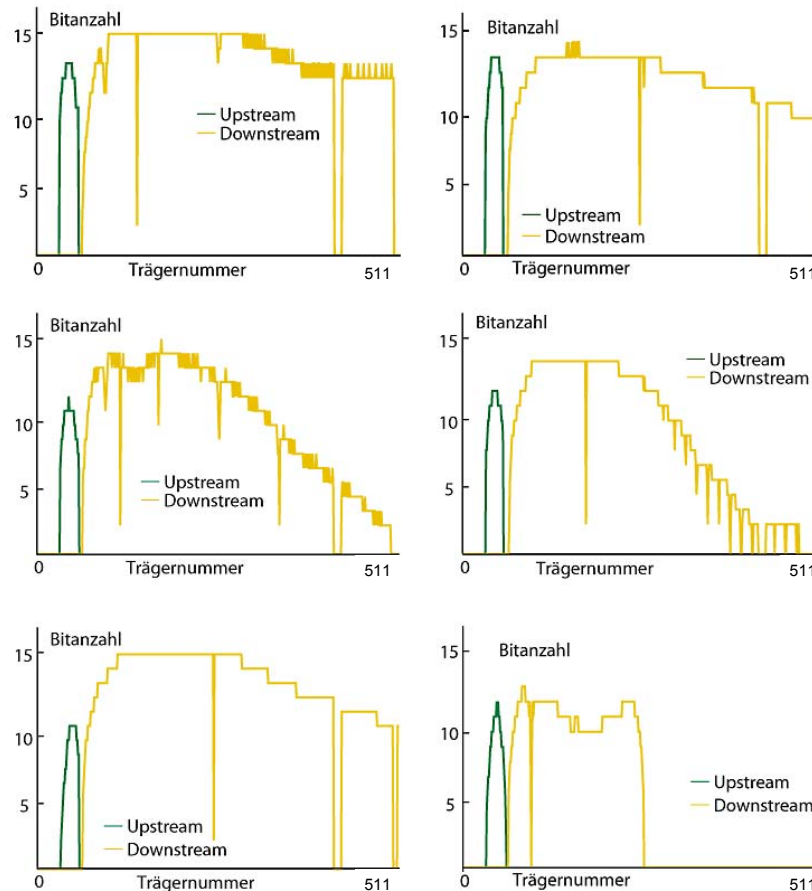
- Vergleich der Varianten

 [Koss06]



- Ab einer Länge von ~2,5 km sind ADSL2+ und ADSL2 gleichwertig
- Ab einer Länge von ~3,5 km sind ADSL2+ und ADSL gleichwertig

- Ausmessen der Anzahl zu übertragender Bits pro Träger während des Verbindungsaufbaus am Beispiel verschiedener ADSL2+-Modems
- Jeder Subkanal wird vermessen und (theoretisch) bestmöglich ausgenutzt
- ADSL2+: Nachmessen während Verbindung möglich
- Reale Beispiele:



- ADSL2+:
24 Mbit/s 🕒
1 Mbit/s 🕒
- Praxis etwa
16 Mbit/s 🕒
erzielbar

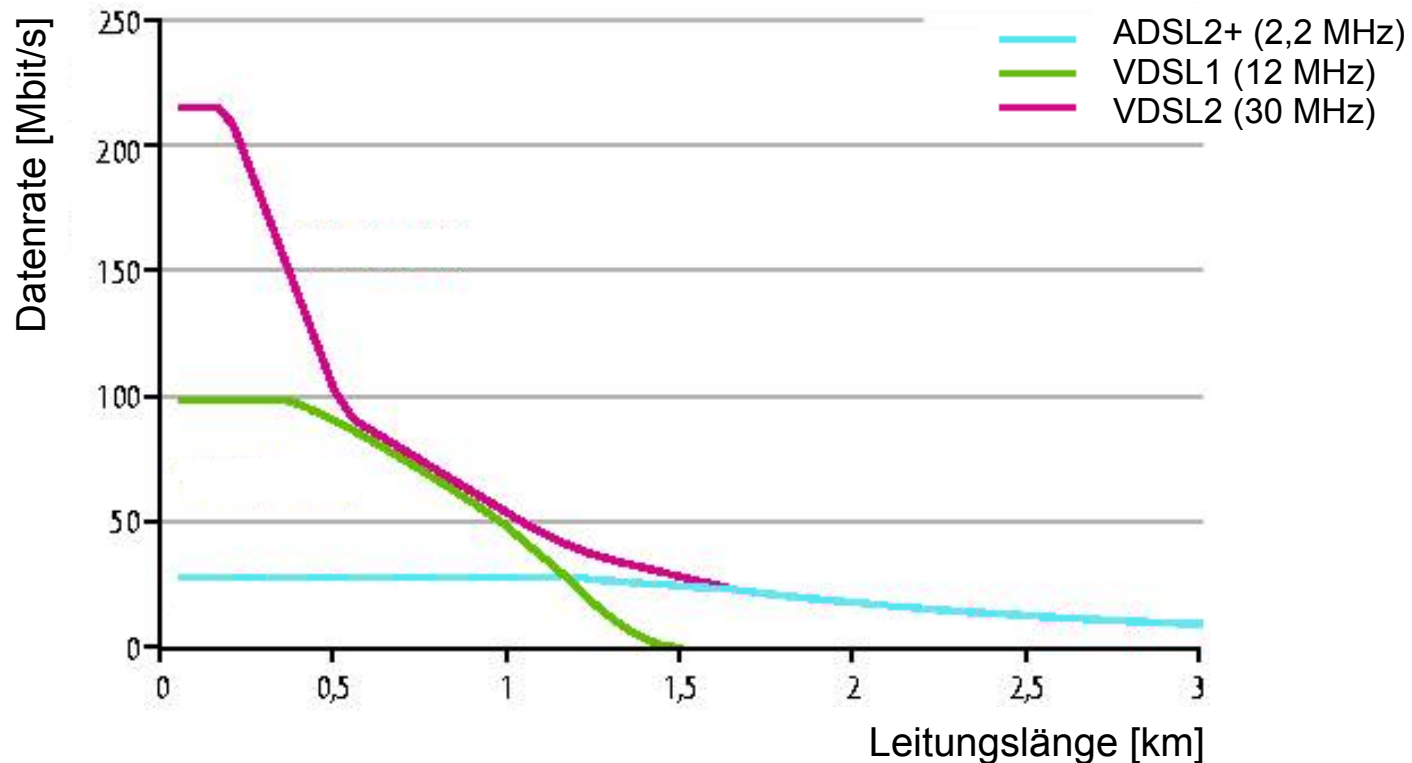


[ZiEA06]

- VDSL1 (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line)
 - Nutzung eines größeren Frequenzbereichs (bis 12 MHz)
 - Nur für geringe Entfernungen sinnvoll
 - ▶ Bereits bei Entfernung von ca. 1,2 km auf ADSL2+-Niveau
 - Hat sich in Deutschland nicht durchgesetzt
- VDSL2
 - Einführung im Jahr 2006
 - Nutzung eines größeren Frequenzbereichs (bis 30 MHz)
 - ▶ Ermöglicht theoretisch symmetrische Datenraten bis 200 Mbit/s
 - ▶ Telekom bietet VDSL2 in 2 Varianten an
 - ▶ 25 Mbit/s Downstream bei 5 Mbit/s Upstream
 - ▶ 50 Mbit/s Downstream bei 10 Mbit/s Upstream
 - Nur bei sehr geringen Entfernungen sinnvoll
 - ▶ Bei höheren Entfernungen kein Gewinn im Vergleich zu ADSL möglich

