

# Betriebssysteme und Netzwerke

## Vorlesung N01

Artur Andrzejak

# Ende Betriebssysteme

---

## Start Netzwerke

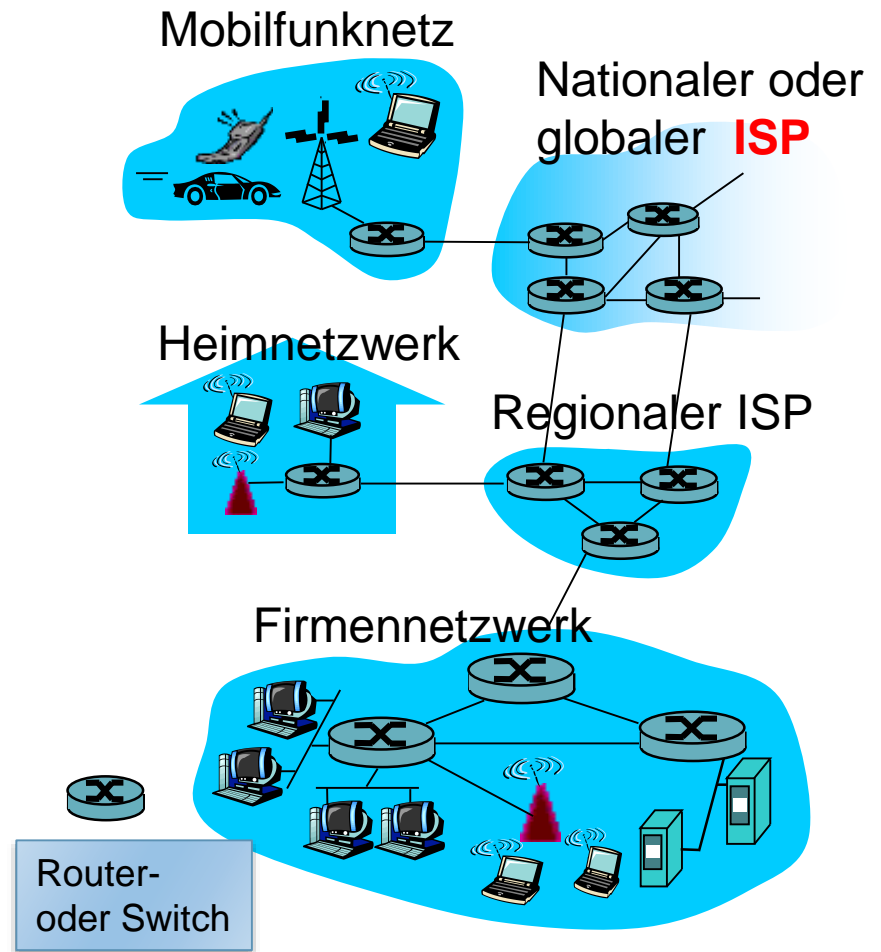
### Internet - Grundbegriffe

Folien zum großen Teil auf Basis der Materialien aus:

Computer Networking: A Top Down Approach, 5th ed.  
Jim Kurose, Keith Ross, Addison-Wesley, April 2009

# Internet – Drei „Reale“ Bestandteile

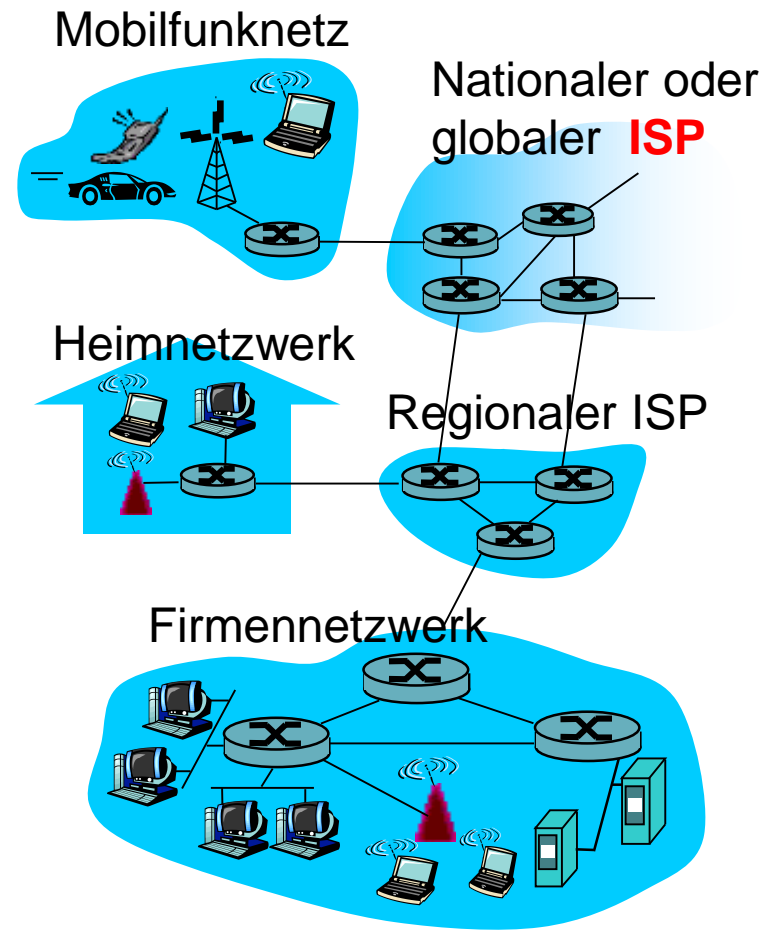
- ▶ 1. Millionen von **Hosts** (**Endsysteme**)
  - ▶ „Gastgeber“ für Netzwerkanwendungen („to host“ = bewirten)
- ▶ 2. **Kommunikationsleitungen**
  - ▶ Glasfaser, Kupfer, Radio, Satellit
- ▶ 3. **Router** oder **Switches**
  - ▶ Leiten die Daten weiter oder um



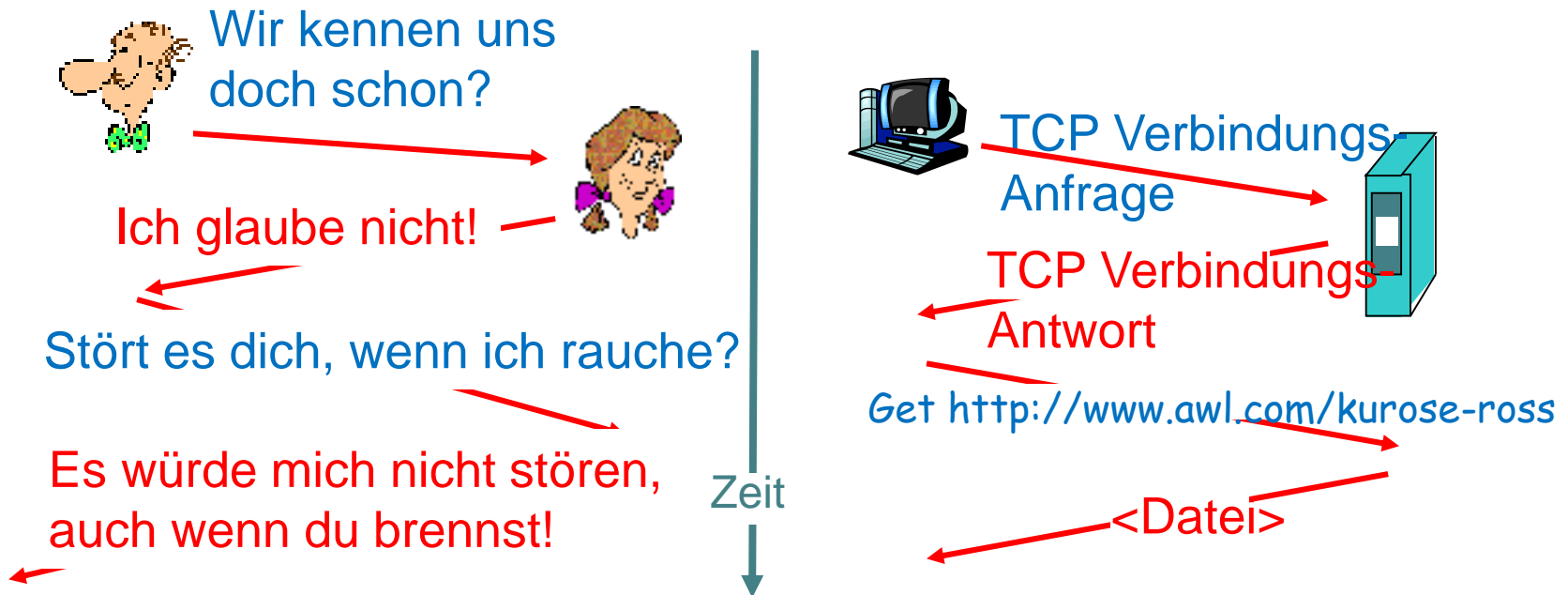
**ISP = Internetdiensteanbieter**  
(Internet Service Provider)

# Internet – Konzeptionelle Bestandteile

- ▶ **Protokolle** kontrollieren das Senden und Empfangen von Nachrichten
  - ▶ Z.B. **TCP**, **IP**, **HTTP**, **Ethernet**, Skype
- ▶ **Internet-Standards**
  - ▶ Format **RFC**: Request for comments
  - ▶ **IETF**: Internet Engineering Task Force
- ▶ “Netzwerk von Netzwerken” – das eigentliche **Internet**
  - ▶ besteht aus vielen **Autonomen Systemen** (AS, [Link](#)) mit ggf. verschiedenen Besitzern
  - ▶ hierarchisch aufgebaut



# Protokolle – Definition?



- ▶ **Protokoll eines Nachrichtenaustausches** definiert
  - ▶ das Format der Nachrichten
  - ▶ ihre Reihenfolge
  - ▶ sowie die Aktionen, die bei Übertragung und/oder Empfang einer Nachricht ausgeführt werden

# Internet – Anwendungen und Dienste

---

- ▶ Diese Kommunikations-Infrastruktur ermöglicht **verteilte Anwendungen**
  - ▶ WWW, VoIP, Email, Spiele, P2P-Filesharing
  - ▶ Wir beschäftigen uns zunächst damit
- ▶ Für diese Anwendungen werden **Kommunikationsdienste** bereitgestellt
  - ▶ Z.B. DNS = Domain Name System – was macht das?
- ▶ Zusätzlich bietet die Infrastruktur gewisse (Qualitäts-)Eigenschaften der Übertragung
  - ▶ **Verlässliche Datenzustellung** von Quelle zu dem Ziel
  - ▶ “**Best Effort**” **Dienstqualität** (**Quality of Service, QoS**) – minimalistische Dienstgüte-Zusicherung

