

# Telematik

## 8. Weitere ausgewählte Beispiele



**Prof. Dr. Martina Zitterbart**  
Dipl.-Inform. Thomas Gamer  
Dipl.-Inform. Martin Röhrich  
[zit | gamer | roehricht]@tm.uka.de



## 8. Weitere ausgewählte Beispiele

### 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

1



## Historie

### • 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



2



## 8.1 Digital Subscriber Line (DSL)

### • DSL kann grob in 2 Kategorien eingeteilt werden

#### • ADSL (Asymmetric DSL)

[ITU99]

- ▶ 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)

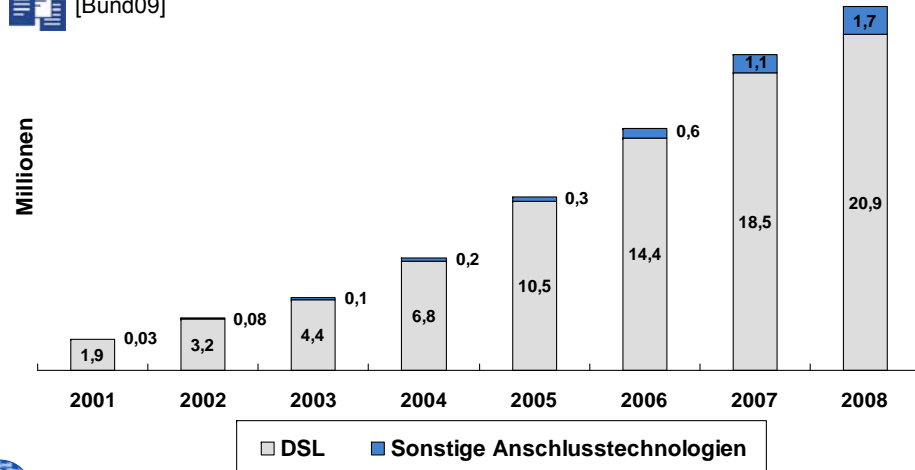
- ▶ Vor allem im Geschäftskundenbereich eingesetzt
  - ▶ Ausnahme: Q-DSL home von QSC
- ▶ Meist wesentlich teurer als ADSL
- ▶ Reiner Datenanschluss, d.h. keine gleichzeitige Telefonie möglich



3

- Bericht der Bundesnetzagentur (Stand: 17.06.2009)

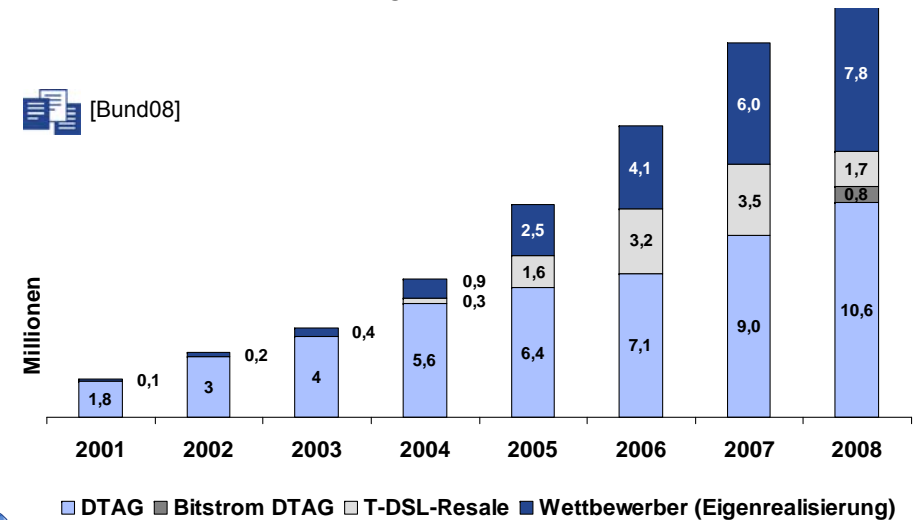
[Bund09]



