

# Kapitel 1

## Computernetzwerke und das Internet

### Ein Hinweis an die Benutzer dieses Foliensatzes:

Wir stellen diese Folien allen Interessierten (Dozenten, Studenten, Lesern) frei zur Verfügung. Da sie im PowerPoint-Format vorliegen, können Sie sie beliebig an Ihre Bedürfnisse anpassen. Wir haben sehr viel Arbeit in diesen Foliensatz investiert.

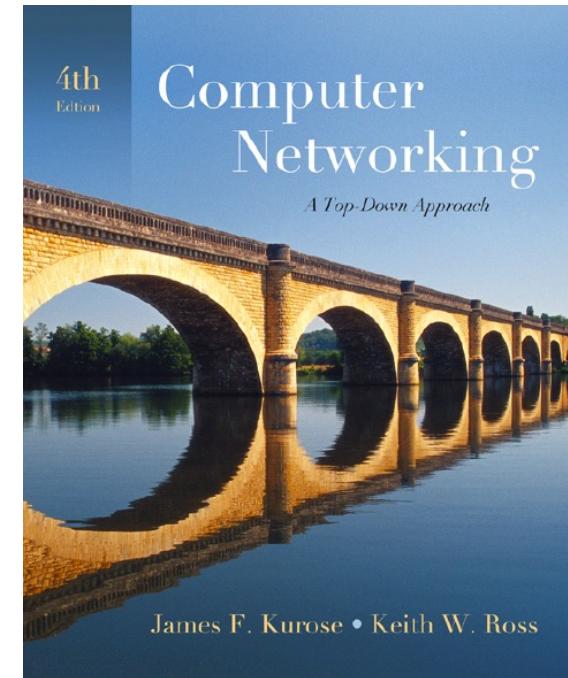
Als Gegenleistung für dessen Verwendung bitten wir Sie um Folgendes:

- Wenn Sie diese Folien (z.B. in einer Vorlesung) verwenden, dann nennen Sie bitte die Quelle (wir wollen ja, dass möglichst viele Menschen unser Buch lesen!).
- Wenn Sie diese Folien auf einer Webseite zum Herunterladen anbieten, dann geben Sie bitte die Quelle und unser Copyright an diesem Foliensatz an.

Danke und viel Spaß beim Lehren und Lernen mit diesem Foliensatz! JFK/KWR

Copyright der englischen Originalfassung 1996–2007  
J.F Kurose and K.W. Ross, alle Rechte vorbehalten.

Deutsche Übersetzung 2008  
M. Mauve und B. Scheuermann, alle Rechte vorbehalten.



*Computernetzwerke: Der  
Top-Down-Ansatz ,  
4. Ausgabe.  
Jim Kurose, Keith Ross  
Pearson, Juli 2008.*

## Unser Ziel:

- Ein erstes Gefühl für dieses Gebiet zu bekommen
- Die Terminologie kennenlernen
- Mehr Tiefe und Detail in den folgenden Kapiteln
- Ansatz:
  - Wir verwenden das Internet als Beispiel

F: Was für andere Netzwerke kennt Ihr?

# Kapitel 1: Orientierung

## 1.1 Was ist das Internet?

## 1.2 Geschichte der Computernetzwerke

## 1.3 Randsbereich des Netzwerkes

- Endsysteme, Zugangsnetzwerke, Leitungen

## 1.4 Inneres des Netzwerkes

- Leitungs- und Paketvermittlung, Netzwerkstruktur

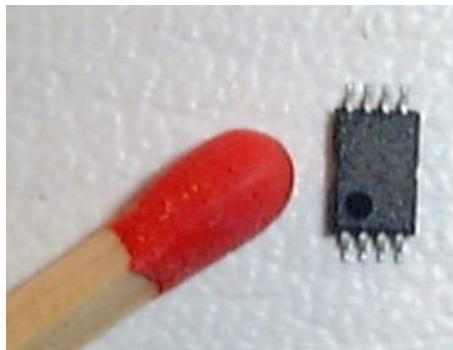
## 1.5 Verzögerung, Verlust und Durchsatz in paketvermittelten Netzwerken