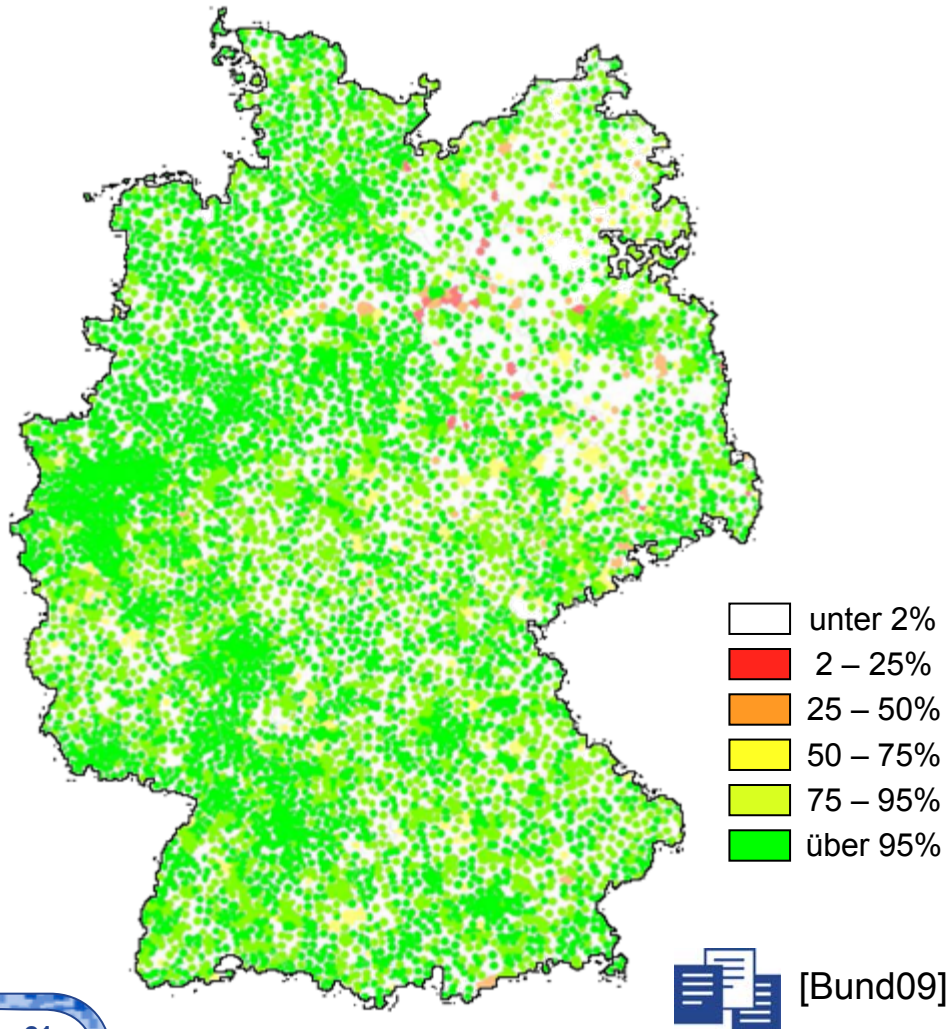
- Vergleich der Varianten

 [SkZi06]



- Ab einer Länge von ~0,7 km sind VDSL2 und VDSL1 gleichwertig
- Ab einer Länge von ~1,7 km sind VDSL2 und ADSL2+ gleichwertig