4

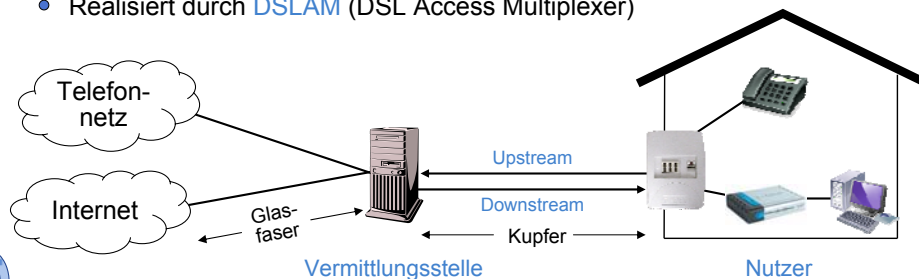
- Bericht der Bundesnetzagentur (Stand: 20.03.2009)

[Bund08]



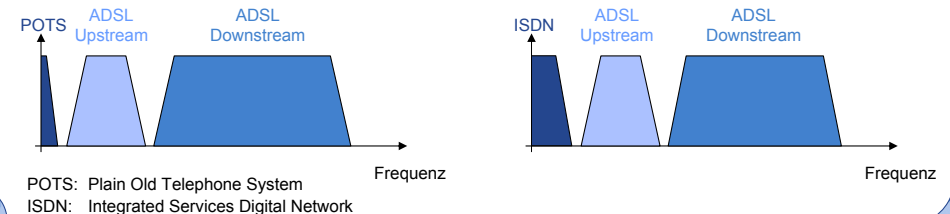
5

- 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)




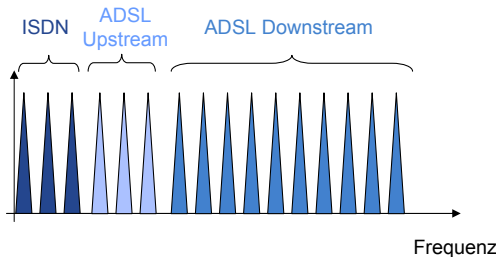
6

- 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



7

- Einsatz von Discrete Multitone (DMT) zur Modulation
  - Aufteilung des gesamten Frequenzbereichs in Menge von Trägern
    - Sehr ähnlich zu OFDM in drahtlosen Netzen 
    - Wenig störanfällig
      - 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