## 1.6 Protokollsichten, Dienste

# „Coole“ Endsysteme und Anwendungen



Ein Ring um Geräte zu  
kontrollieren  
<https://hellonod.com/>



Kleinster Webserver der Welt:  
<http://d116.com/ace/>



Internetbasierter Toaster +  
Wettervorhersager



Internet-Kühlschrank

## Nest



# Mehr IoT Systeme

## Connected baby monitor





RISK ASSESSMENT —

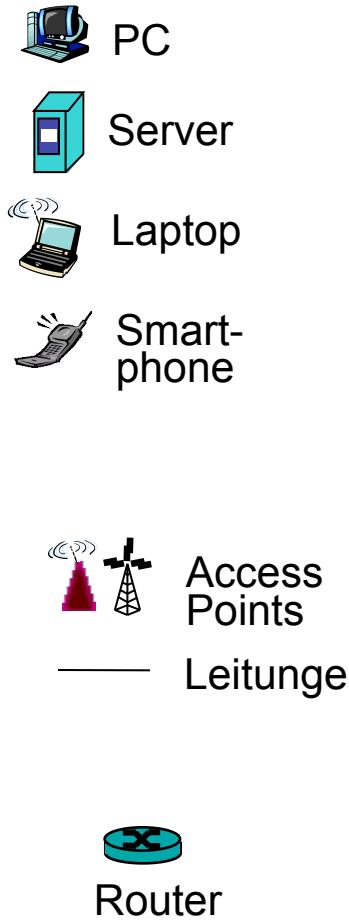
# 9 baby monitors wide open to hacks that expose users' most private moments

Despite its ubiquity, Internet of Things security still isn't ready for prime time.