# Internet - Geschichte

# Zusatzmaterialien zu diesem Teil

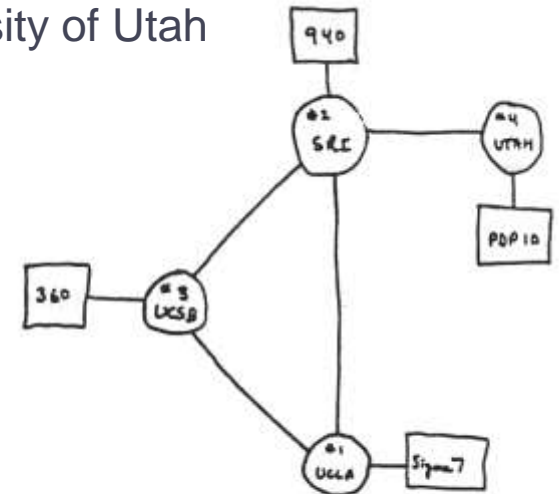
---

- ▶ Auf **Coursera** gibt es einen guten Kurs als Begleitung zu dem Netzwerk-Teil von IBN
  - ▶ **Internet History, Technology, and Security**
  - ▶ <https://www.coursera.org/learn/internet-history/home/info>
- ▶ Sehr empfehlenswert als Ergänzung zu IBN!
  - ▶ Aber keine Pflicht / kein Klausurstoff
- ▶ Einige Videos sind über YouTube zugreifbar
  - ▶ <https://www.youtube.com/playlist?list=PLIRFEj9H3Oj6-srSAGLb-ZGVNGlo3v14X>



# 1961-1972: Entwicklung der Paketvermittlung

- ▶ **1961:** Kleinrock (Doktorand MIT) - zeigt die Wirksamkeit der sog. **Paketvermittlung (PV)** mittels der Warteschlangentheorie
- ▶ **1964:** Baran - untersucht sichere Sprachkommunikation in militärischen Netzen (Rand Institute)
- ▶ **1967:** Entstehung von **ARPAnet** bei Advanced Research Projects Agency (**ARPA**) (Licklider/Lawrence, MIT)
  - ▶ 1969: Erster ARPAnet Knoten an UCLA, weitere folgten bald in Stanford, University of Cal. in Santa Barbara, University of Utah
- ▶ **1972:**
  - ▶ Erste öffentliche Vorführung von ARPAnet
  - ▶ NCP (Network Control Protocol)- erstes Host-zu-Host Protokoll
  - ▶ Erstes E-mail Programm
  - ▶ ARPAnet hat 15 Knoten – bereit für eine LAN-Party? ☺



# 1972-1980: Proprietäre Netzwerke und Internetworking

---

- ▶ Weitere eigenständige Netze neben ARPAnet
  - ▶ ALOHAnet, ein Mikrowellennetz, das Unis auf den hawaiianischen Inseln verband (1970)
  - ▶ Telenet, ein kommerzielles PV-Netz von BBN
  - ▶ Cyclades, ein französisches PV-Netz
  - ▶ IBM SNA, entwickelt parallel zum ARPAnet (1969-1974)
- ▶ 1974: Vinton Cerf und Robert Kahn entwarfen Architektur für den Zusammenschluss solcher Netzwerke - das **Internetworking** (Geld von DARPA)
- ▶ Später, 1984: EARN (European Academic and Research Network) – HD von Anfang an dabei
  - ▶ Kommunikation mit ca. 1300 anderen Nutzern
  - ▶ Erste Nutzung von Email an der Uni HD

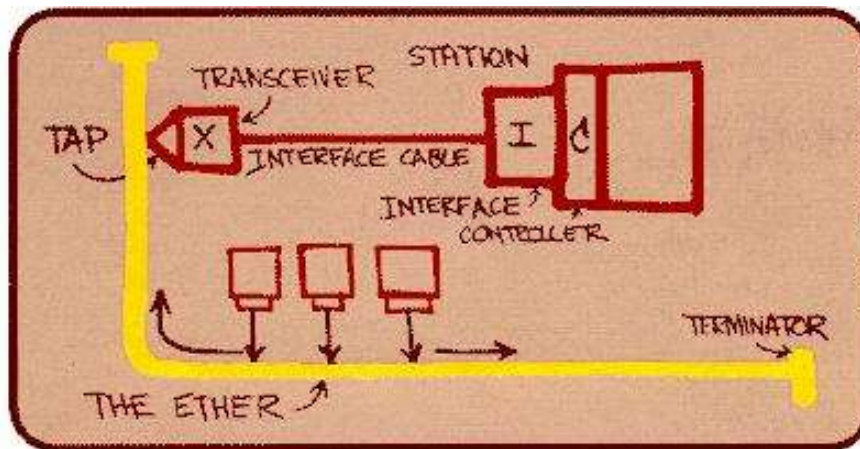
# Prinzipien des Internetworkings - noch gültig!

---

- ▶ **Minimalismus, Autonomie** - keine internen Änderungen nötig, um die Netze zusammenzuschließen
- ▶ **„Best effort“ Modell** - minimalistische Dienstgüte-Zusicherung
- ▶ **Zustandslose Router**
- ▶ **Dezentralisierte Kontrolle**

# 1972-1980: ... Internetworking

- ▶ Konzeptionelle / empirische Erkenntnisse führen zu den drei wichtigsten Protokollen - **TCP**, **UDP**, **IP**
- ▶ Metcalfe und Boggs kreieren **Ethernet**-Protokoll, das mehreren Geräten ermöglicht, gleiche Leitung zu nutzen
- ▶ Motiviert von der Notwendigkeit, mehrere PCs, Drucker und Laufwerke zusammenzuschließen
- ▶ Fundament der heutigen PC-LANs



Konzept des  
Ethernets –  
das Medium  
(**Ether**) ist ein  
Draht

# 1980-1990: Die Ausbreitung der Netzwerke

- ▶ Anzahl Hosts (Endpunkte) im ARPAnet 1979: ~200
  - ▶ Bis Ende der 1980er im Internet: etwa hunderttausend
- ▶ 1983: Protokoll **TCP/IP** ersetzt **NCP** (an einem Tag!)
- ▶ 1983: **DNS** eingeführt; übersetzt www.abc.xyz zu „echten“ IP-Adressen wie 123.99.88.101 [RFC 1034]
- ▶ 1985: **ftp** Protokoll entsteht
- ▶ 1985: IBM European Networking Center in HD eingerichtet; beschäftigt sich u.a. mit **OSI** und Netzwerkbetriebssystemen
- ▶ 1987: Anschluss des URZ HD ans Internet (über BelWü)
- ▶ 1988: TCP wird verbessert
- ▶ In Frankreich:
  - ▶ **Minitel** wird zu einem großen Erfolg (1982-2012)



# 1990er: Kommerzialisierung und das Web

---

- ▶ Kommerzialisierung: Forschungsnetze werden durch kommerzielle Provider ersetzt
  - ▶ Frühe 1990er: ARPAnet hört zu existieren auf
  - ▶ 1991: NSFnet (zur Verbindung von Superrechnern) darf auch kommerziell genutzt werden; wird 1995 stillgelegt
- ▶ Die Geburt des **World Wide Webs** (Web)
  - ▶ Erfunden 1989-1991 von Tim Berners-Lee am CERN
  - ▶ Vier Bestandteile: **HTML**, **HTTP**, **Webserver**, **Browser**
  - ▶ 1994: Marc Andreessen entwickelt **Mosaic** GUI-Browser
  - ▶ 1995: Studenten nutzen Mosaic / **Netscape** täglich
  - ▶ 1998: HD bekommt Deutschlands größtes Uni-Internetcafé
- ▶ Videos:
  - ▶ „Internet A – History/A07 - Assume the Web”
  - ▶ Auch wichtig: “Internet A – History/A01 - Robert Cailliau...”

# 2000er: Neuere Entwicklungen

---

- ▶ Allgemeine Fortschritte
  - ▶ Bei den Anwendungen, Internettelefonie, höhere Übertragungsraten in LANs, schneller Router
- ▶ Die Verbreitung schneller Zugangsnetze (auch mobiler Netze) ermöglichte neue Anwendungen
  - ▶ Videos, Internetfernsehen, P2P-Filesharing
- ▶ Soziale Netzwerke
- ▶ Probleme mit der Sicherheit
  - ▶ Denial of Service (DoS) Angriffe
  - ▶ Verbreitung von Würmern
- ▶ Video: „Videos: „Internet A – History/A09 - The Modern Internet

# Die Internet-“Pyramide“: Netzwerkrand und Zugangsnetze



# Die Internet-“Pyramide“

- ▶ **Netzwerkrand (network edge)**
  - ▶ Anwendungen und **Hosts**
    - ▶ **Host** = Gastgeber einer Anwendung
- ▶ **Zugangsnetze (access networks)**
  - ▶ Leitungen, die Hosts mit Randroutern verbinden
- ▶ Das **Innere des Netzwerks (network core)**
  - ▶ Geflecht von Switches und Leitungen
  - ▶ Netzwerk von Netzwerken

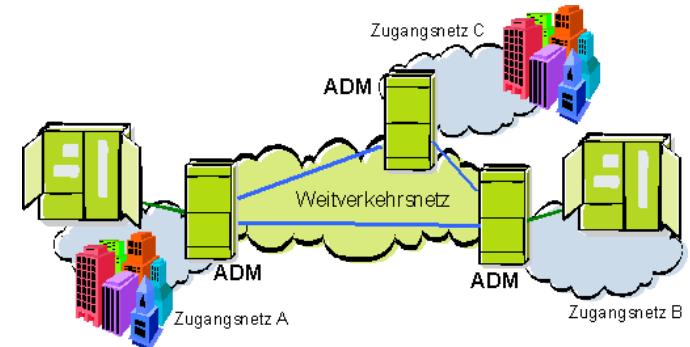
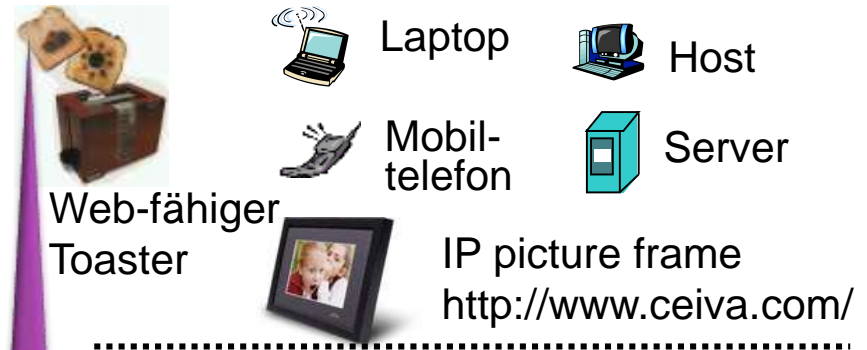
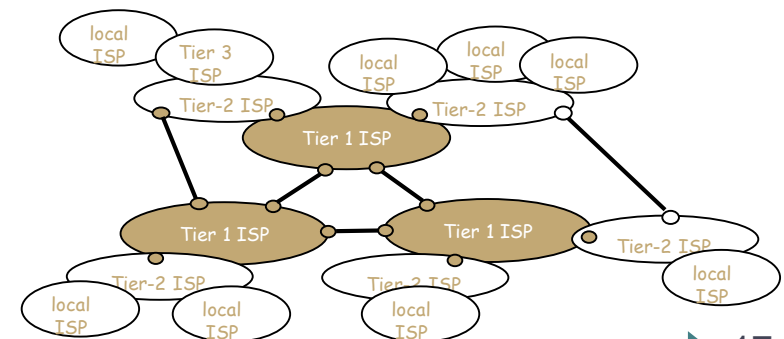