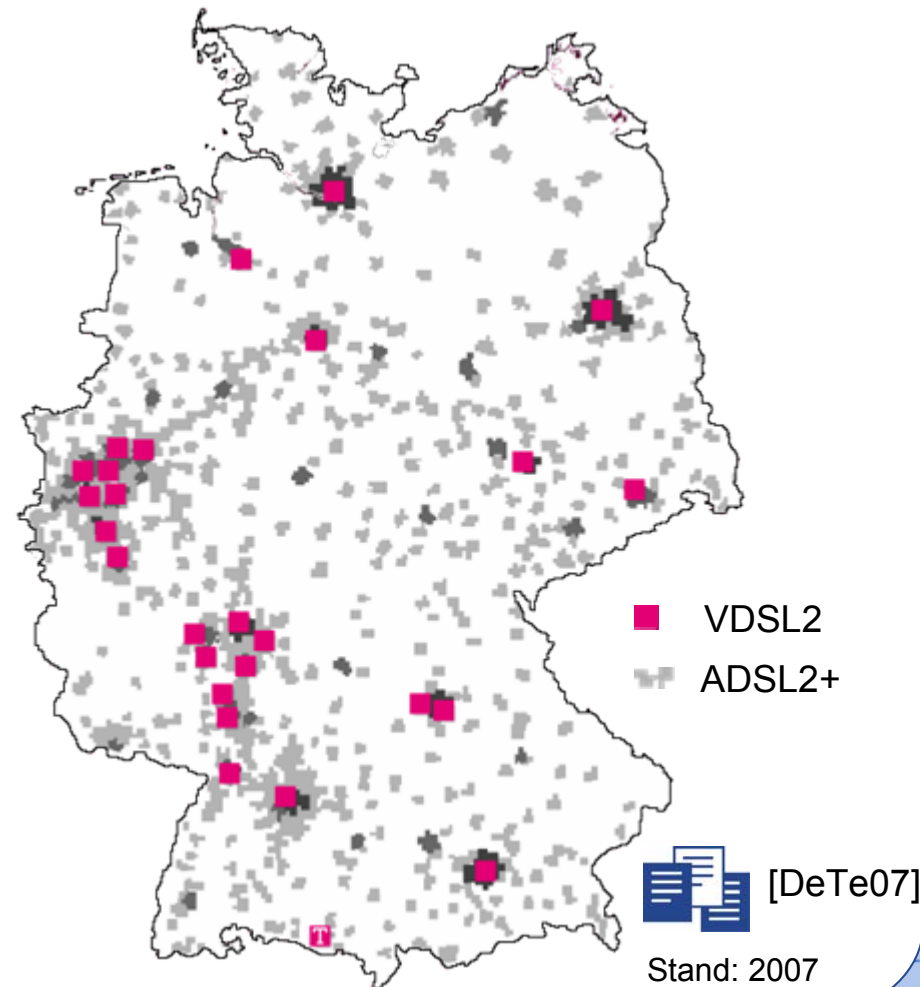
DSL-Verfügbarkeit in Deutschland



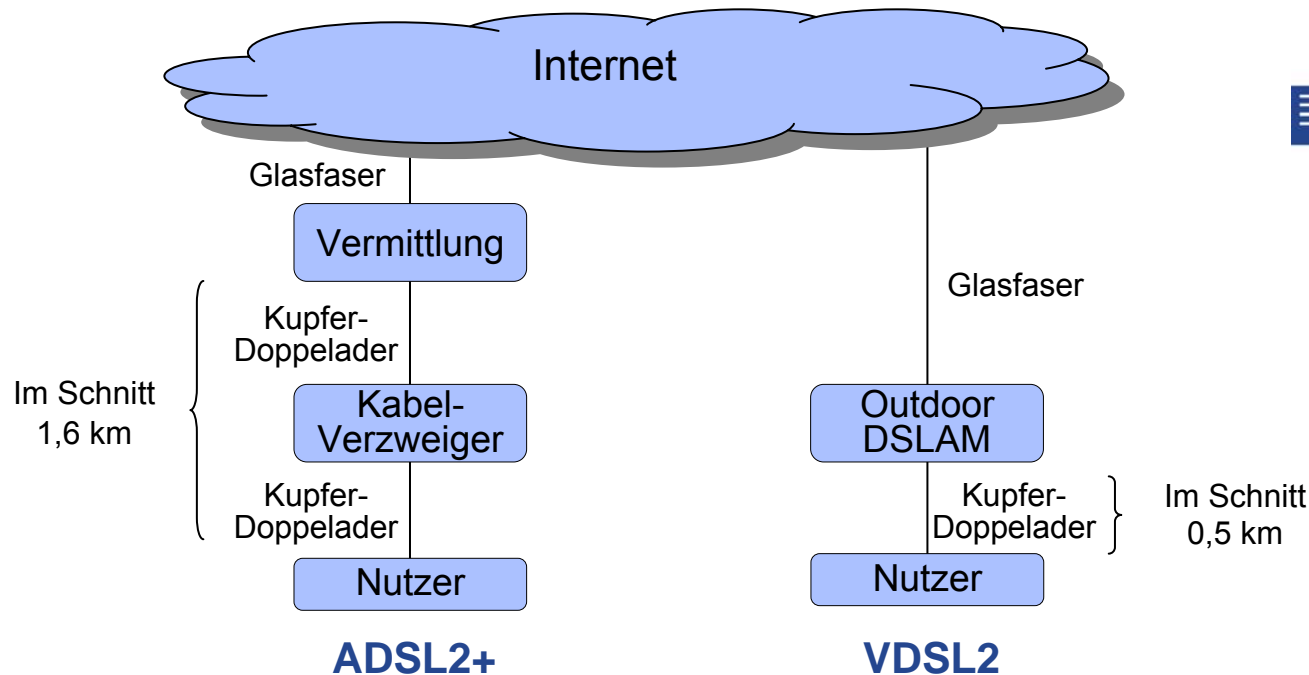
21

Stand: 01.01.2009

Aktueller Stand des ADSL2+- und VDSL2-Ausbaus der Telekom



- Mixtur aus Glasfasertechnik und Kupferdoppelader
 - Verkürzte Kupferstrecke
 - Einsatz verbesserter Kodierung und Signalverarbeitung
 - Nutzung eines größeren Frequenzbereichs
 - Preiswerter als reine Glasfaser-Infrastruktur
 - Weitere Nutzung der vorhandenen Technik



- Telekom baut Outdoor-DSLAMs
 - Umsetzung zwischen VDSL2-Übertragung auf Kupferseite und optischer Übertragung auf Glasfaserseite
 - ▶ Verkürzung der Kupferstrecken zwischen Nutzer und Vermittlungsstelle
 - ▶ „Fibre to the Curb“ (FTTC, Glasfaser zum Bordstein)



- Unterstützen mehrere hundert VDSL2-Nutzer
- Leistungsaufnahme deutlich unter 1 kW
- Bieten verschiedene Power-Modi
 - L0 (volle Leistung) bis L3 (Sleep Modus)

- Fernüberwachung und -steuerung von VDSL2-Leitungen möglich
 - Networkmanagement-System auf DSLAM-Seite
 - Pfad- und leitungsbezogene Parameter
 - Wartungskommandos und -bestätigungen
 - Indicator Bits Channel (IBC)
 - Embedded Operations Channel (EOC)

- Fehlerkorrekturmechanismen zur Forward Error Correction (FEC)
 - Kodierung gemäß Reed-Solomon
 - ▶ Bei Nutzung von 16 Parity-Bytes in 255 Byte Codeworten können bis zu 8 Bitfehler pro Codewort korrigiert werden
 - Verschränkung (Interleaving) von Codewörtern bei schlechter Leitungsqualität möglich
 - ▶ Verringert Anfälligkeit für Fehlerbursts
 - ▶ Erhöht Latenzen
- Signal-Rausch-Verhältnis durch Trellis-Kodierung verbessert
 - Fügt Redundanzen in Datenstrom ein
 - Erhöht Signal-Rausch-Verhältnis um 3dB (Faktor 2)

- VDSL2 bietet verbesserte Störtoleranz
 - DSL-Parameter können ohne Verbindungstrennung modifiziert werden
 - Dynamisches Ausweichen auf weniger gestörte Träger möglich (bit swapping)
 - Dynamic Rate Repartitioning (DRR) erhöht Verschränkung bei gleicher Übertragungsrate
 - Seamless Rate Adaption
 - ▶ Senkt Datenrate
- VDSL2 kann statt ATM-Zellen (ADSL2+) auch Ethernet-Dateneinheiten senden
 - Senkt Aufwand bei Kabelverzweigern
 - ▶ Kein ATM-IP-Gateway nötig
 - ▶ Preiswerte Glasfaser-Gigabit-Ethernet Anbindung
 - ▶ Dienste-Priorisierung (QoS) mittels V-LAN-Tagging

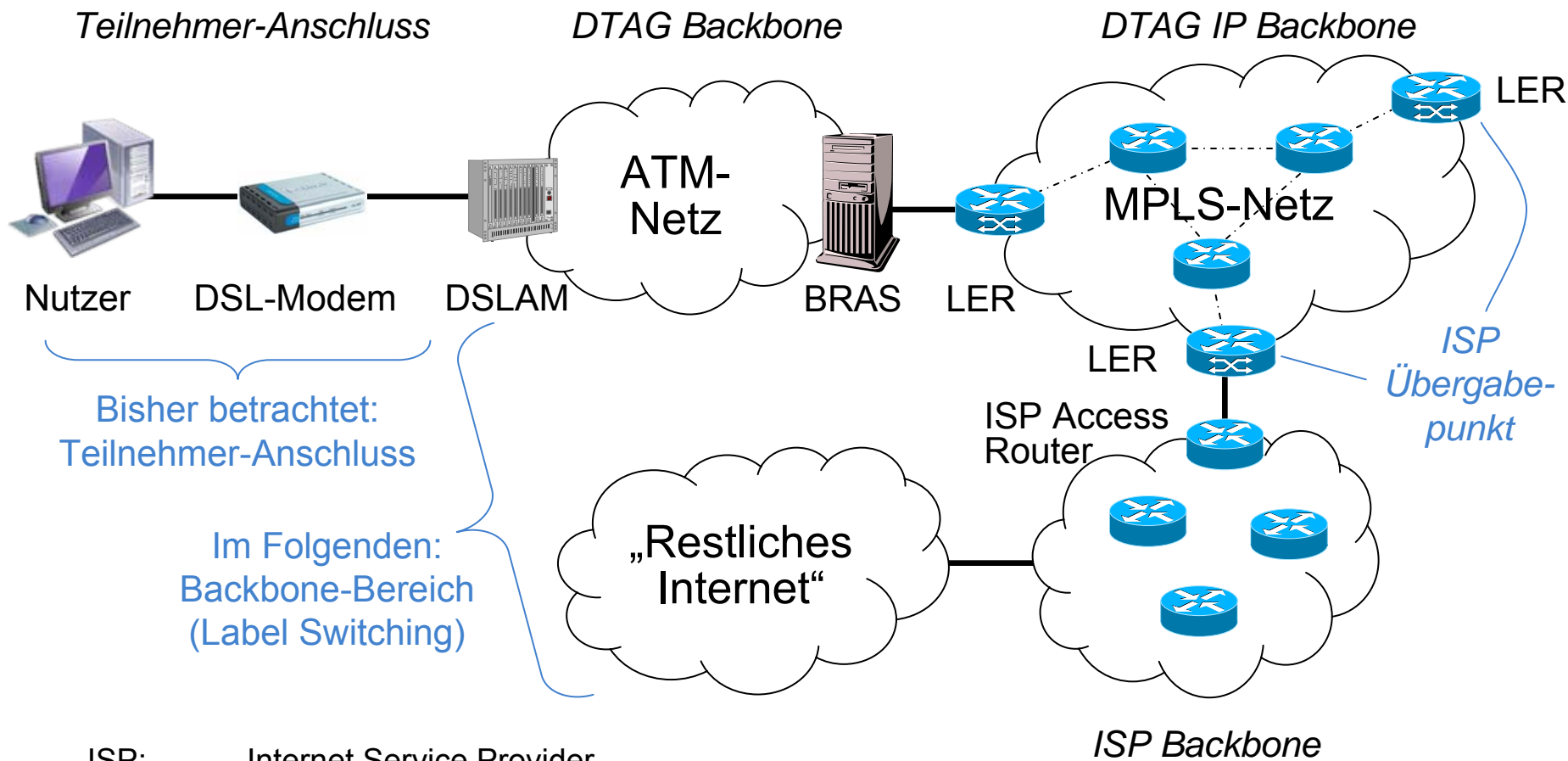


[s. Kapitel 6]