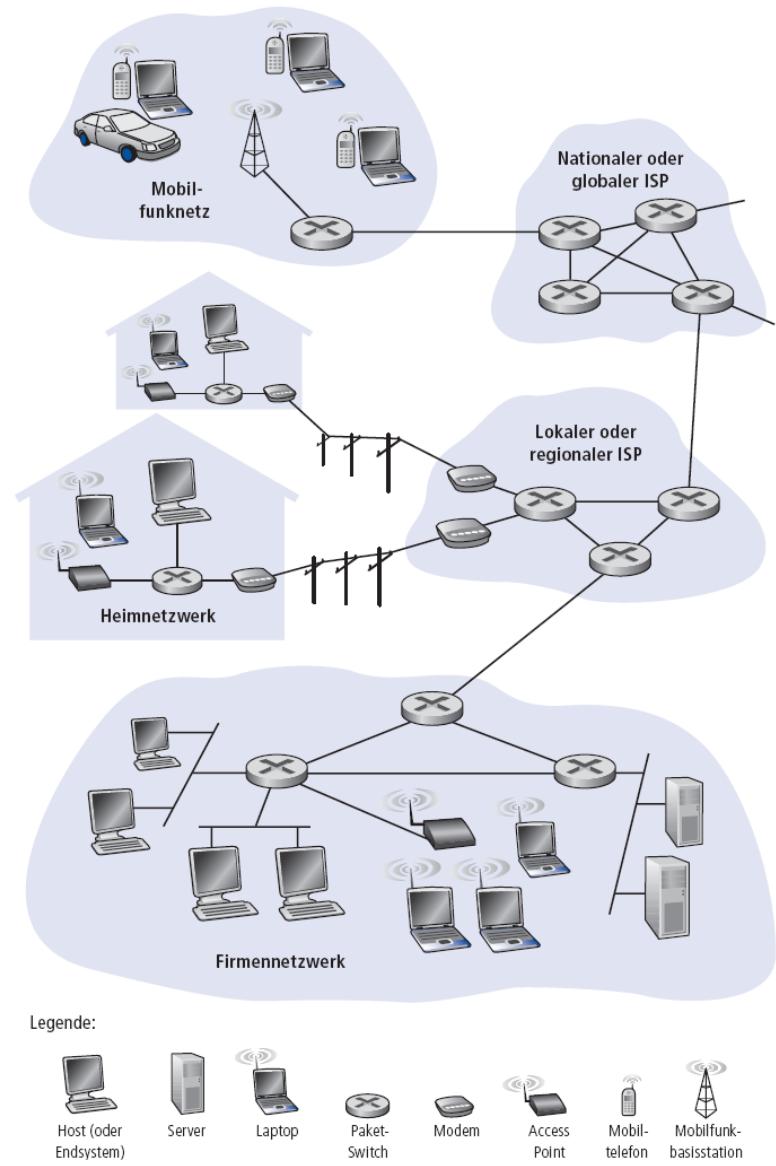
DAN GOODIN - 9/2/2015, 6:38 PM



# Was ist das Internet: die Grundlagen

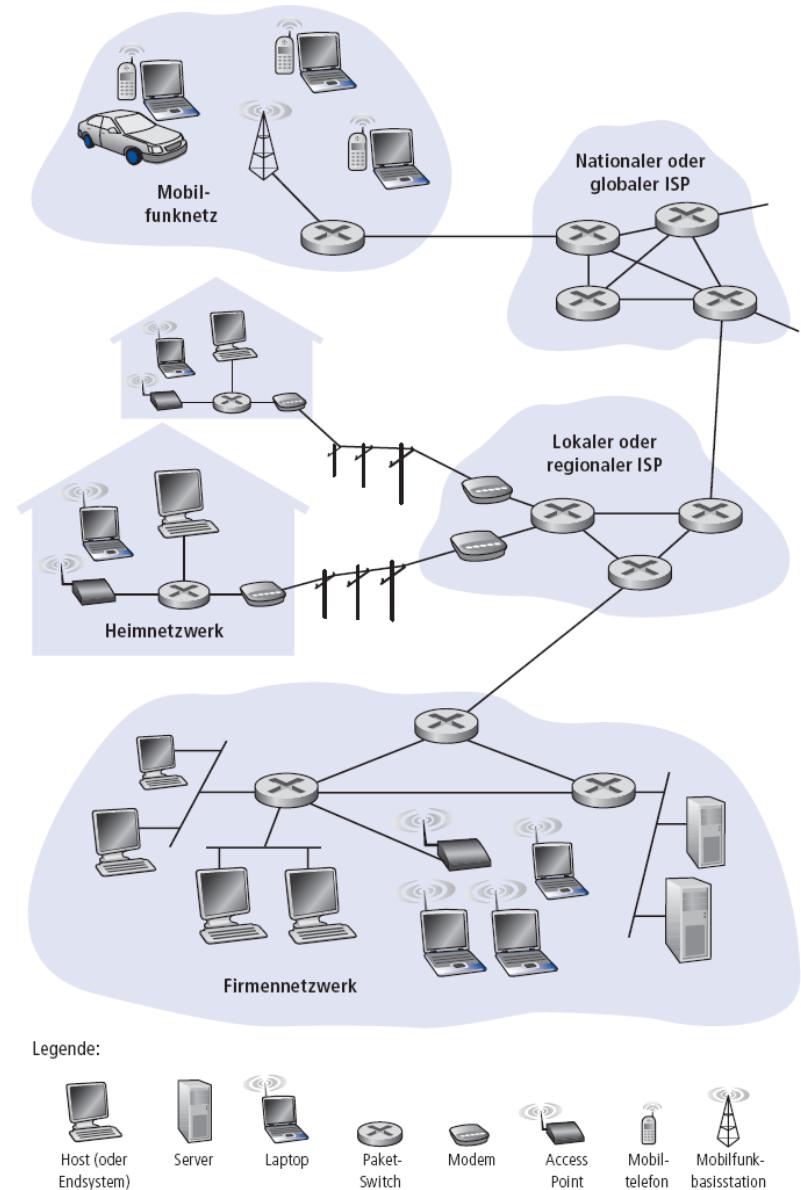


- Millionen vernetzter Computer:  
*Hosts = Endsysteme*
  - Auf denen Netzwerkanwendungen laufen
- Leitungen/Funkstrecken
  - Glasfaser, Kupfer, Funk, Satellit
  - Übertragungsrate = Bandbreite
- Router:
  - leiten Datenpakete (Einheiten von Daten) weiter