Bild: FMS Uni Stuttgart, [Link](#)

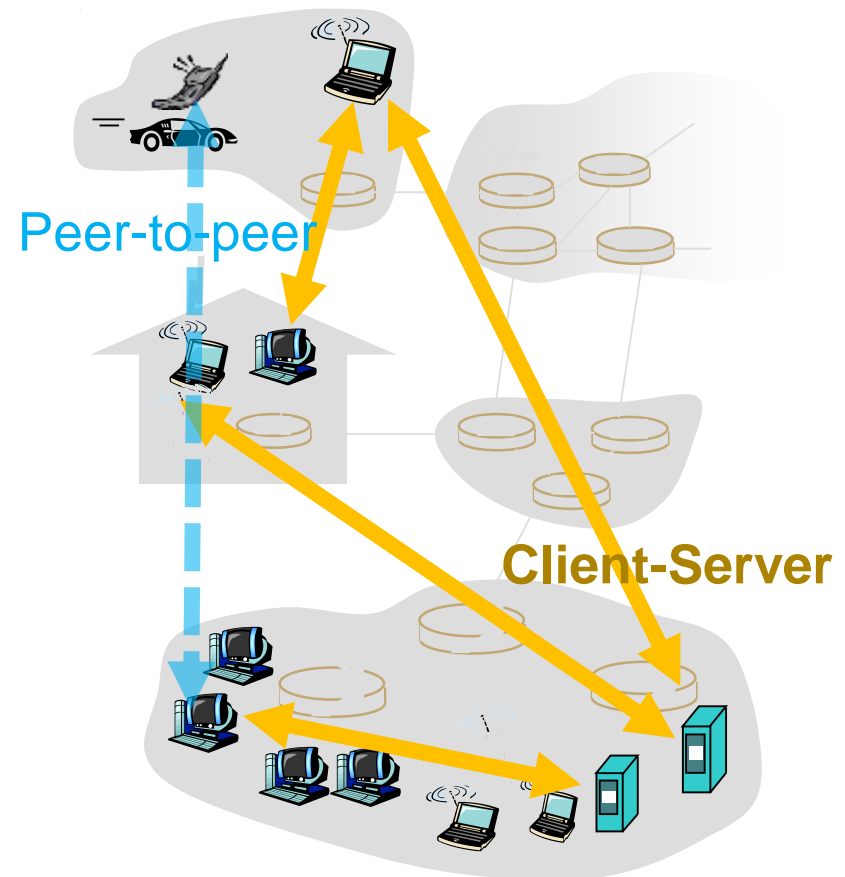


# Am Abgrund... Rand der Netzwerke

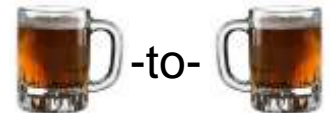
- ▶ **Endsysteme (Hosts)**
  - ▶ Anfangs nur Rechner, jetzt eine große Vielfalt: Handys, PDAs, Sensoren
  - ▶ Für uns nur „Behälter“ für **verteilte Anwendungen**

Architekturtypen von ver. Anw.

- ▶ **Client-Server:**
  - ▶ Client stellt Anfragen, Server beantwortet sie; Beispiel?
- ▶ **Peer-to-Peer (P2P)**
  - ▶ minimale Verwendung von dedizierten Servern
  - ▶ Beide Hosts haben gleiche / ähnliche Funktionalität

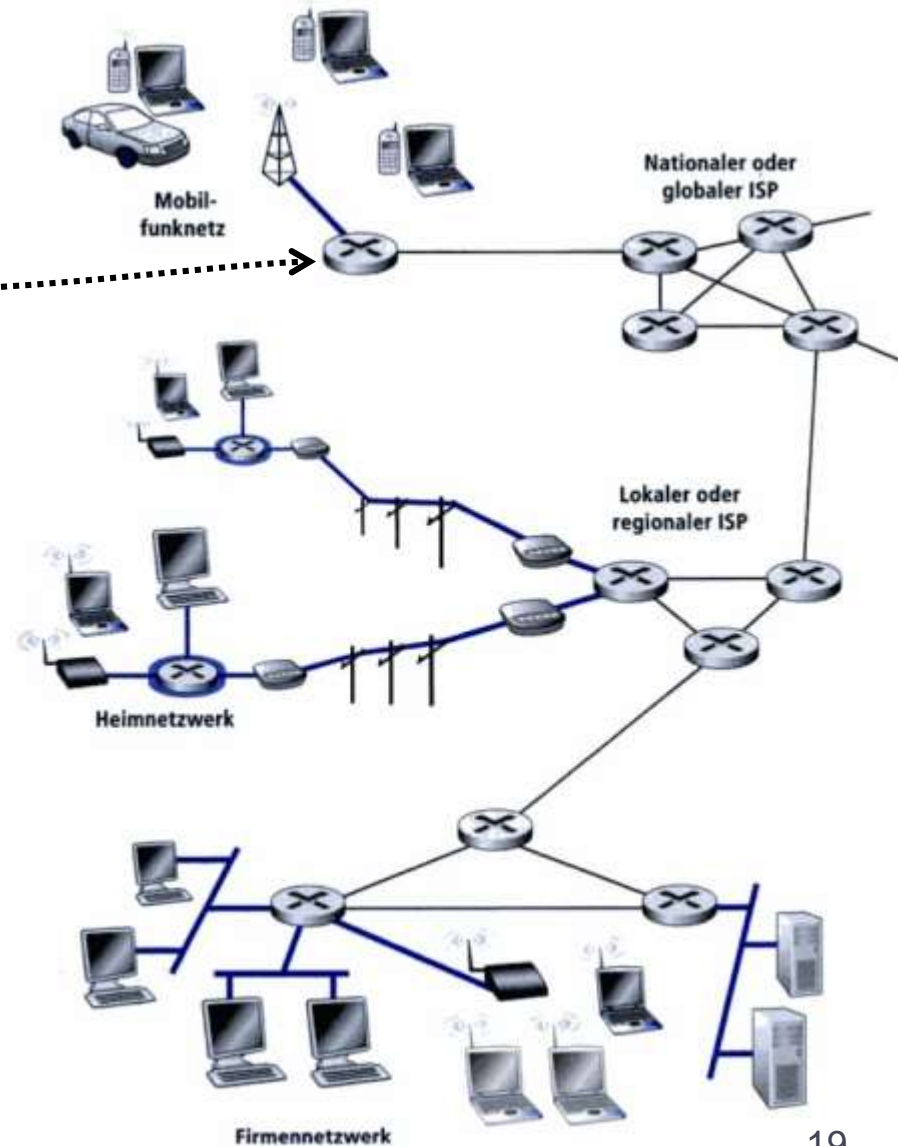


*Nicht zu verwechseln mit:*



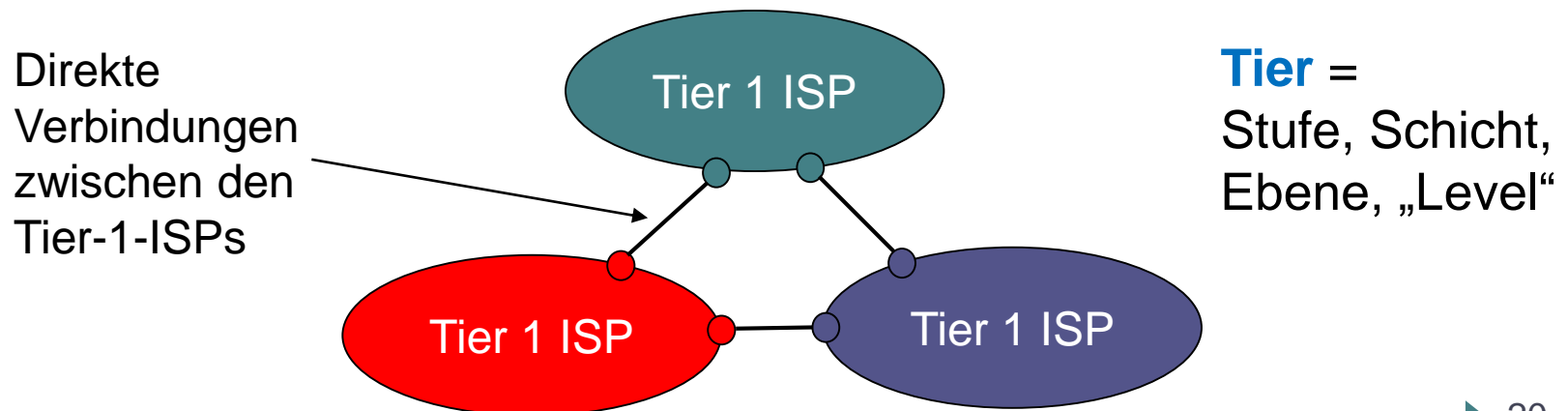
# Zugangsnetze

- ▶ Physikalische Leitungen und Komponenten, die Hosts mit **Randroutern** verbinden
- ▶ Drei Kategorien
  - ▶ **Heimzugänge**: Verbinden private Haushalte mit Intern.
  - ▶ **Firmenzugänge**: Analog für Firmen, Institutionen, Universitäten
  - ▶ **Drahtlose Zugänge**: Verbinden mobile Endsysteme mit Internet