- VDSL2

- In Deutschland entsteht seit Anfang 2006 eines der größten VDSL2-Netze weltweit
 - ▶ 3 Mrd € Investition durch Deutsche Telekom AG
 - ▶ Bis August 2009 Angebot in 50 deutschen Ballungszentren (u.a. Karlsruhe)
- Aufgrund des hohen Innovationsgrads und Investitionsvolumens wurde dieses Netz von der Marktregulierung ausgenommen (Feb. 2007)
 - ▶ Man spricht vom „Lex Telekom“
 - ▶ Die EU hat daraufhin ein Verfahren vor dem EuGH wegen Verletzung des EU-Vertrags gegen Deutschland eingeleitet
 - ▶ Im April 2009 schlug der Generalanwalt den EU-Richtern vor, festzustellen, dass Deutschland gegen Europarecht verstoßen hat
 - ▶ 3.12.2009: EuGH kippt Lex Telekom
 - ▷ Gesetzgeber hat Ermessen der Bundesnetzagentur damit „in unzulässiger Weise eingeschränkt“
 - ▷ Gesetz stellt einen „Verstoß gegen verschiedene EU-Richtlinien“ dar
 - ▶ Mitbewerber (Arcor, Versatel) planen eigenes VDSL2-Netz
 - ▷ Vodafone baut VDSL-Netz in Heilbronn
 - ▶ VDSL-Bitzugang der Telekom mittlerweile zum Resale freigegeben
 - ▷ Bereits von vielen anderen vermarktet, z.B. 1&1 oder Arcor
 - ▷ Mitbewerber wollen aber zusätzlich Zugang zur Infrastruktur, z.B. zu Leerrohren oder DSLAMs
 - ▷ Erster Antrag der Telekom mit Bedingungen zum Zugang wurde gerichtlich abgelehnt

- DSL ermöglicht mit bis zu 8 Mbit/s im Down- und 1Mbit/s im Upstream signifikant höhere Datenraten als ISDN
 - In Deutschland wird im Privatkundenbereich vor allem Asymmetric DSL nach Annex B eingesetzt
 - ▶ Höhere Bandbreite im Downstream als im Upstream
 - ▶ Frequenzmultiplex und Discrete Multitone-Modulation
 - ▶ Nutzbare Datenrate ist abhängig von
 - ▶ Dämpfung
 - ▶ Entfernung
 - ▶ Störungen, z.B. Crosstalk
 - Weiterentwicklungen verbessern Kodierung und Signalverarbeitung, Kupferstrecke muss aber dennoch verkürzt werden
 - ▶ ADSL2+ erreicht bis 25 Mbit/s (Downstream) und 1 Mbit/s (Upstream)
 - ▶ VDSL2 erreicht theoretisch bis 200 Mbit/s sowohl Down- als auch im Upstream

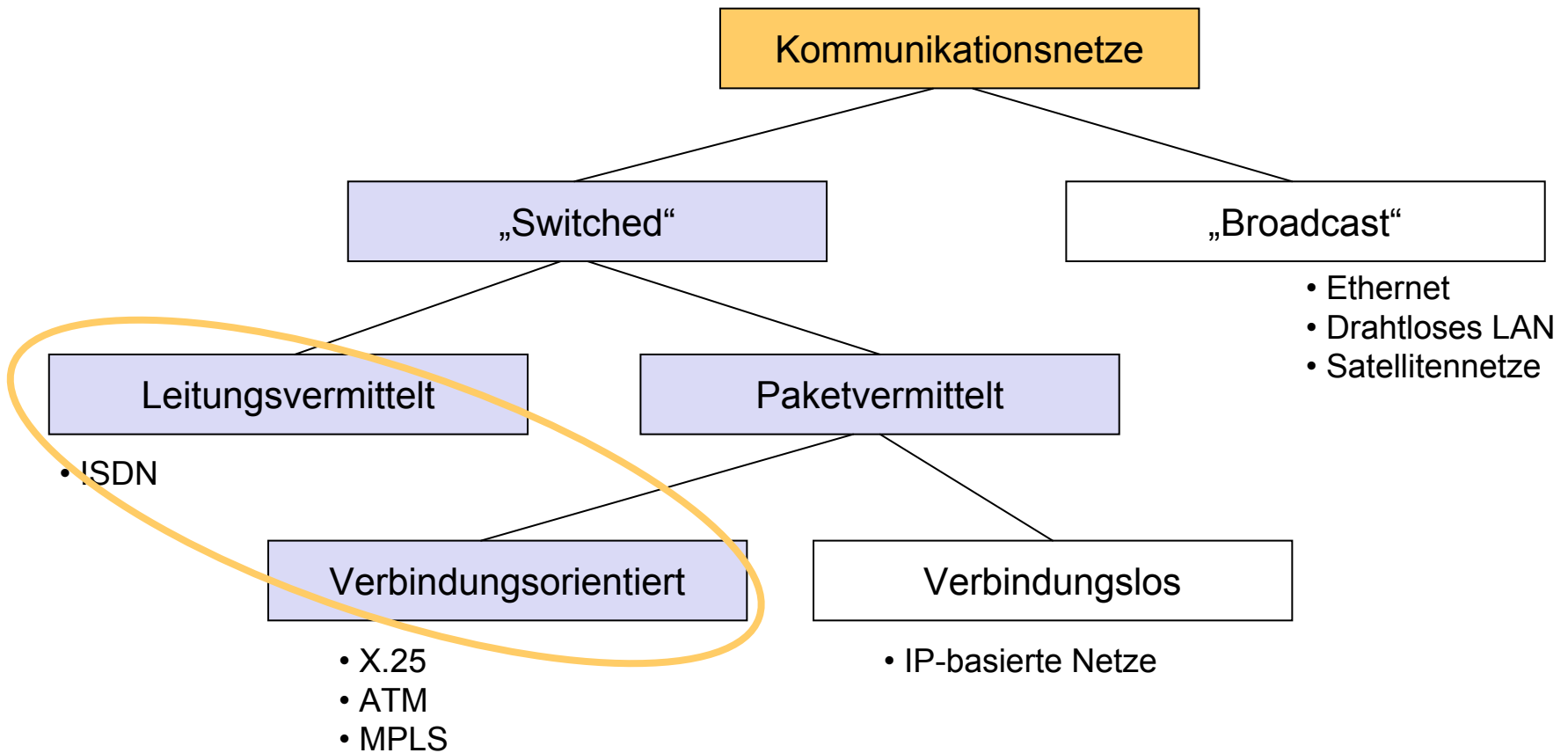


- Motivation
 - Daten müssen im Backbone-Bereich **möglichst schnell** vermittelt werden
 - ▶ Erfordert sehr leistungsfähige netzinterne Systeme
 - Differenzierte Behandlung von Datenströmen sollte möglich sein
- Bisher kennengelernte Ansätze
 - Internet-Routing
 - ▶ **Paketvermittelt**
 - ▶ Eher langsame Vermittlung wegen aufwändigem Routing-Lookup
 - ▶ Teure Hard- und Software zur Optimierung benötigt
 - ▶ Differenzierte Behandlung schwierig
 - ISDN
 - ▶ **Leitungsvermittelt**
 - ▶ Schnelle Vermittlung durch Nutzung dedizierter Leitungen
 - ▶ Signalisierung für Verbindungsaufbau notwendig
 - ▶ Bietet meist nur geringe Übertragungskapazitäten