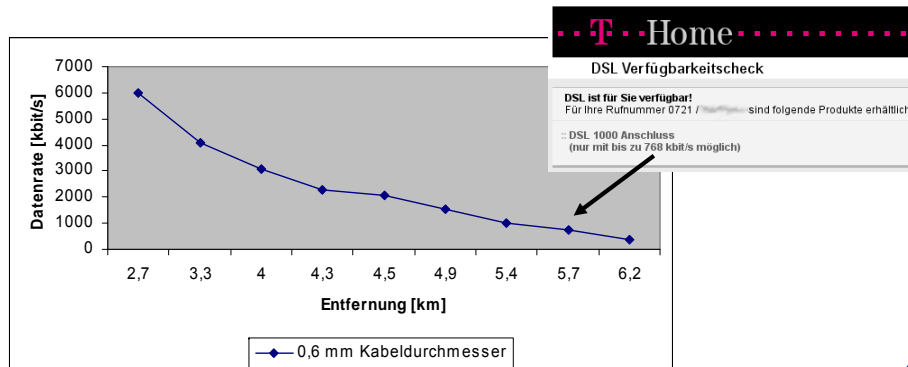
8

- 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

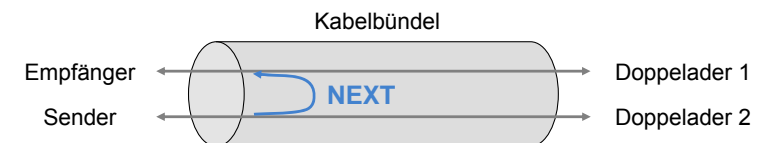
9

- 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



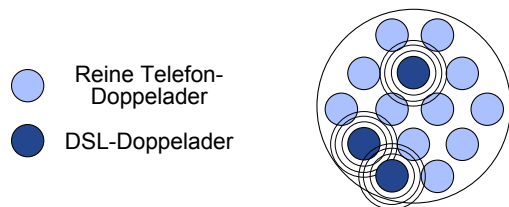
10

- 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



11

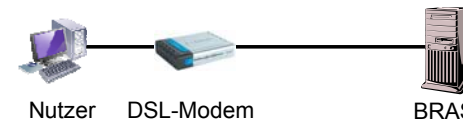
- **Störungen**, z.B. Übersprechen (Crosstalk)
  - ▶ FEXT (Far End Crosstalk)
    - ▶ Sender stören sich gegenseitig
    - ▶ Entsteht bei parallel laufenden Signalen über die gesamte Leitungslänge
    - ▶ Störpegel ist meist geringer als bei NEXT, da Signal über die gesamte Leitungslänge gedämpft wird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



12



- 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

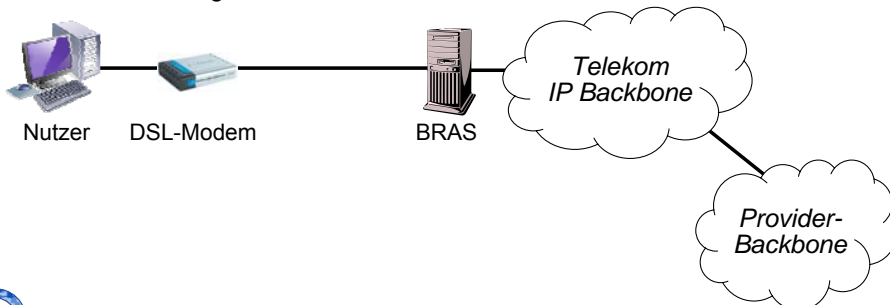


BRAS: Broadband Remote Access Server  
(auch DSL Access Concentrator genannt)

13



- 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



14



- 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

15



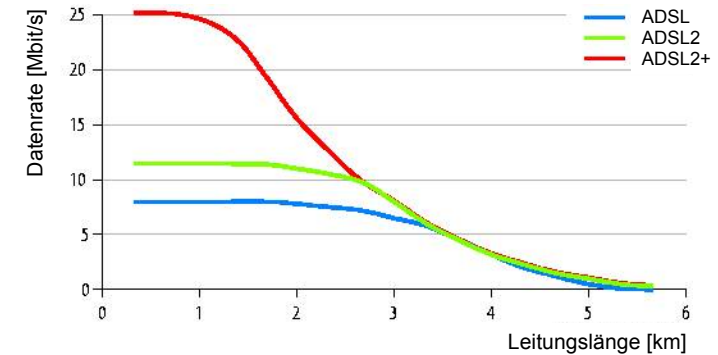


- ADSL2
  - Erhöhung der maximal erreichbaren Datenrate durch verbesserte Kodierung und Signalverarbeitung, z.B. effizientere Nutzung der Träger
  - Hat sich in Deutschland nicht durchgesetzt
- ADSL2+
  - Einführung im Jahr 2005
  - Nutzung eines größeren Frequenzbereichs (bis 2 MHz)
  - Verbesserte 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

16

- Vergleich der Varianten

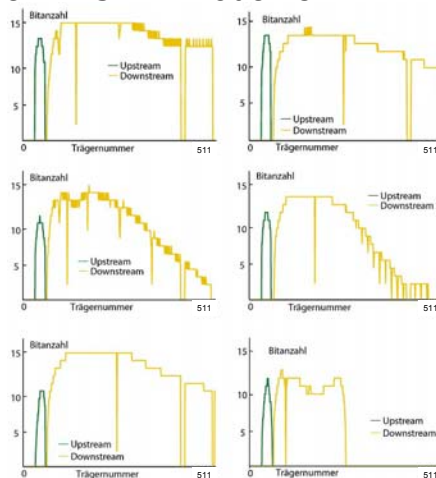
[Koss06]