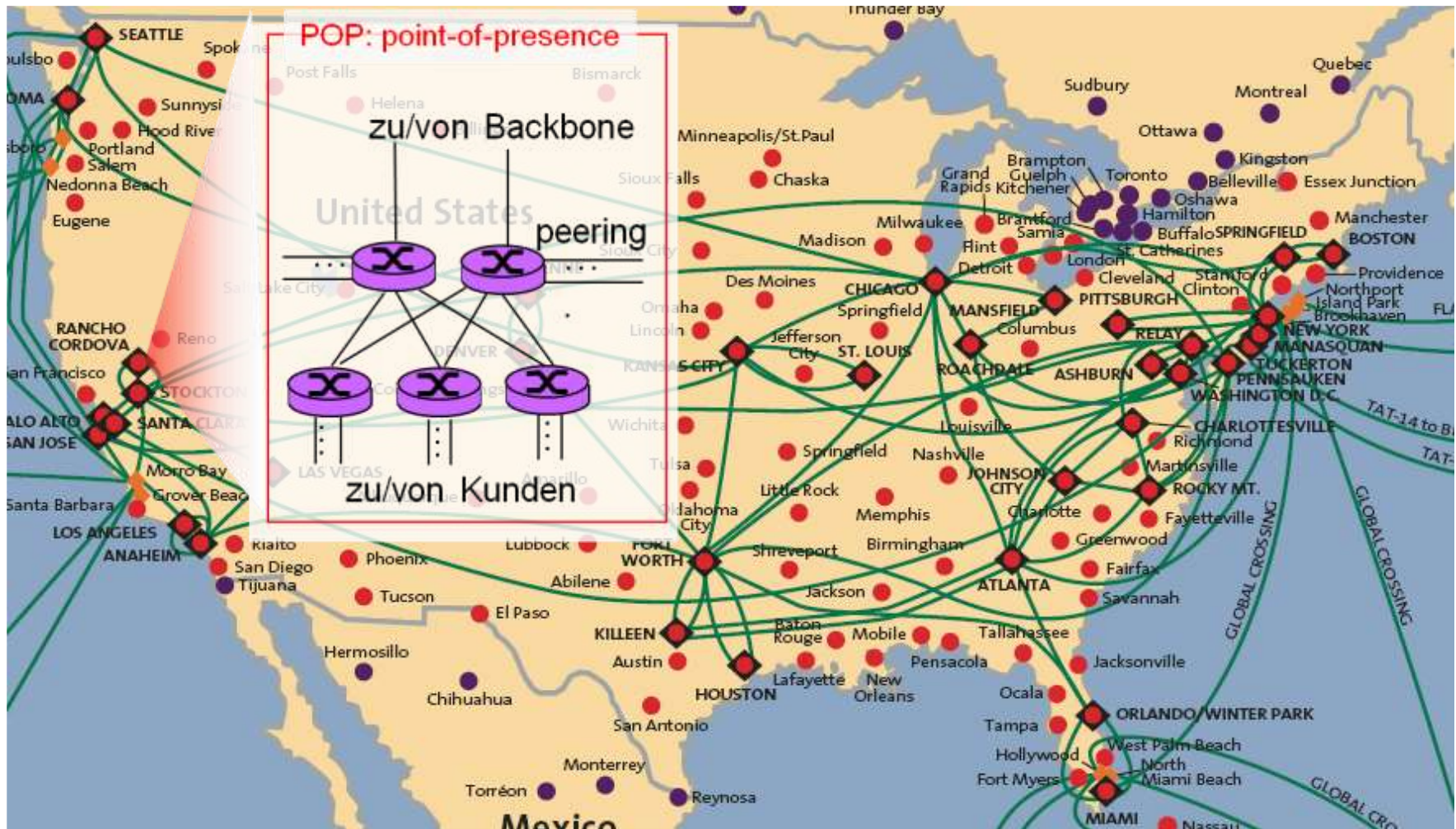
# Hierarchie der Internetdiensteanbieter (ISPs)

- ▶ Die ISPs bilden eine Hierarchie
- ▶ Die Spitze sind **Tier-1-ISPs** (Stufe-1-ISPs) bzw. **Internet-Backbones**
  - ▶ Übertragungsgeschwindigkeiten bis Hunderte Gbit/s
  - ▶ Jeder ist mit jedem anderen direkt verbunden
  - ▶ Sie arbeiten international
- ▶ Die genaue Definition ist umstritten, siehe z.B. [hier](#)
- ▶ Beispiele: **Verizon**, **Sprint Nextel**, **AOL**, **AT&T**
  - ▶ Aber nicht Deutsche Telekom, France / British Telecom ([Link](#))





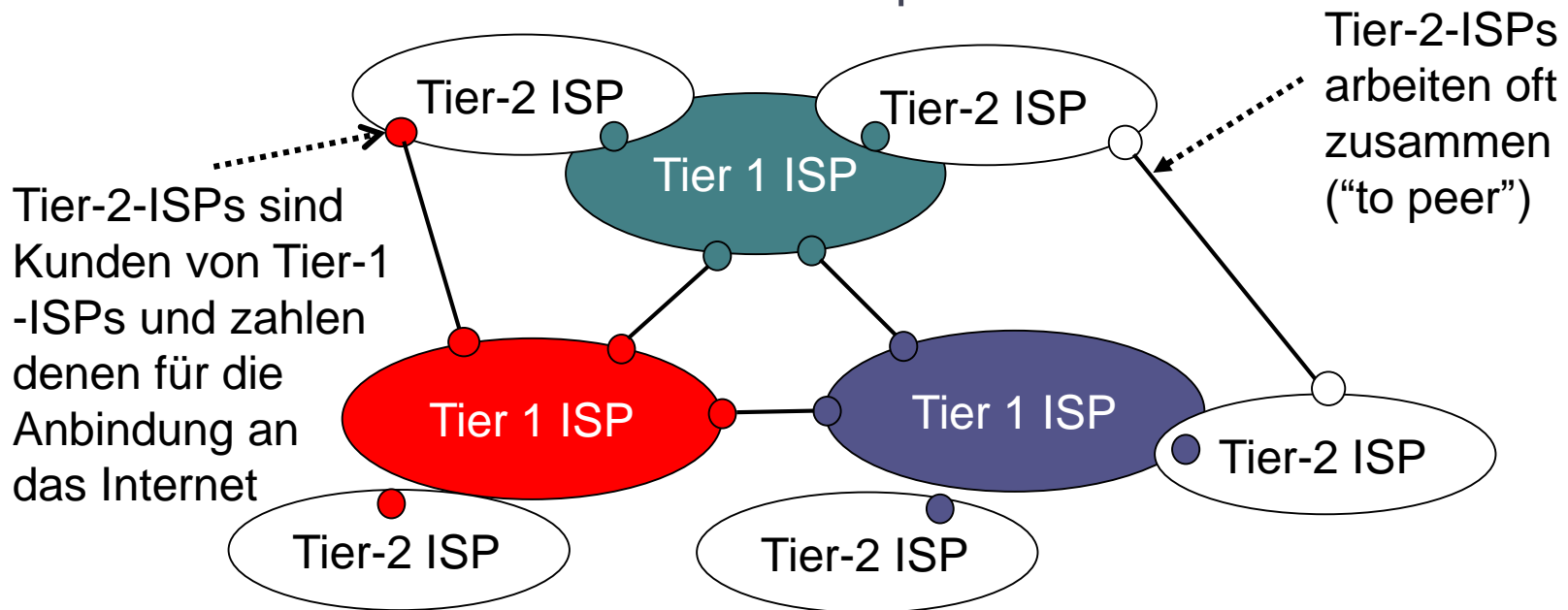
# Beispiel: Sprint Nextel Netzwerk (2007)



- Point of Presence: Physischer Knotenpunkt des Netzwerks

# Tier-2-ISP

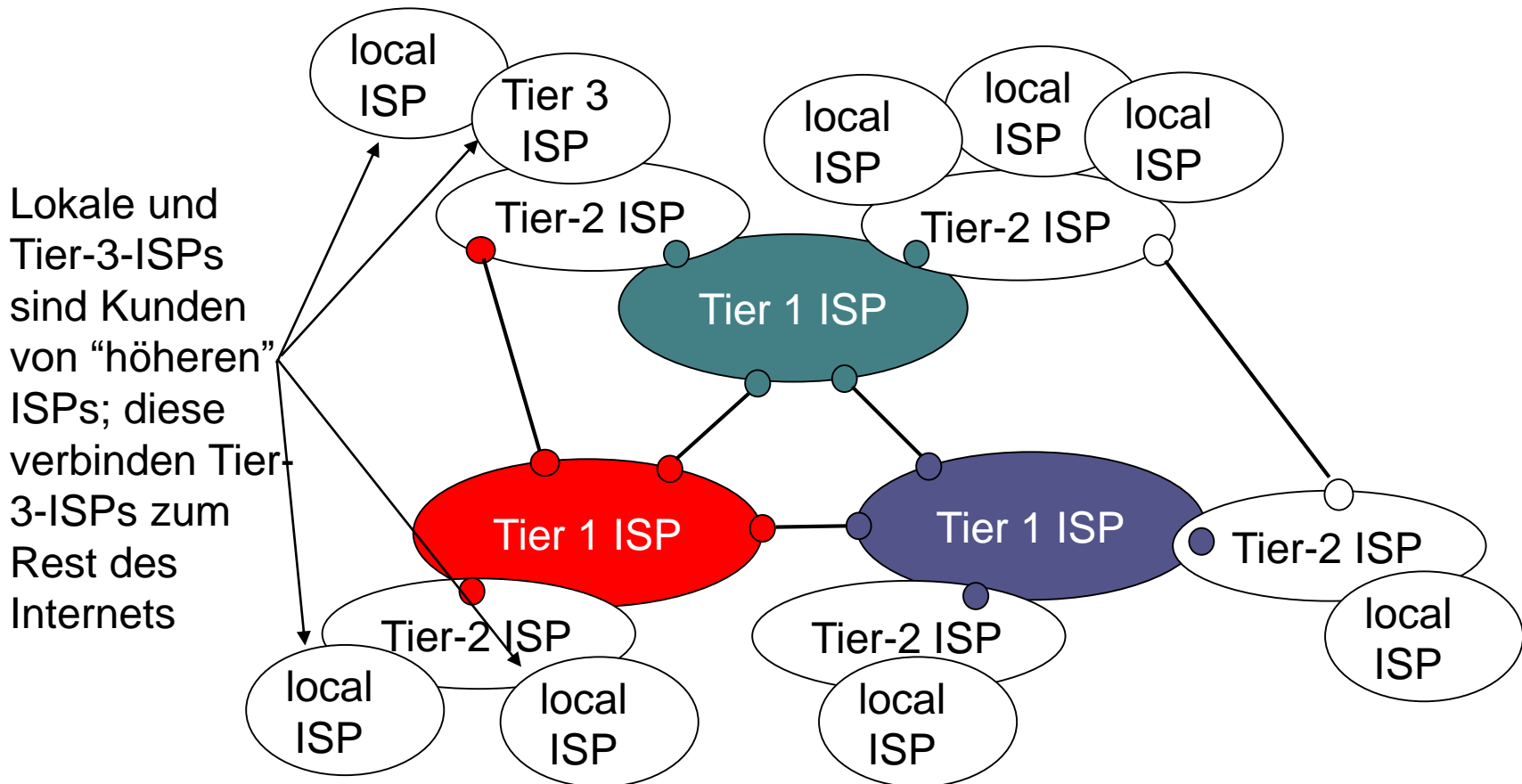
- ▶ Tier-2-ISP ist ein nationaler oder regionaler ISP, der an Tier-1-ISP für die Verbindung (Transit) zu anderen ISPs bezahlt
  - ▶ Angebunden an nur einige Tier-1-ISP; manche größer als diese
- ▶ Beispiele ([Link](#)):
  - ▶ Deutsche Telekom /AS3320
  - ▶ France Telecom /AS5511 aka OpenTransit