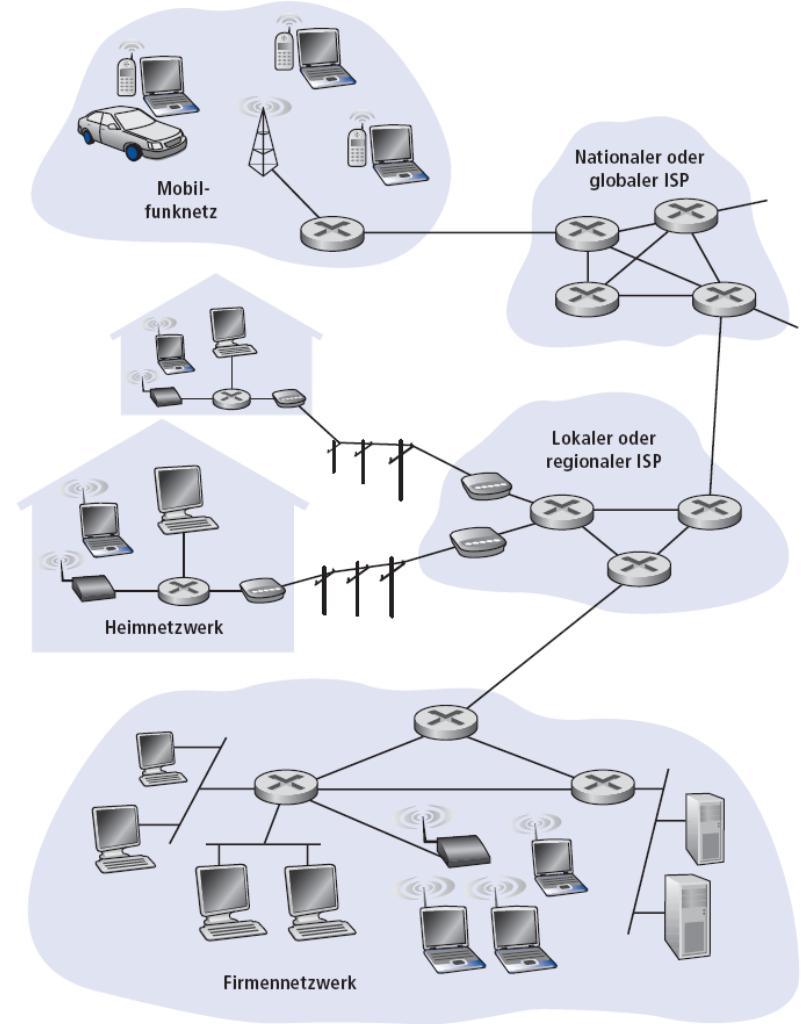
# Was ist das Internet: die Grundlagen

- ***Protokolle*** kontrollieren das Senden und Empfangen von Nachrichten
  - z.B., TCP, IP, HTTP, Skype, Ethernet
- ***Internet: “Netzwerk von Netzwerken”***
  - Hierarchisch
  - Öffentliches Internet und privates Intranet
- **Internetstandards**
  - RFC: Request For Comments
  - IETF: Internet Engineering Task Force



# Was ist das Internet: Dienste

- **Kommunikationsinfrastruktur, die verteilte Anwendungen ermöglicht:**
  - Web, VoIP, E-Mail, Spiele, eCommerce, File Sharing
- **Kommunikationsdienste, die den Anwendungen zur Verfügung gestellt werden:**
  - Zuverlässige Datenübertragung von einer Quelle zu einem Ziel
  - Unzuverlässige (“best effort”) Datenübertragung



Legende:



# Was ist ein Protokoll?

## Protokolle zur Kommunikation zwischen Menschen:

- “Wie viel Uhr ist es?”
- “Ich habe eine Frage”
- Gegenseitiges Vorstellen

... es werden „standardisierte“ Nachrichten übertragen

... durch den Empfang dieser Nachrichten werden „standardisierte“ Aktionen ausgelöst

## Netzwerkprotokolle:

- Maschinen statt Menschen
- Sämtliche Kommunikation im Internet wird durch Protokolle geregelt