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

17

- 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]

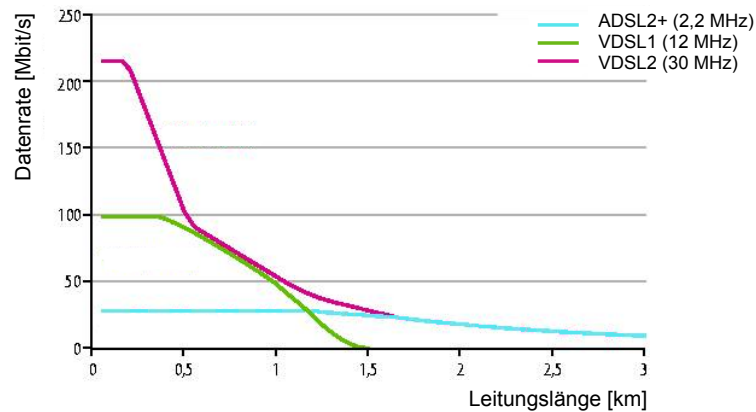
18

- 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

19

### Vergleich der Varianten

[SkZi06]

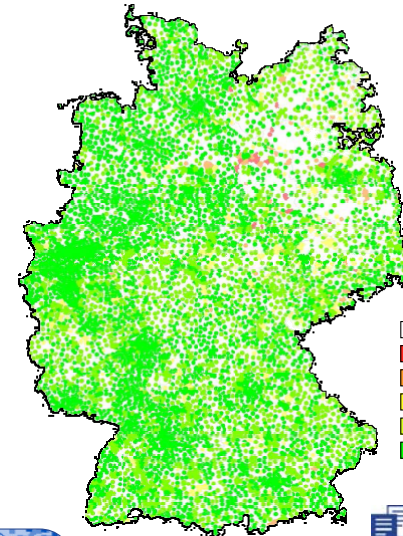


- Ab einer Länge von ~0,7 km sind VDSL2 und VDSL1 gleichwertig
- Ab einer Länge von ~1,7 km sind VDSL2 und ADSL2+ gleichwertig

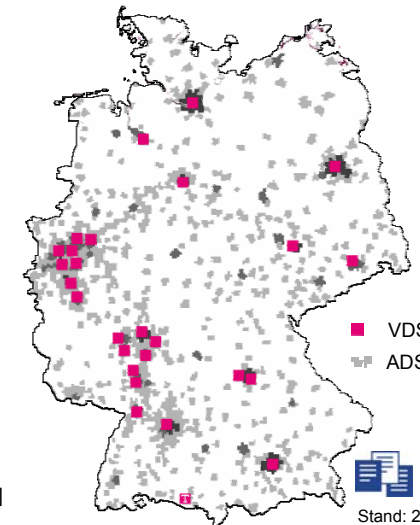
20

### DSL-Verfügbarkeit in Deutschland

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



unter 2%  
2 – 25%  
25 – 50%  
50 – 75%  
75 – 95%  
über 95%



[DeTe07]  
Stand: 2007

21

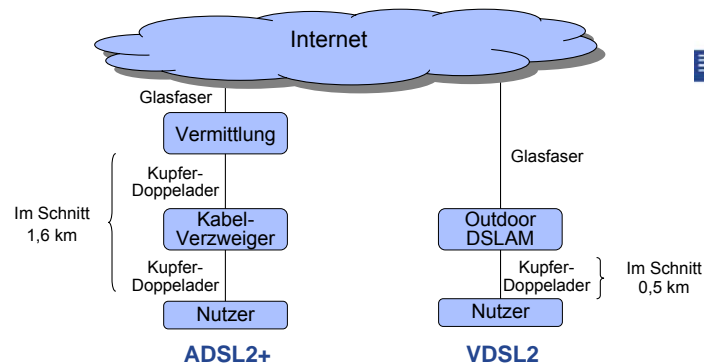
Stand: 01.01.2009

[Bund09]

### 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

[SkZi06]