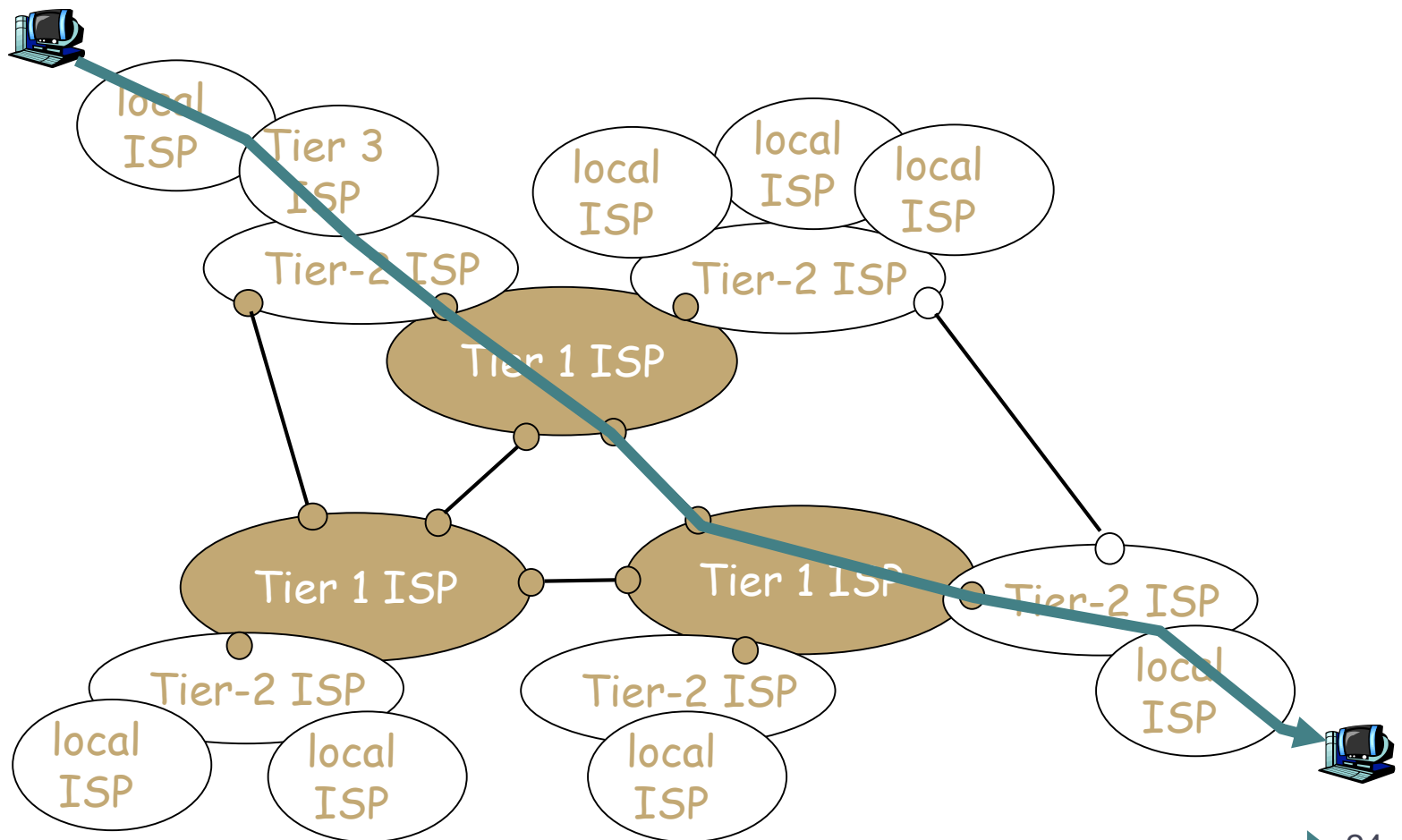
# Tier-3-ISP

## ► Tier-3-ISP und lokale ISP

- Es sind die “last hop” Netzwerke, die z.T. auch die Zugangsnetzwerke zur Verfügung stellen



# Ein Paket durchkreuzt viele Netzwerke

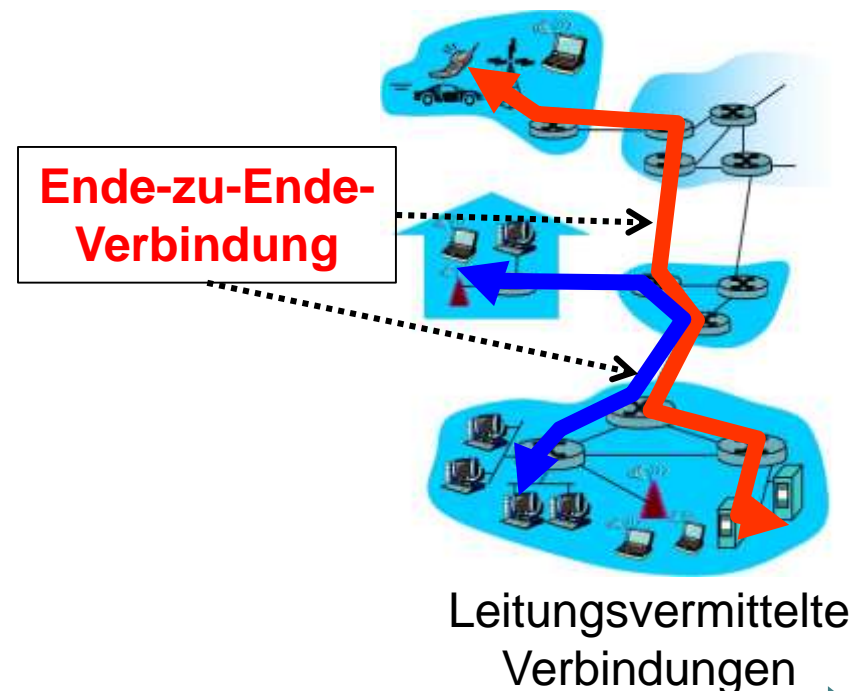




# Paketvermittlung vs. Leitungsvermittlung

# Wie werden die Daten durch ein Netzwerk übermittelt?

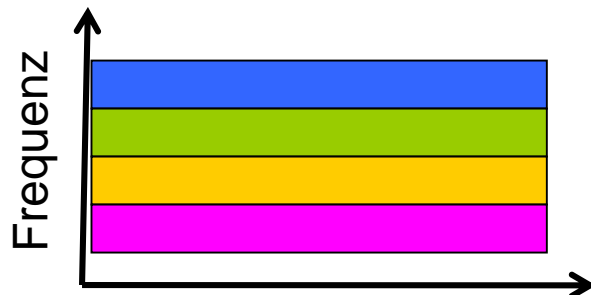
- ▶ Zwei Ansätze: **Leitungsvermittlung** (LV, **Circuit Switching**) und **Paketvermittlung** (PV, **Packet Switching**)
- ▶ **LV**: Die benötigten Ressourcen (wie Puffer, Schaltungen, Kanal) werden für die Dauer der Kommunikationssitzung zwischen diesen Endsystemen reserviert
- ▶ **PV**: Die Ressourcen werden nicht reserviert
  - ▶ Die Nachrichten einer Sitzung verwenden diese Ressourcen nach Bedarf und müssen infolgedessen ggf. warten



# Leitungsvermittelte Netzwerke: Gem. Nutzung

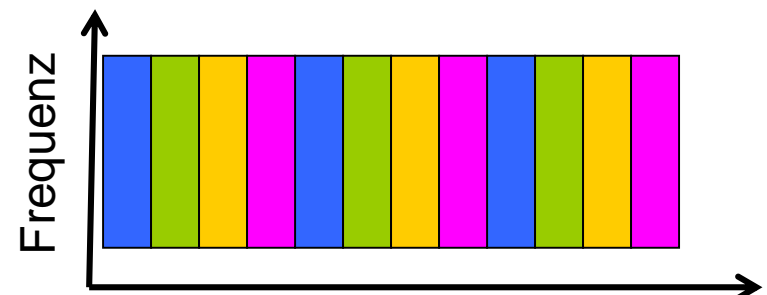
**Multiplexing** ermöglicht gemeinsame Nutzung der Ressourcen. Es gibt zwei Typen davon:

- ▶ **Frequenzmultiplexverfahren (FDM, frequency division multiplexing)**
  - ▶ Jeder durchgeschalteten Verbindung wird ein bestimmtes Frequenzband zugewiesen
- ▶ **Zeitmultiplexverfahren (TDM, time-division multiplexing)**
  - ▶ Zeit wird in **Rahmen (Frames)** mit konstanter Dauer eingeteilt
  - ▶ Jeder Rahmen in eine feste Zahl von **Zeitschlitzzen (time slots)**
  - ▶ Eine Verbindung erhält einen festen Zeitschlitz in jedem Rahmen



Zeit

4 Benutzer



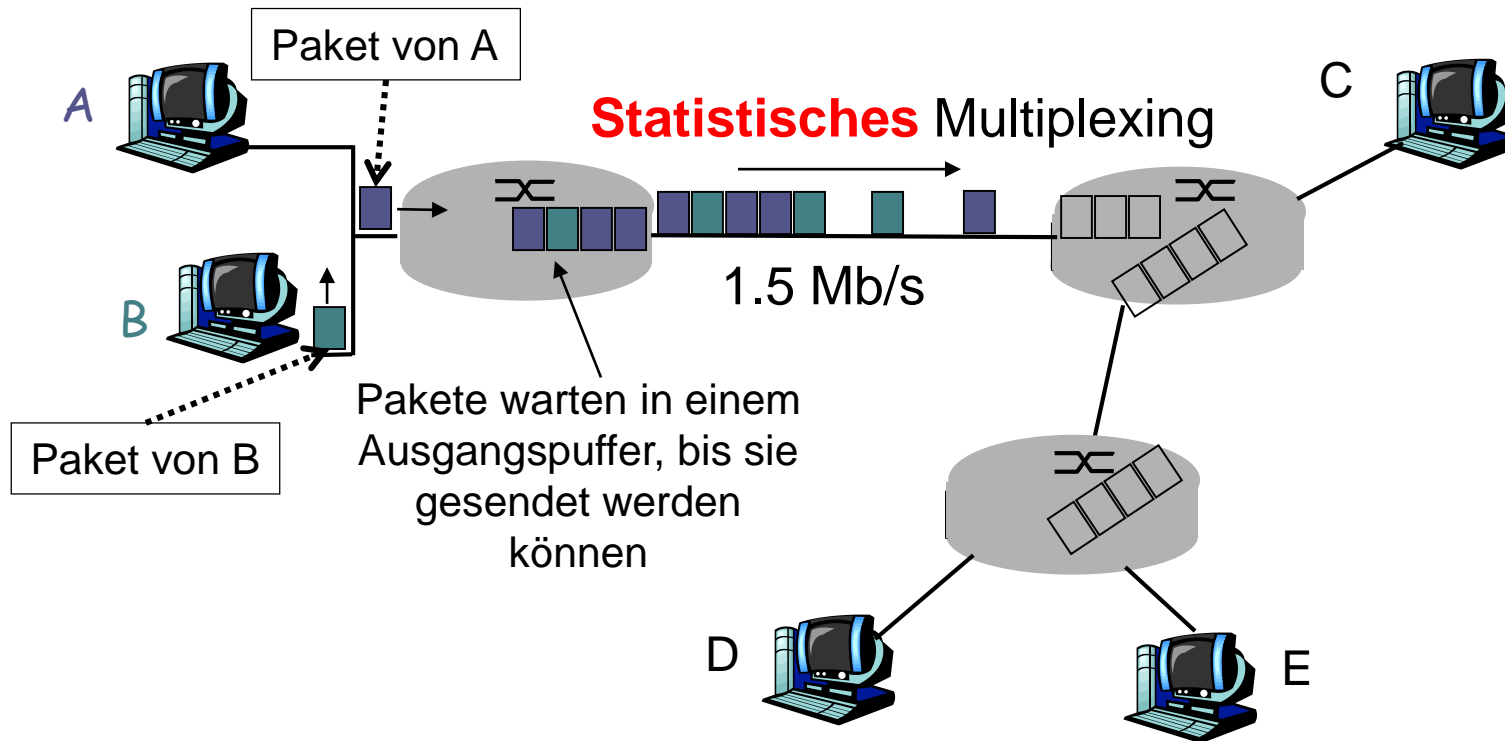
Zeit

# Paketvermittlung

---

- ▶ Hier zerlegt die Quelle lange Nachrichten in kleinere „Datenhäppchen“, genannt **Pakete**
- ▶ Jedes dieser Pakete bewegt sich zw. Quelle und Ziel über Kommunikationsleitungen und **Paketswitches**
- ▶ Haupttypen der **Paketswitches**
  - ▶ **Router** - mehr Intelligenz, Entscheidungen über längere Netzwerkabschnitte
  - ▶ (**Sicherungsschicht**)-**Switches** – primitiv, haben Informationen nur über direkte Nachbarn
- ▶ Video: „Internet B – Technology/B01 - Introduction The Link Layer“
  - ▶ Von 2:30 bis 4:30+ (min:sec)