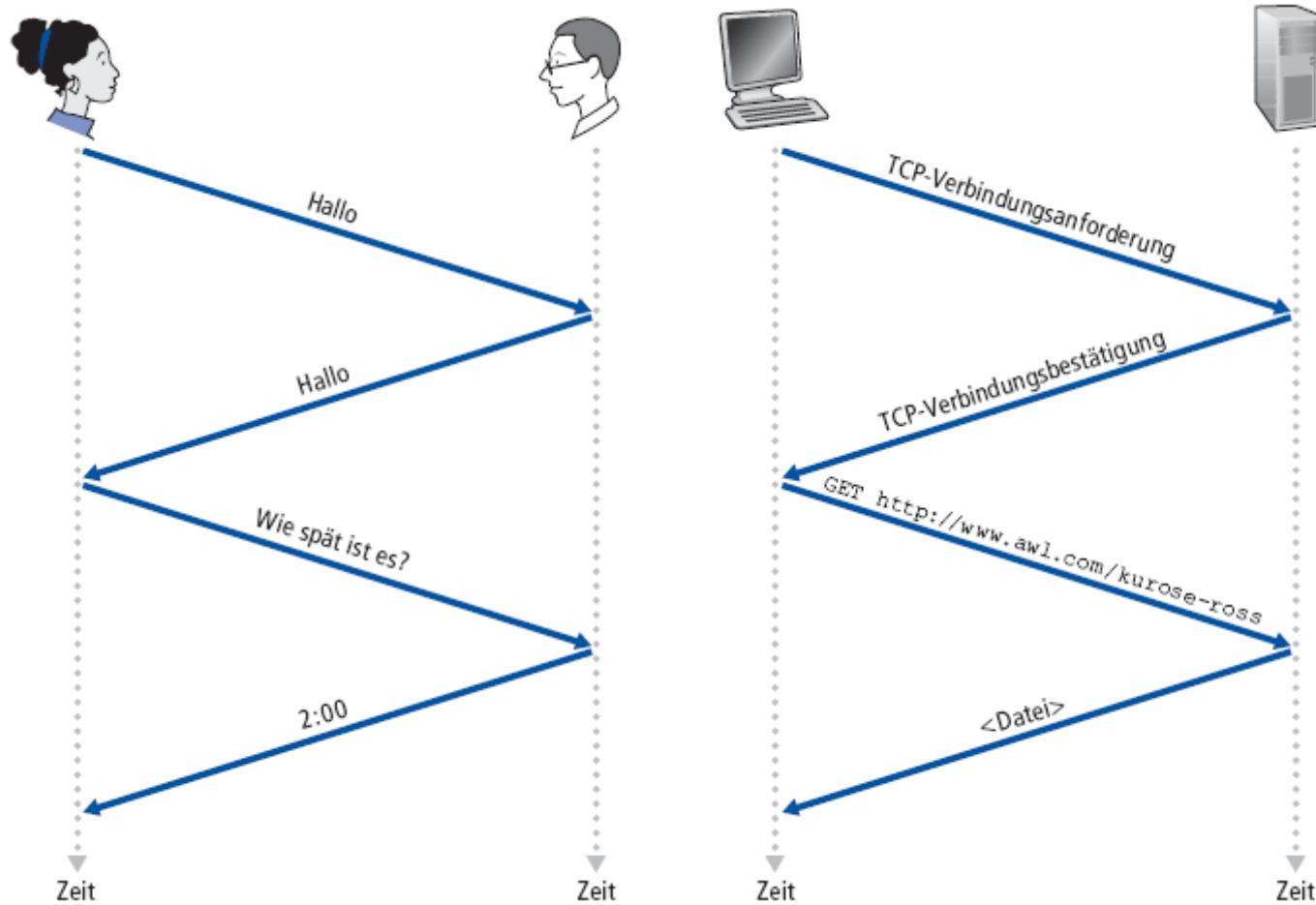
# Was ist ein Protokoll?

Protokolle definieren:

- Beginn und Ende eines Kommunikationes
- Nachrichtenstruktur
- Netzwerkorganisation (Addressierung, usw.)
- Fehlerhandlung

# Was ist ein Protokoll?

Ein Protokoll zwischen Menschen und ein Protokoll in Computernetzwerken:



**Frage:** Andere Protokolle zwischen Menschen?

# Kapitel 1: Orientierung

1.1 Was ist das Internet?

1.2 Geschichte der Computernetzwerke

1.3 Randbereich des Netzwerkes

- Endsysteme, Zugangsnetzwerke, Leitungen

1.4 Inneres des Netzwerkes

- Leitungs- und Paketvermittlung, Netzwerkstruktur

1.5 Verzögerung, Verlust und Durchsatz in paketvermittelten  
Netzwerken

1.6 Protokollsichten, Dienste

# Geschichte des Internets

## 1950–1960: Kommunikation zwischen Forscher

- 1950: Projekt RAND – Kommunikation von Forscher an CMU, MIT, ...
- 1960: J.C.R. Licklider – Vision von globalen Netzwerk

"A network of such [computers], connected to one another by wide-band communication lines [which provided] the functions of present-day libraries together with anticipated advances in information storage and retrieval and [other] symbiotic functions."