- Grundlegender Ansatz von Label-Switching
 - Switching auf Schicht 2 statt Routing auf Schicht 3 für den Datenpfad
 - Verwendung lokal gültiger Kennungen (Labels) statt global gültiger Adressen
- Vorteile
 - Schnelle und effiziente Weiterleitung von Dateneinheiten innerhalb einer **Label Switching-Domäne**
 - ▶ Vermeiden der “teuren” Lookups in IP-Routingtabellen
 - Gleichzeitiger Betrieb mehrerer virtueller Verbindungen über eine physikalische Teilnehmeranschlussleitung
 - Differenzierte Behandlung von Verkehrsströmen ermöglicht
 - ▶ Lastverteilung
 - ▶ Dienstgüte
- Verschiedene Ansätze nutzen Label-Switching
 - **X.25** (am Netzzugang)
 - **ATM** (Asynchroner Transfer Modus)
 - **MPLS** (Multiprotocol Label Switching)



Zeitliche Entwicklung



- Klassisches Routing (Schicht 3)
 - Jede Dateneinheit wird einzeln bearbeitet
 - Auswertung/Bearbeitung der Felder im Kopf der Dateneinheit
 - Weiterleitung anhand Information in umfangreicher Routingtabelle
 - ▶ Präfix-basierter Lookup

→ *relativ langsamer Datenpfad*
- Klassisches Switching (Schicht 2)
 - Aufbau virtueller Verbindungen
 - Weiterleitung anhand kurzer Kennungen im Kopf der Dateneinheit
 - ▶ Kleinere Tabellen, einfacherer Lookup

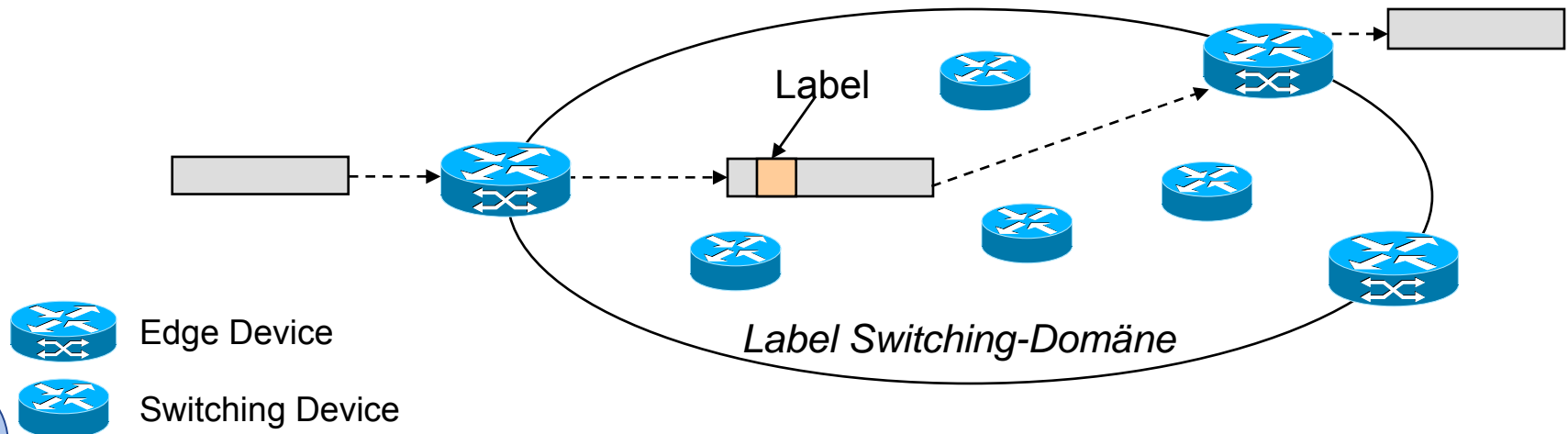
→ *sehr schneller Datenpfad*
- Label Switching
 - Kombination von Routing (Schicht 3) und Switching (Schicht 2)
 - ▶ Beschleunigte Vermittlung und Weiterleitung von Dateneinheiten
 - ▶ Differenzierte Behandlung von Datenströmen

- Label
 - Kurze Verbindungskennung fester Länge
 - ▶ Enthält keinerlei Schicht-3-Informationen
 - ▶ Nur lokal gültig
 - ▶ Umsetzen des Eingangslabel in ein neues Ausgangslabel im Switch
- Das Label muss in den Dateneinheiten mitgeführt werden
 - In speziell dafür vorgesehenen Feldern im Kopf der Dateneinheit
 - ▶ der Sicherungsschicht oder
 - ▶ der Vermittlungsschicht
 - In einem zusätzlich eingeführten Feld zwischen den Köpfen der Dateneinheiten der Vermittlungs- und der Sicherungsschicht
 - ▶ Auch als „small label header“ (shim label header) bezeichnet
 - ▶ „Schicht 2,5“



- Label Switching-Domäne

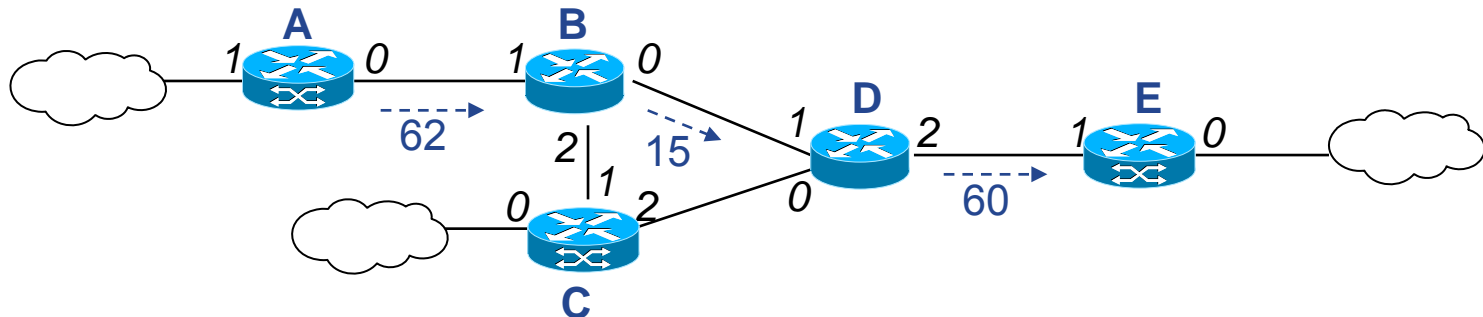
- Netzbereich, in dem Label Switching genutzt wird
- Spezielle Randsysteme (**Edge Devices**) müssen Labels einfügen bzw. entfernen
 - ▶ Labels gelten nur innerhalb einer Label Switching-Domäne
 - ▶ Ingress Router fügen Labels hinzu
 - ▶ Egress Router entfernen Labels wieder
- Zwischensysteme (**Switching Devices**) leiten Dateneinheiten nur auf Basis ihres Labels weiter