# PV: **Statistisches** Multiplexing

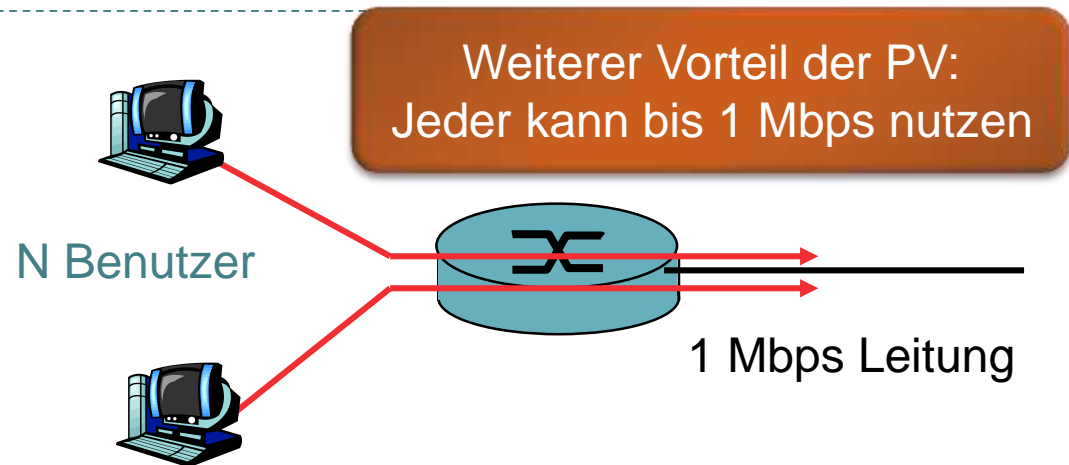


- ▶ Das Multiplexing der Pakete von A und B hat kein „fixes“ Schema (kein Slot für A/B), sondern geschieht nach Bedarf
  - ▶ D.h. mehr Pakete von A im Puffer => A's häufiger gesendet
- ▶ Effizienter als Zeitmultiplexverfahren der Leitungsvermittl'g

# Mehr Nutzer bei PV - Beispiel

## ► Szenario:

- 1 Mbps Leitung
- Jeder Benutzer aktiv 10% der Zeit
- 100 kb/s wenn aktiv



## ► Leitungsvermittlung - # Benutzer?

- 10 Benutzer, und jeder sendet mit maximal 100 kb/s

## ► Paketvermittlung - wie viele können gleichzeitig?

- Bei **35 Benutzern** ist die **W-keit**, dass **mehr als 10 zugleich aktiv sind, kleiner als  $4/10000$  (0.0004)**
- Keine Garantie, dass jeder gerade senden kann ...
- ... Aber sehr kleine W-keit der Probleme bei 3.5 mal mehr Nutzern als bei LV!

# Paketvermittlung vs. Leitungsvermittlung

Paketvermittlung	Leitungsvermittlung	Ineffizienz der LV?
Ressourcen werden nur <i>nach Bedarf</i> verwendet	Dedizierte Belegung und Reservierung der Ressourcen	Weniger gleichzeitige Nutzer
Pakete werden mit der <u>vollen</u> Übertragungsgeschwindigkeit der Leitung übertragen	Unterteilung der Bandbreite in Kanäle (pro Leitung ein Kanal)	Übertragung langsamer als ggf. möglich

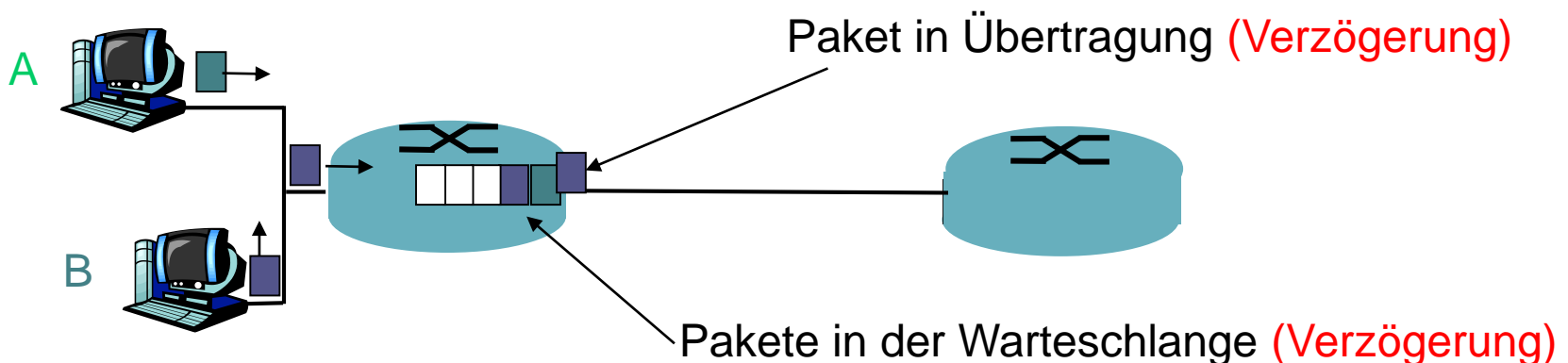
- ▶ Aber PV hat auch Probleme - welche?
  - ▶ Kumulativer Bandbreitenbedarf kann die **Kapazität überschreiten** => keine Dienstgarantie für einen Benutzer
  - ▶ **Pakete werden verzögert**, insbesondere wenn viele senden
    - ▶ Schlecht für Echtzeitdienste wie Audio/Video-Streaming
  - ▶ **Pakete gehen verloren**, wenn die Switch-Puffer überlaufen

# Verzögerung, Verlust, Durchsatz in paketvermittelten Netzen



# Wodurch entstehen Verzögerung und Verlust?

- ▶ An jedem Knoten (d.h. einem Host oder Router) seiner Reise zum Zielhost erfährt ein Paket verschiedene Verzögerungen – welche?
- ▶ **Verarbeitungsverzögerung**
- ▶ **Warteschlangenverzögerung**
- ▶ **Übertragungsverzögerung**
- ▶ **Ausbreitungsverzögerung**



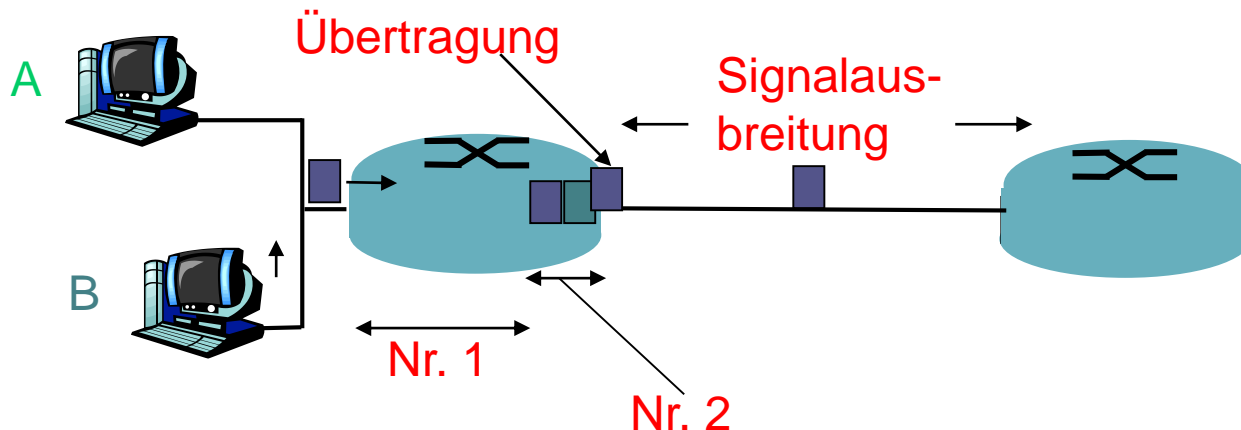
# Arten der Verzögerung

## ▶ 1. Verarbeitungsverzögerung

- ▶ Die Zeitdauer, welche zur Prüfung des Paket-Headers sowie zur Entscheidung über den weiteren Weg des Paketes benötigt wird
- ▶ Zeit, um nach Bitfehlern der Übertragung zu suchen

## ▶ 2. Warteschlangenverzögerung

- ▶ Wartezeit im Puffer, bis das Paket über entsprechende Leitung versendet werden kann
- ▶ Hängt von der Länge der Schlange (~ **congestion level**) ab



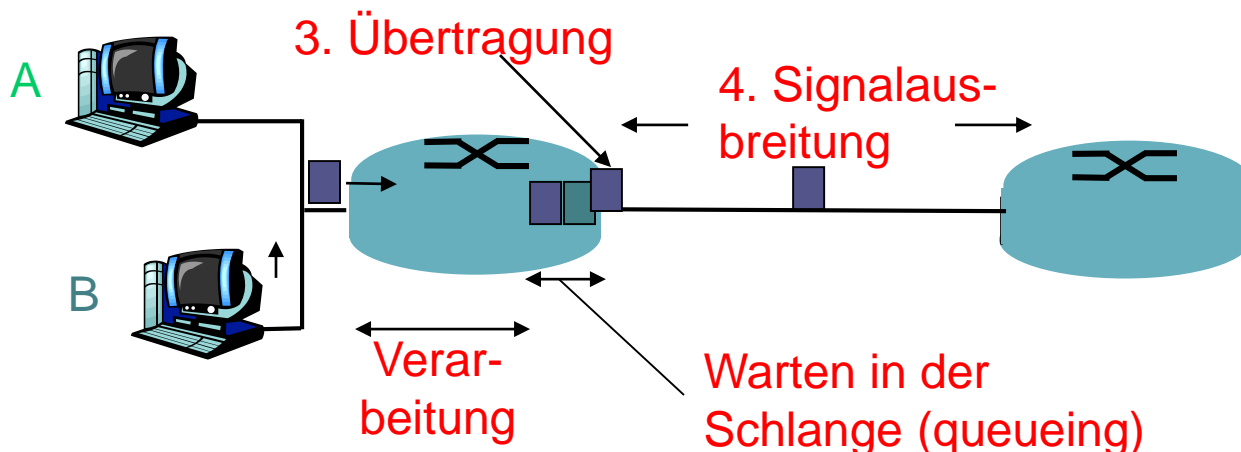
# Arten der Verzögerung /2

## 3. Übertragungsverzögerung

- ▶  $R$  = Übertragungsgeschwindigkeit (**link bandwidth**) (in bps)
- ▶  $L$  = Paketlänge (bits)
- ▶ Übertragungszeit =  $L/R$