22

### 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)

23

- 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)

24



- 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)

25



- 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]

26



- 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

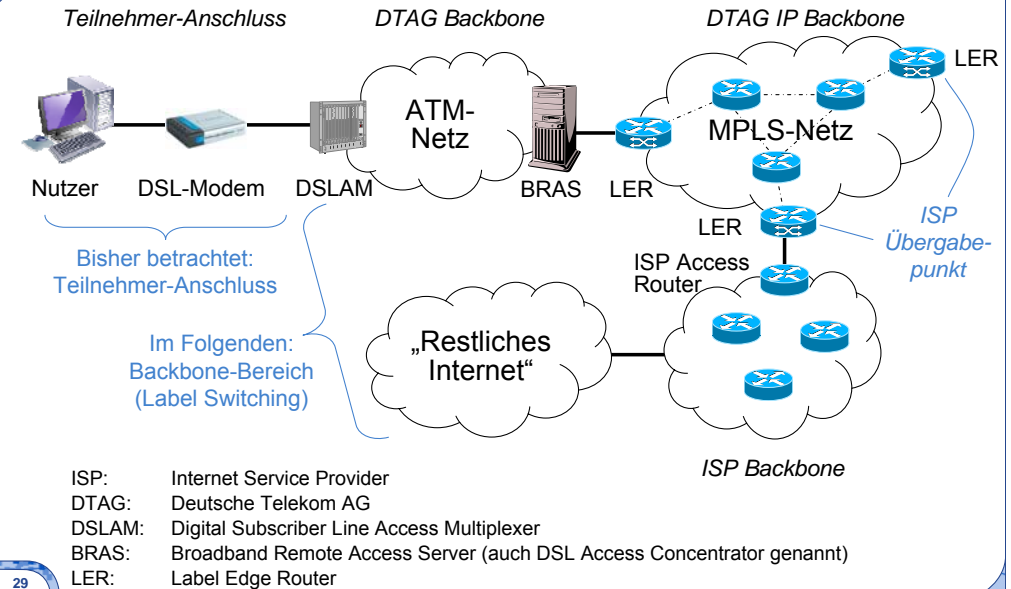
27





- 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

28



29

- 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

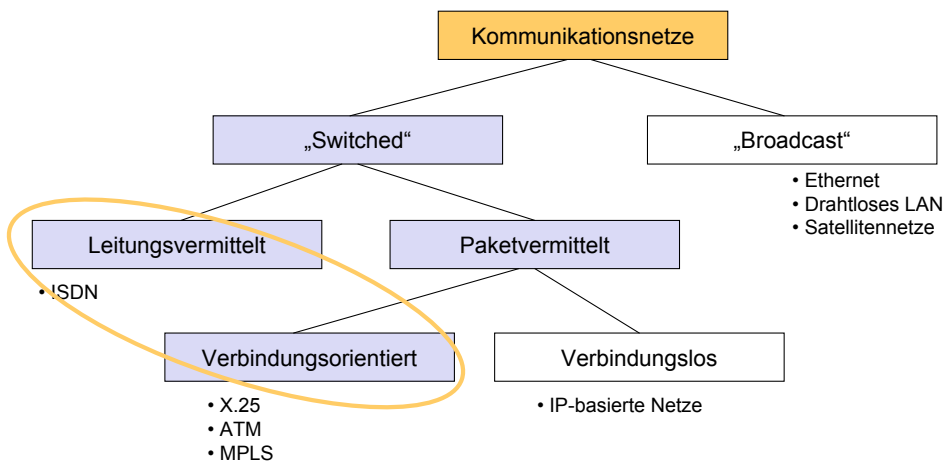
30

- 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

31





32



- **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

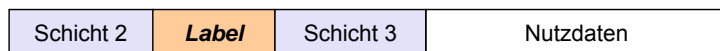
→ *relativ langsamer Datenpfad*
- **Klassisches Switching (Schicht 2)**
  - Aufbau virtueller Verbindungen
  - Weiterleitung anhand kurzer Kennungen im Kopf der Dateneinheit
    - ▶ Kleinere Tabellen, einfacherer Lookup