- Label Forwarding Information Base

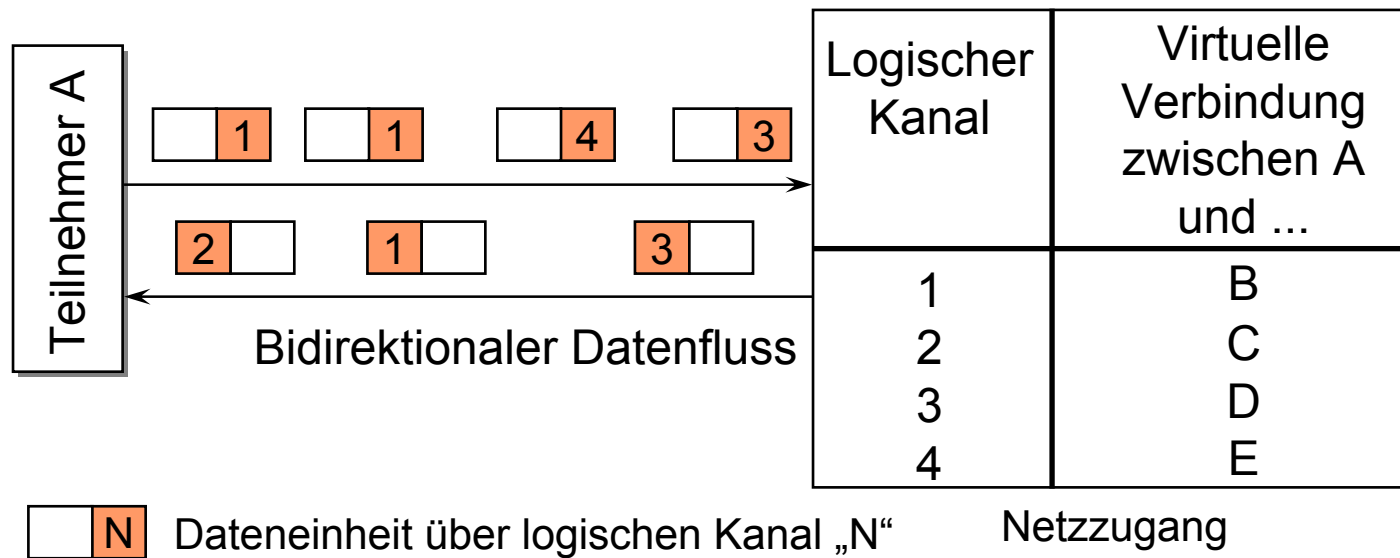
- Enthält die für die Weiterleitung erforderlichen Informationen
- Einfacher und effizienter Zugriff über Eingangslabel

Switch	Eingangs-label	Ausgangs-label	Nächster Hop	Ausgehendes Interface
A	-	62	B	0
B	62	15	D	0
C	-	15	D	2
D	15	60	E	2
E	60	-	-	0



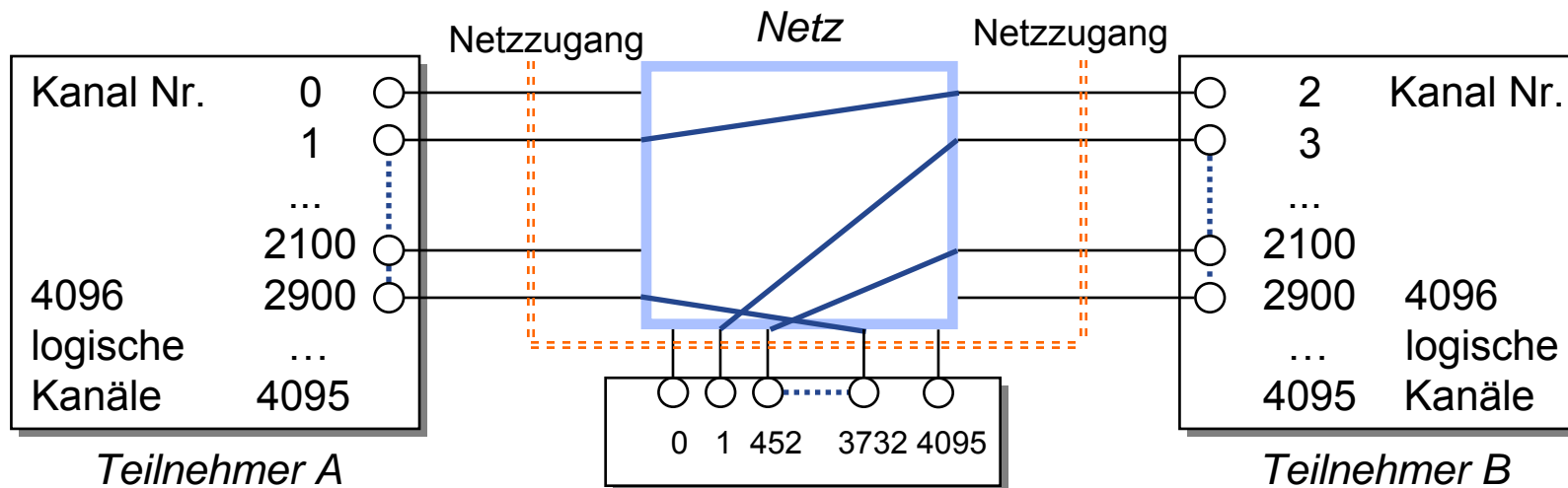
- Bezeichnung der Deutschen Telekom: X.25-Hauptanschluss
- Strukturierung gemäß dem ISO/OSI Referenzmodell
 - Physikalischer Anschluss (Bitübertragung): X.21
 - Übermittlung von Dateneinheiten: HDLC
 - Vermittlungsfunktion: X.25
- X.25 ist lediglich am Netzzugang gültig. Die Protokolle im Netz sind für die Teilnehmer transparent.

- Realisiert eine Schnittstelle für das Multiplexen von Dateneinheiten in Schicht 3
- Dateneinheiten werden bedarfsgesteuert über eine physikalische und eine HDLC-Verbindung übertragen. Hierbei können die Dateneinheiten beim statistischen Zeitmultiplex beliebig zeitlich verschachtelt sein.
- Die Unterscheidung nach virtueller Verbindung muss in Schicht 3 durch die logische Kanalnummer erfolgen.



- Logische Kanalnummern
 - Identifizierung aller Dateneinheiten einer virtuellen X.25-Verbindung auf einem logischen Kanal (Netzzugangsverbindungen)
 - Angewendet auf beide Übertragungsrichtungen einer Teilstrecke
 - Logische Kanalnummern werden stets nur für jeweils eine Teilstrecke vergeben
 - Für den Teilnehmer wesentlich (und allein sichtbar) sind die auf den Teilnehmeranschlussleitungen verwendeten logischen Kanalnummern
 - Nutzung für das Multiplexen von Dateneinheiten
- In beiden Teilnehmeranschlussbereichen einer virtuellen Verbindung sind die logischen Kanalnummern voneinander völlig unabhängig

- Im Gegensatz zu Datagramm-Diensten ist es bei Vorliegen virtueller Verbindungen unnötig, die komplette Netzadresse in jeder Dateneinheit mitzuführen
- Es werden nur die aktuell vorhandenen virtuellen Verbindungen, die über eine Teilstrecke führen, relativ zueinander nummeriert
- Es gibt keinen tieferen Zusammenhang zwischen „absoluten“ Netzadressen und den logischen Kanalnummern
- Bei jedem neuen Aufbau einer gewählten temporären virtuellen Verbindung — auch zum gleichen Teilnehmer — wird eine neue logische Kanalnummer in Abhängigkeit vom aktuellen Belegungszustand der logischen Kanalnummer vergeben