## 4. Ausbreitungsverzögerung

- ▶  $d$  = Länge der physischen Leitung
- ▶  $s$  = Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $\sim 2 \times 10^8$  m/sec in Kabeln)
- ▶ Ausbreitungsverzögerung =  $d/s$



# Gesamtverzögerung (pro Übertragungsknoten)

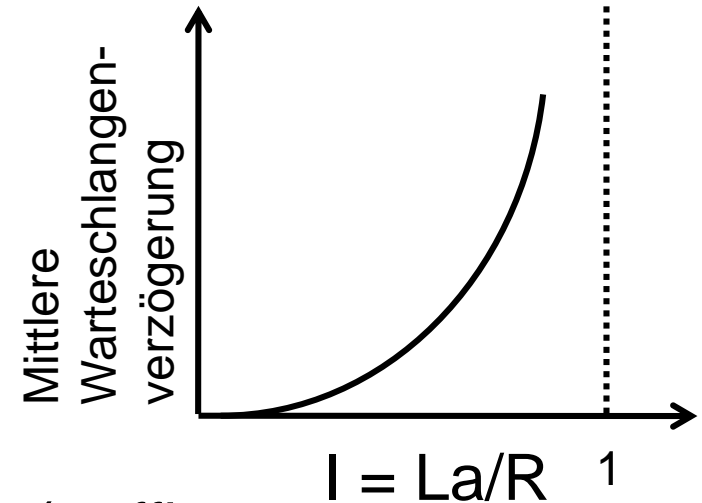
---

$$d_{\text{node}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

- ▶  $d_{\text{proc}}$  : **Verarbeitungsverzögerung** (processing delay)
  - ▶ typischerweise einige Mikrosekunden oder weniger
- ▶  $d_{\text{queue}}$  : **Warteschlangenverzögerung** (queuing delay)
  - ▶ hängt von der Überlastung (congestion) ab (Mikro- bis Millisekunden)
- ▶  $d_{\text{trans}}$  : **Übertragungsverzögerung** (transmission delay)
  - ▶  $= L/R$ , signifikant für langsame Leitungen (Mikro- bis Millisekunden)
- ▶  $d_{\text{prop}}$  : **Ausbreitungsverzögerung** (propagation delay)
  - ▶ einige Mikrosekunden bis hunderte Millisekunden (Satelliten)

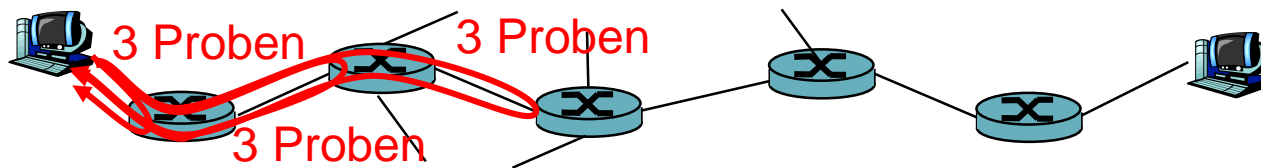
# Warteschlangenverzögerung (reloaded)

- ▶ **R** : Übertragungsgeschwindigkeit (bps)
- ▶ **L** : Paketlänge (bits)
- ▶ **a** : mittlere Rate, mit der Pakete an der Warteschlange eintreffen
- ▶  **$I = La/R$**  wird als der **Verkehrswert** (traffic intensity) bezeichnet
  - ▶ Verhältnis (ankommende Bitrate) / (abgehende Bitrate)
- ▶  $La/R \sim 0$ : Schlange sehr kurz, kaum Verzögerungen
- ▶  $La/R \rightarrow 1$ : Verzögerungen werden sehr groß
- ▶  $La/R > 1$ : Mehr ankommende Daten als verschickt werden können, mittlere Verzögerung wird unendlich



# Ende-zu-Ende-Verzögerung


- ▶ Auf dem Weg addieren sich diese Verzögerungen auf
- ▶ Programm **Traceroute** erlaubt die Messung der Verzögerung von der Quelle bis zu jedem Router auf dem Weg zum Ziel
- ▶ Für alle  $i = 0, \dots, 255$ :
  - ▶ Sende drei spezielle Pakete, die den Router  $i$  auf Pfad zu Ziel erreichen
  - ▶ Router  $i$  schickt die Pakete zum Sender (Quelle) zurück
  - ▶ Sender misst die den Zeitintervall zwischen dem Absenden und der Antwort - **Rundlaufzeit (round-trip delay)**



# Traceroute - Beispiel

**traceroute:** gaia.cs.umass.edu bis www.eurecom.fr

Drei Messungen der Verzögerungen von  
gaia.cs.umass.edu bis cs-gw.cs.umass.edu



```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9) 22 ms 18 ms 22 ms
7 nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46) 22 ms 22 ms 22 ms
8 62.40.103.253 (62.40.103.253) 104 ms 109 ms 106 ms
9 de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129) 109 ms 102 ms 104 ms
10 de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54) 112 ms 114 ms 112 ms
12 nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13) 111 ms 114 ms 116 ms
13 nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102) 123 ms 125 ms 124 ms
14 r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110) 126 ms 126 ms 124 ms
15 eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54) 135 ms 128 ms 133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25) 126 ms 128 ms 126 ms
17 * * *
18 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
```

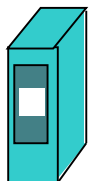
Router antwortet nicht

Übersee-  
verbindung

# Durchsatz (throughput)

---

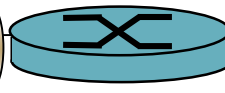
- ▶ **Durchsatz (throughput)**: Geschwindigkeit, mit welcher die Bits zwischen dem Sender und Empfänger übertragen werden (in Bits/s)
- ▶ **Momentaner** ~: Geschwindigkeit zu einem spezifischen Zeitpunkt
- ▶ **Durchschnittlicher** ~: Geschwindigkeit über einen längeren Zeitraum gemittelt



Server  
sendet Bits  
in eine  
Leitung



Server kann Daten mit  
Geschwindigkeit  $R_s$   
Bits/s senden



Router kann Daten mit  
Geschwindigkeit  $R_c$   
Bits/s übertragen

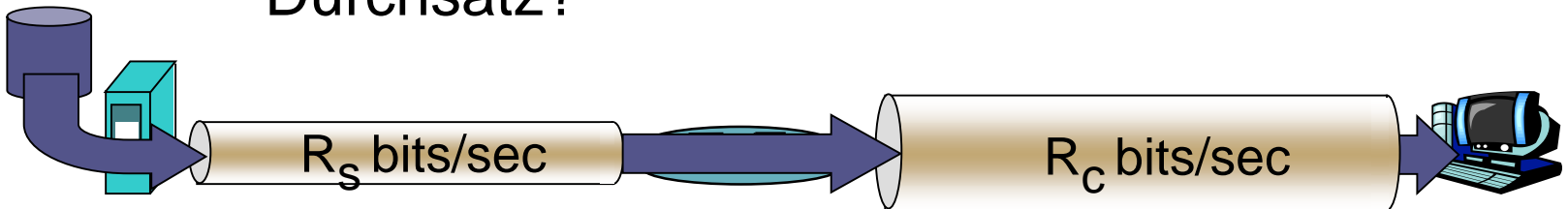




# Durchsatz /2

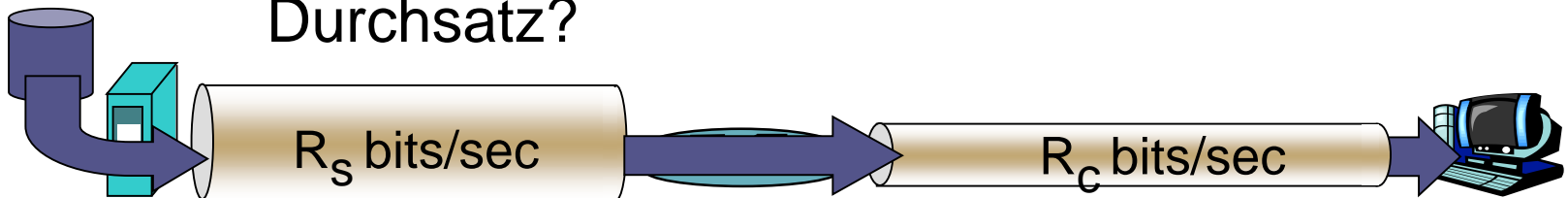
$$R_s < R_c$$

Was ist der durchschnittliche Ende-zu-Ende Durchsatz?



$$R_s > R_c$$

Was ist der durchschnittliche Ende-zu-Ende Durchsatz?

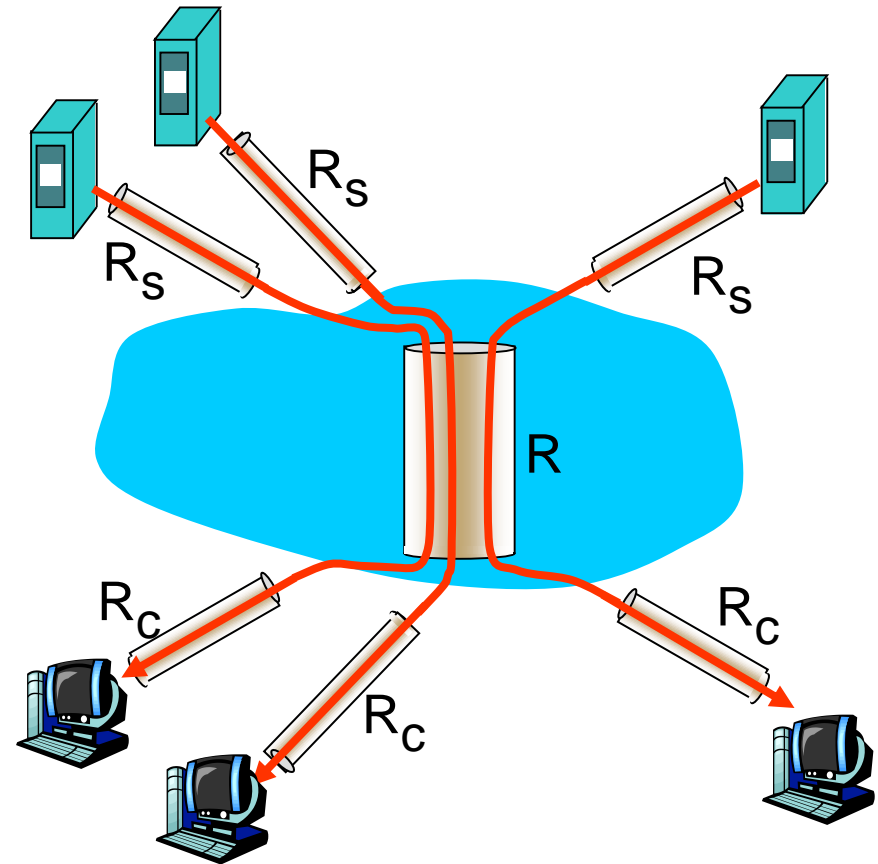


**Bottleneck - Leitung (Engpassleitung)**

Leitung auf dem Ende-zu-Ende Pfad, welche den Ende-zu-Ende Durchsatz beschränkt

# Durchsatz im Internet

- ▶ Der Ende-zu-Ende Durchsatz nach dem obigen Modell müsste sein:  $\min(R_c, R_s, R/10)$
- ▶ In der Praxis:  $R_c$  or  $R_s$  ist häufig der Flaschenhals
- ▶  $\Rightarrow$  Zugangsnetzwerke sind oft das Problem