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

33



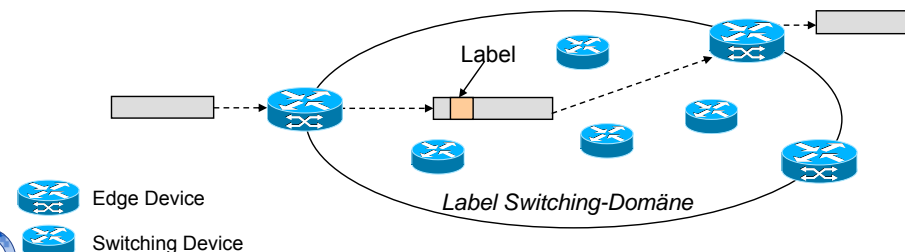
- **Label**
  - Kurze Verbindungskennung fester Länge
    - ▶ Enthält keinerlei Schicht-3-Informationen
    - ▶ Nur lokal gültig
      - ▶ Umsetzen des Eingangslabel in ein neues Ausgangslabel im Switch
- **Das Label muss in den Dateneinheiten mitgeführt werden**
  - In speziell dafür vorgesehenen Feldern 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“



34



- **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



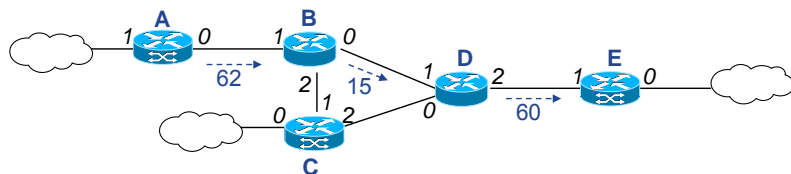
35



## Label Forwarding Information Base

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

Switch	Eingangsetikett	Ausgangsetikett	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

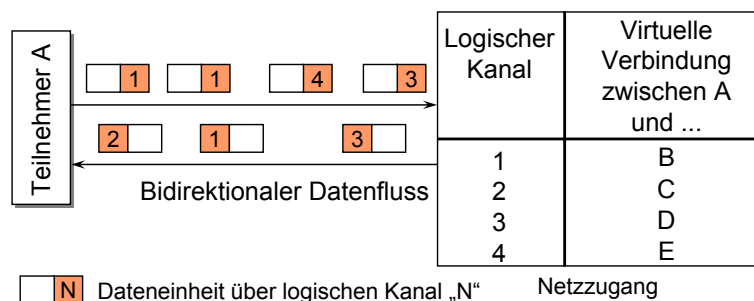


36

- 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.

37

- 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.

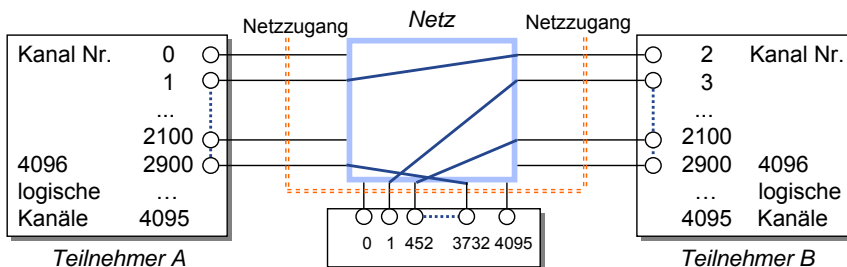


38

- 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

39

- 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



40



- 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

41



- 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]