Eigenschaften von X.25

- Multiplexen unterschiedlicher Verbindungen in Schicht 3
- Flusskontrolle sowie Fehlererkennung und -behebung
 - Sowohl in Schicht 2 als auch in Schicht 3
- In-band-Signalisierung
 - Kontrolldateneinheiten werden über die gleiche virtuelle Verbindung transportiert wie Nutzdatenheiten
- Problem
 - Hoher Overhead
 - ▶ Fehlerkontrolle bei heutigen relativ geringen Fehlerwahrscheinlichkeiten auf den Übertragungsabschnitten im Festnetz eigentlich nicht erforderlich
 - ▶ Führt zu ineffizienter Nutzung des Mediums
 - Für das Senden einer Dateneinheit auf Schicht 3 Dateneinheit und Quittung pro Übertragungsabschnitt in Schicht 2 erforderlich
 - Zustandshaltung in den netzinternen Knoten erforderlich

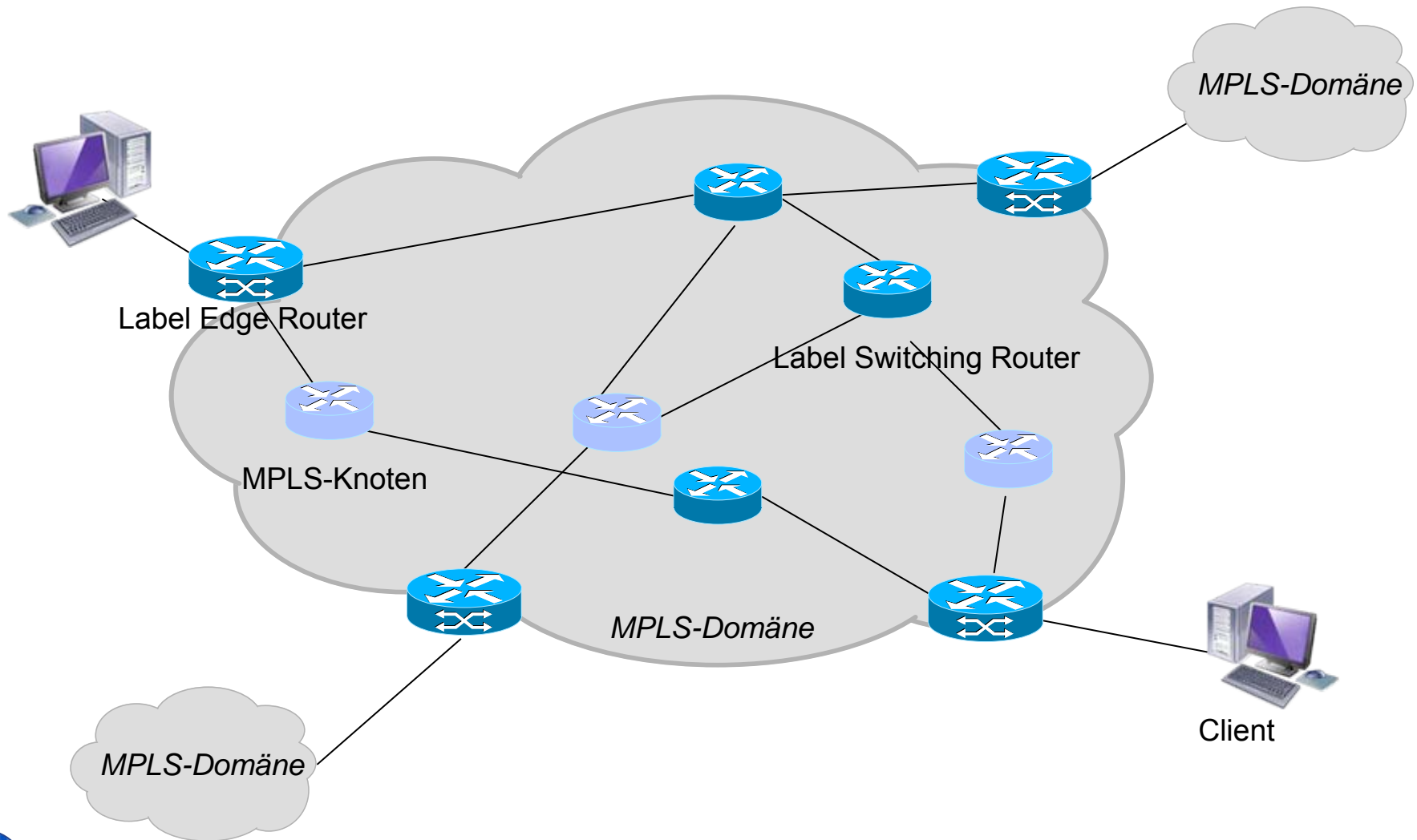
- Multiprotocol Label Switching (MPLS)
 - Basiert auf Tag-Switching, was wiederum durch IP-Switching inspiriert war
- Ziel
 - **Standardisierung** einer Basistechnologie, die Label Switching in Routing der Vermittlungsschicht integriert
 - ▶ Berücksichtigung unterschiedlicher Protokolle der Vermittlungsschicht
 - ▶ Aber letztendlich nur im Hinblick auf IP entwickelt
 - ▶ Unabhängigkeit von der Sicherungsschicht
 - ▶ Unabhängigkeit vom Hersteller
 - Einführung von **Dienstgüte** (QoS, Quality of Service)
- Verschiedene Protokolle zur Verteilung von Zuordnungen
 - Label Distribution Protocol (LDP)
 - Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE)
- RFC 3031 beschreibt MPLS



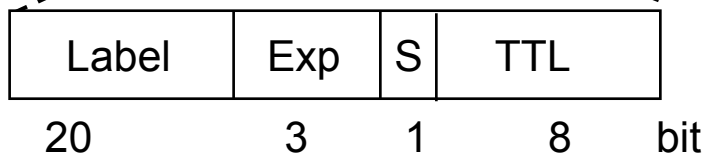
[RoVC01]



- Label Switching Router (LSR)
 - Im Kern einer MPLS-Domäne
 - IP-Router mit MPLS-Fähigkeiten
 - ▶ Kann IP-Dateneinheiten auf der Basis von IP-Präfixen weiterleiten
- MPLS-Knoten
 - Label Switching Router, der aber keine IP-Dateneinheiten auf der Basis von Präfixen weiterleiten kann
 - Arbeitet nur auf Labels
- Label Edge Router (LER)
 - Router am Ein-/Ausgang einer MPLS-Domäne
 - ▶ Label Ingress Router bzw. Label Egress Router
 - Klassifiziert Dateneinheiten beim Eintreten in die MPLS-Domäne
- Label Distribution Protocol
 - Austausch von Labels / Label-Zuordnungen
- Label Information Base
 - Tabelle für Label-basierte Weiterleitung