**10** Verbindungen teilen sich eine Backbone (Tier-1-ISP) Verbindung mit Durchsatz  $R$  bits/sec

# Zusammenfassung

---

- ▶ Grundbegriffe Internet
  - ▶ Internet-Geschichte
  - ▶ Netzwerkrand
  - ▶ Verzögerung, Verlust und Durchsatz in paketvermittelten Netzen
  - ▶ Das Innere des Netzwerks
- 
- ▶ Quellen:
    - ▶ Netzwerke: Kurose Kapitel 1 (Abschnitte 1.2, 1.3, 1.4)

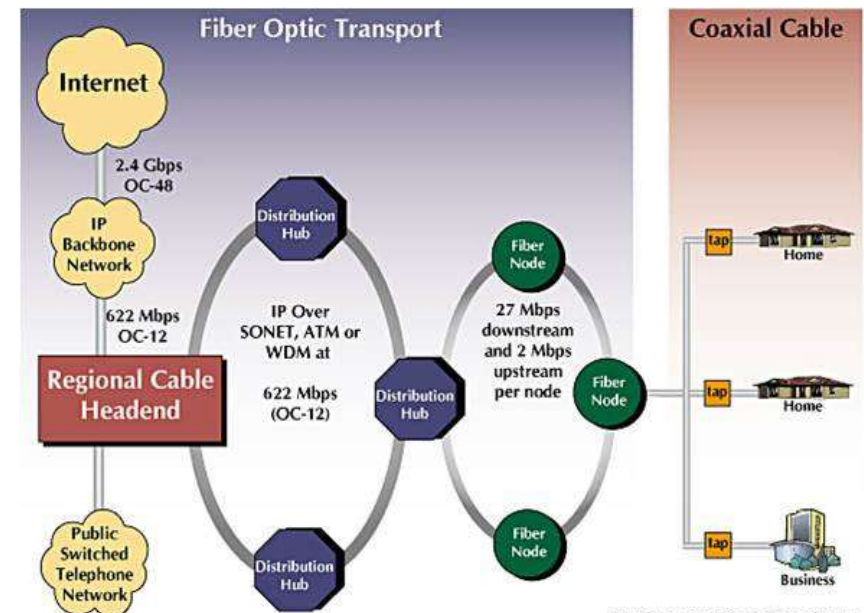
Danke.

# Zusatzfolien

# Typische Heimzugänge

- ▶ **Einwahlmodem** (dial-up modem) – „alter Hut“
- ▶ **ISDN** – „digitale Telefonleitung“ - „alter Hut“
- ▶ **[V]DSL** – **[Very-high Speed Digital Subscriber Line]**
- ▶ **Hybride Glasfaser-Koaxialkabel** - Anschlüsse
  - ▶ Glasfasern bis **Kabelkopfstück**, dann Koaxialkabel
  - ▶ Nutzt Infrastruktur des Kabelfernsehens
  - ▶ Geräte dazu: **Kabelmodems**

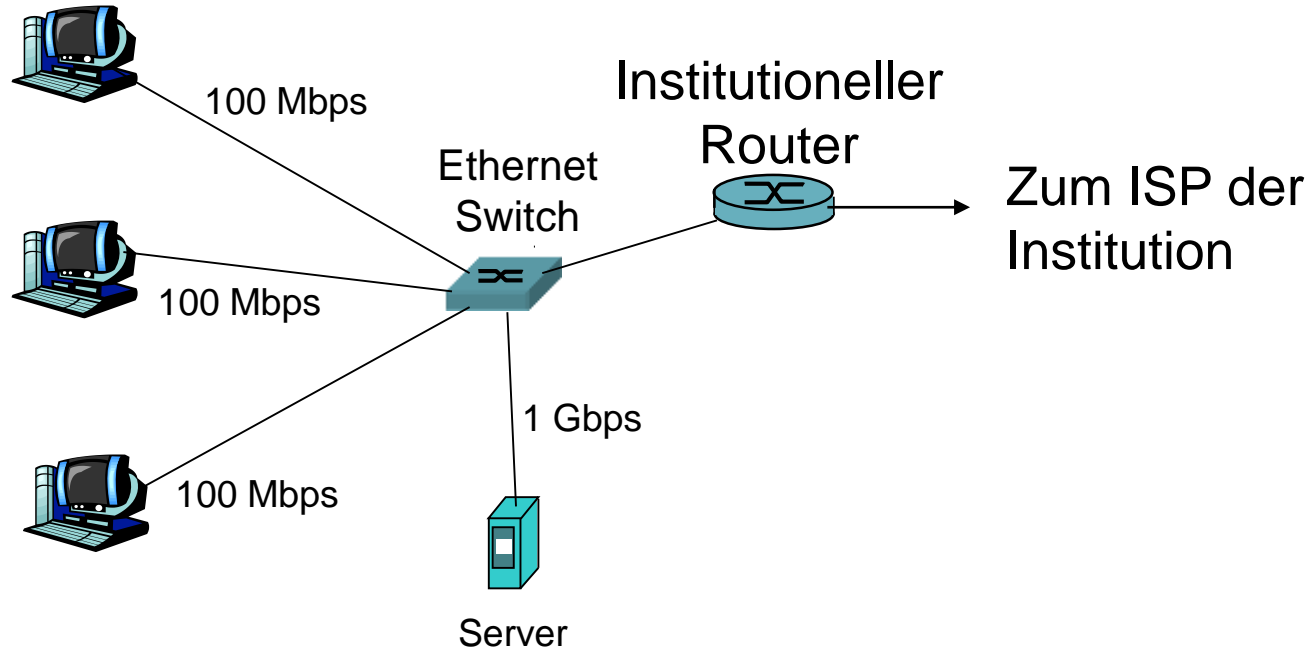
- ▶ DSL teilt die Telefonleitung in drei **Frequenzbänder** ein:
  - ▶ Telefon: 0-4 kHz
  - ▶ **Upstream**-Kanal: 4-50 kHz
  - ▶ **Downstream**: 50 kHz bis >1 MHz



Copyright © 1999 Kinetic Strategies, Inc.

<http://www.cabledatcomnews.com/cm/cmic/diagram.html>

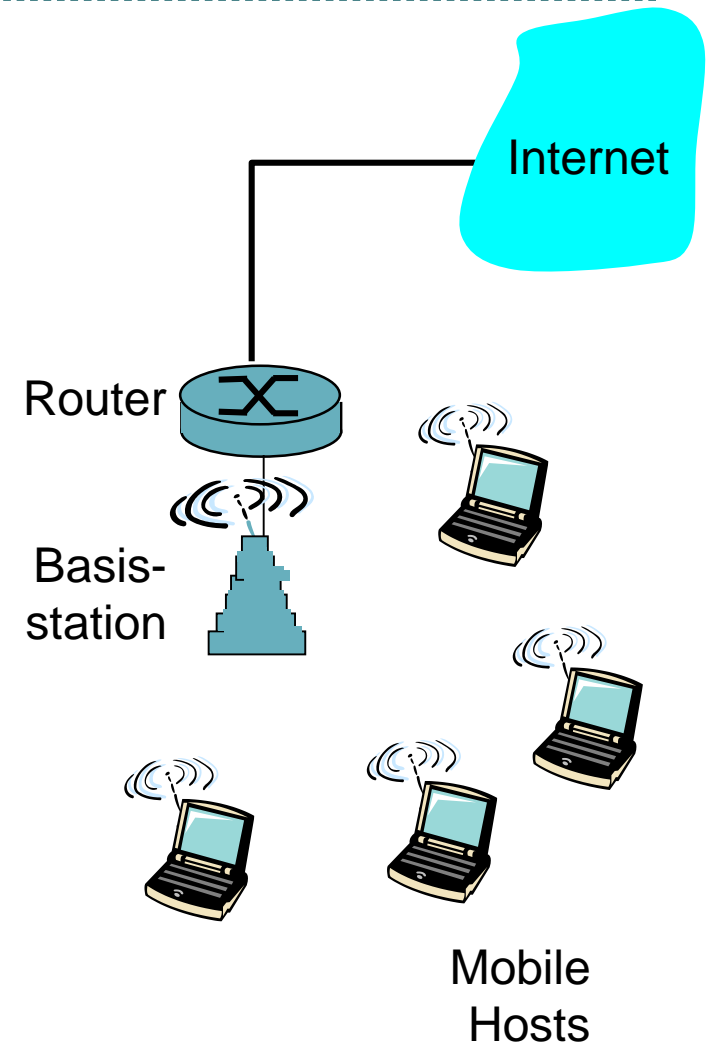
# Firmenzugänge



- ▶ Typischerweise in Firmen, Universitäten, Regierungen
  - ▶ Verbindung zwischen dem **lokalen Netzwerk (LAN, local area network)** mit einem Randrouter via **Ethernet** (später)
  - ▶ Im LAN werden Kupferkabel mit verdrehten Adern oder Koaxialkabel benutzt

# Drahtlose Zugänge – Lokal & Weitverkehr

- ▶ Lokal: **Wireless LAN** (W-LAN, Wi-Fi, **WLAN**) - [Link](#)
  - ▶ Kommunikation (bis 100m) mit einer **Basisstation**, die mit dem Internet verbunden ist
  - ▶ Standards der [IEEE-802.11](#)-Familie
- ▶ **Wireless Wide Area Network** (**WWAN**, Weitverkehrsfunknetz)
  - ▶ Funknetze: [GSM](#), [UMTS](#), [LTE](#); [WiMAX](#) – IEEE 802.16
  - ▶ Benutzt dieselbe Infrastruktur wie Mobiltelefone (nicht WiMAX)
  - ▶ Die Basisstationen gehören den Mobilfunknetz-Betreibern





# Trägermedien

- ▶ Leiten elektromagnetische Wellen oder Lichtimpulse auf einer Teilstrecke der Übertragung

- ▶ **Geführte Medien**

- ▶ Koaxialkabel
  - ▶ Verdrilltes Kupferdraht
  - ▶ Lichtwellenleiter

- ▶ **Nichtgeführte Medien**

- ▶ Radiowellen in der Atmosphäre oder Weltraum



Cat-5 TP-Kabel



Verdrillte Adernpaare mit Farbcodes nach [T568A](#)

- ▶ Verdrilltes Kupferdraht ([Twisted Pair](#), **TP**) – mehrere isolierte Kabel
  - ▶ Kategorie 3: traditionelle Telefonleitung, 10 Mbps Ethernet
  - ▶ Kategorie 5: 100Mbps Ethernet

Multimode – Stufenindexfaser  
(Lichtwellenleiter)