42

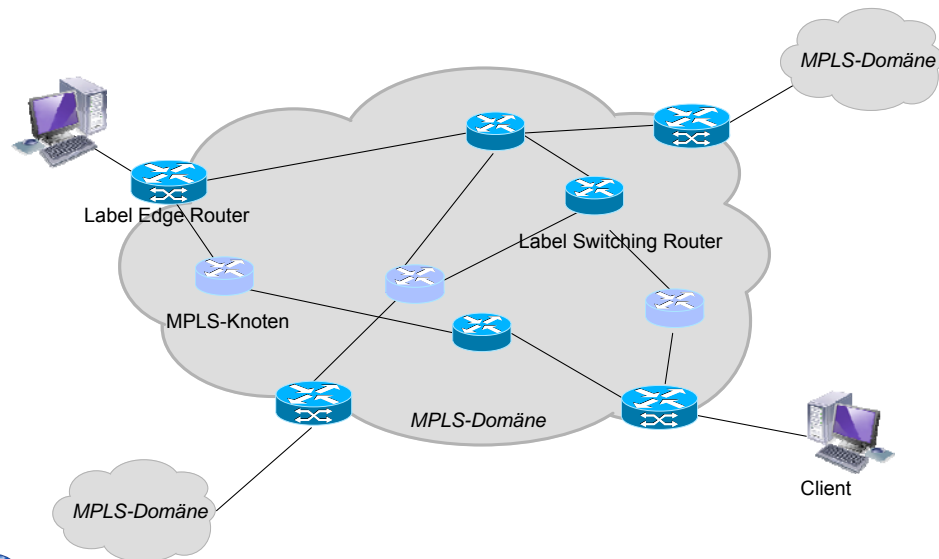


- Label Switching Router (LSR)
  - Im Kern einer MPLS-Domäne
  - IP-Router mit MPLS-Fähigkeiten
    - ▶ Kann IP-Dateneinheiten auf der Basis von IP-Präfixen weiterleiten
- MPLS-Knoten
  - Label Switching Router, der aber keine IP-Dateneinheiten auf der Basis von Präfixen weiterleiten kann
  - Arbeitet 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

43

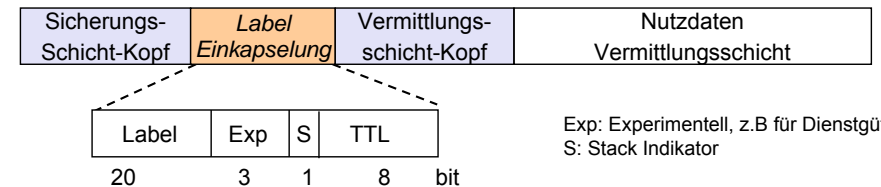






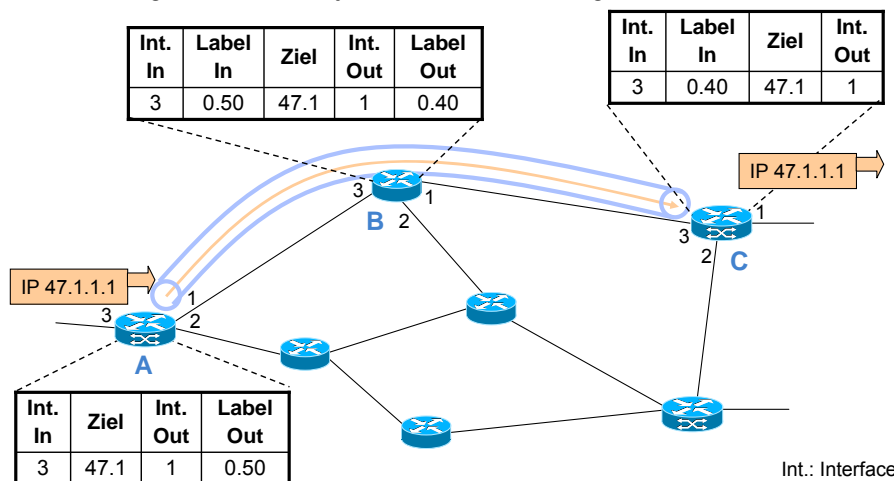
- Einkapselung von Labels


- Shim header zwischen Schicht 2 und Schicht 3 Köpfen



Exp: Experimentell, z.B für Dienstgüter  
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.

48

[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; **Hilfsbremser und Schnellstarter: 14 WLAN-Router für ADSL2+**; c't 2006, Heft 11

49