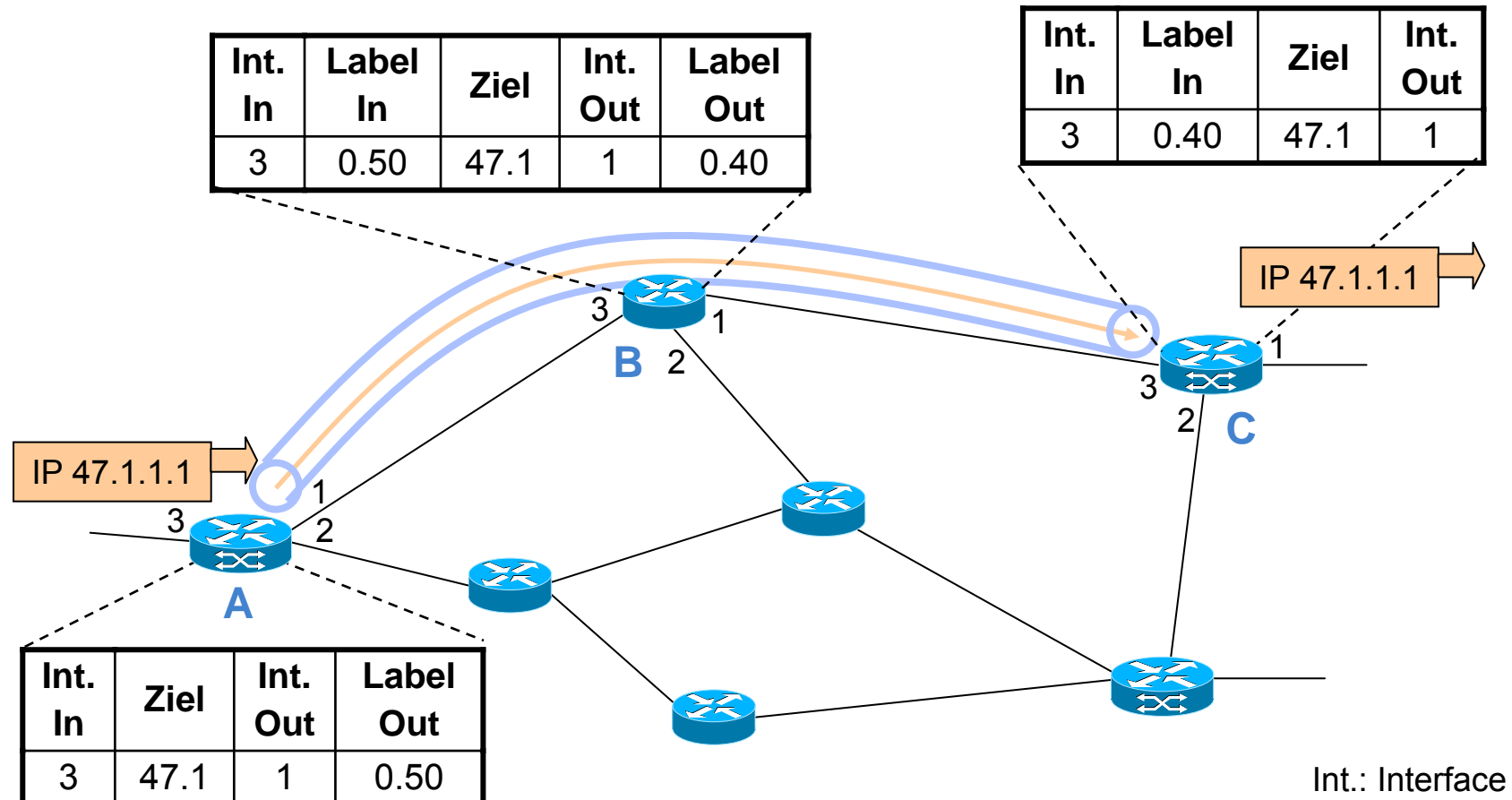
- Einkapselung von Labels
 - Shim header zwischen Schicht 2 und Schicht 3 Köpfen



Exp: Experimentell, z.B für Dienstgüte
S: Stack Indikator

- Definition

- Sequenz von Labels auf einem Pfad zwischen zwei Systemen
- Anmerkung: Labels haben jeweils nur lokale Gültigkeit



- Label-Switching hat lange Entwicklungsgeschichte
 - X.25 („Grundkonzept“ allerdings nur am Netzzugang)
 - ...
 - MPLS (Erweiterung auf bel. Protokolle mit IP-Adressierung)
- Vorteile von Label-Switching
 - Schnelle Vermittlung von Dateneinheiten mit $O(1)$ Komplexität
 - Differenzierte Behandlung von Datenströmen möglich
 - ▶ Lastverteilung, Dienstgüte, etc.
- ... aber: Wie werden Labels im Netz verteilt?
→ Geeignete Signalisierung benötigt
- ... und Label-Switching erlaubt mehr
 - Traffic-Engineering
 - Bestimmte TTL-Modelle können die Topologie des MPLS-Netzes verbergen
 - VPNs können über MPLS realisiert werden



Bücher

[Hals05] F. Halsall; **Computer Networking and the Internet**; Addison Wesley, 5. Auflage, 2005

Vertiefende Literatur

[Bund08] Bundesnetzagentur; **Jahresbericht 2008**; 2008

[Bund09] Bundesnetzagentur; **Tätigkeitsbericht 2008/09 für den Bereich Telekommunikation**; 2009

[CPBD05] David D. Clark, Craig Partridge, Robert T. Braden, Bruce Davie et al.; **Making the World (of Communications) a Different Place**; ACM Sigcomm Computer Communication Review, Vol. 35, Issue 2, pp. 91-96, July 2005

[DeTe07] Deutsche Telekom AG; **VDSL-Ausbau in Deutschland**; 2007, <https://eki-pi.t-home.de/info-iptv/app/webroot/swf/vdsl.swf>

[DPKM09] M. D. Dikaiakos, George Pallis, Dimitrios Katsaros, Pankaj Mehra, Athena Vakali; **Cloud Computing: Distributed Internet Computing for IT and Scientific Research**; IEEE Internet Computing, Vol. 13, No. 5, Seite 10-13, Oktober 2009.

[Fost02] Ian Foster; What is the Grid? A Three Point Checklist; GRIDtoday, Vol.1, No. 6, Juli 2002.

[FYRL08] I. Foster and Z. Yong and I. Raicu and S. Lu; **Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared**; Proc. of the Grid Computing Environments Workshop, Austin, Texas, USA, November 2008.

- [Gens08] Frank Gens; **IT Cloud Services User Survey, pt.1: Crossing the Chasm**; IDC Survey, <http://blogs.idc.com/ie/?p=205>, September 2008.
- [Gott07] Derek Gottfried; **Self-service, Prorated Super Computing Fun!**; The New York Times Open Blog; <http://open.blogs.nytimes.com/2007/11/01/self-service-prorated-super-computing-fun/>, November 2007.
- [Herr08] Wolfgang Herrmann; **Cloud Computing – das Buzzword des Jahres?**; Computerwoche, April 2008.
- [ITU99] ITU; **G.992.1 – Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers**; 1999
- [ITU06] ITU; **G.993.2 – Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)**; Februar 2006
- [Koss06] Axel Kossel; **Breiterband: Schneller Internet-Zugang mit ADSL2+**; c't 2006, Heft 11
- [KTMF09] K. Keahey, M. Tsugawa, A. Matsunaga, J. Fortes; **Sky Computing**; IEEE Internet Computing, Vol. 13, No. 5, Seite 43-51, Oktober 2009.
- [Leib09] Barry Leiba; **Having One's Head in the Cloud**; IEEE Internet Computing, Vol. 13, No. 5, Seite 4-6, Oktober 2009.
- [RoVC01] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon; **Multiprotocol Label Switching Architecture**; RFC 3031, IETF, Januar, 2001
- [SkZi06] Holger Skurk, Dušan Živadinović; **In der Kürze... Wie VDSL2 funktioniert und wofür man es braucht**; c't 2006, Heft 13, Seite 236ff.
- [ZiEA06] Dusan Zivadinovic, Johannes Endres, Ernst Ahlers; **Hilfsbremsen und Schnellstarter: 14 WLAN-Router für ADSL2+**; c't 2006, Heft 11