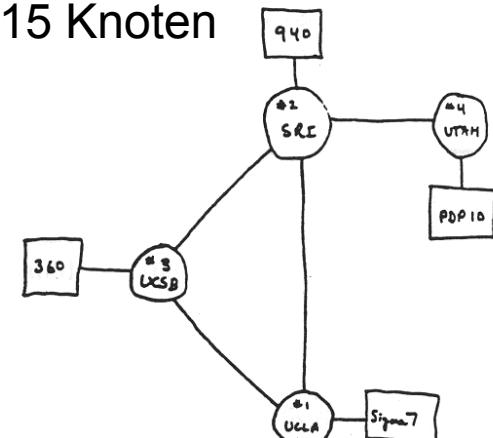
—J.C.R. Licklider

Frage: Was noch hat Licklider visioniert?

# Geschichte des Internets

## 1961–1972: Paketvermittlung

- 1961: Leonard Kleinrock – Warteschlangentheorie zeigt die Effizienz der Paketvermittlung
- 1964: Paul Baran – Paketvermittlung in Militärnetzen
- 1967: ARPAnet von der Advanced Research Projects Agency geplant
  - University of California, Los Angeles and the Stanford Research Institute
  - 22:30 hours on October 29, 1969
- 1969: erster ARPAnet-Knoten in Betrieb
- 1972:
  - ARPAnet, öffentliche Vorführung
  - NCP (Network Control Protocol), erstes Protokoll zwischen Hosts
  - Erstes E-Mail-Programm
  - ARPAnet hat 15 Knoten



THE ARPA NETWORK

# Geschichte des Internets

## 1972–1980: Netzwerk von Netzwerken

- 1970: ALOHAnet  
Satellitennetzwerk auf Hawaii
- 1974: Vinton Cerf und Robert Kahn – Architektur für die Verbindung von Netzwerken = TCP/IP
- 1976: Ethernet: Xerox PARC
- 1978: TCP/IP finalized
- Späte 1970er: proprietäre Architekturen: DECnet, SNA, XNA
- Späte 1970er: Pakete fester Größe (später ATM)
- 1979: ARPAnet hat 200 Knoten

### Cerf und Kahn: Prinzipien für die Verbindung von Netzen

- Minimalismus, Autonomie – keine internen Änderungen an den einzelnen Netzwerken
- Best-Effort-Dienst – keine Garantien
- Kein (Verbindungs-) Zustand in den Routern
- Dezentrale Kontrolle

### Definition der aktuellen Internetarchitektur

# Geschichte des Internets

## 1980–1990: Neue Protokolle, Ausbreitung des Netzwerkes

- 1983: Einführung von TCP/IP
- 1982: Definition des SMTP-E-Mail-Protokolls
- 1983: Definition von DNS zur Übersetzung von Namen auf IP-Adressen
- 1985: Definition von FTP
- 1988: Überlastkontrolle in TCP
- Neue nationale Netzwerke: Csnets, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100.000 Endsysteme sind an einen Verbund von Netzwerken angeschlossen

# Geschichte des Internets

## 1990–200X: Kommerzialisierung, WWW, neue Anwendungen

- Anfang 1990er Jahre: ARPAnet wird eingestellt
  - 1992: NSF hebt die Einschränkungen bezüglich der kommerziellen Nutzung des NSFnet auf
  - Anfang 1990er Jahre: Web
    - Hypertext [Bush 1945, Nelson 1960er]
    - HTML, HTTP: Berners-Lee
    - 1994: Mosaic, später Netscape
    - Späte 1990er Jahre: Kommerzialisierung des Web
- 1994: CIDR ist entwickelt und benutzt
- Späte 1990er–200X:
- Mehr Killeranwendungen: Instant Messaging, P2P-Filesharing
  - Netzwerksicherheit wird immer wichtiger
  - Geschätzte 50 Millionen Endsysteme, 100 Millionen Anwender
  - Backbone-Leitungen mit Gbit/s

# Erstes Webserver



# Das Internet heute

2009-2016:

- ca. 5bn Endsysteme (2016)
  - Tablet-PC Systeme
  - Mobiltelefonen
- broadband Zugang weltweit
- e-commerce, universities, enterprises running their services in “cloud” (e.g., Amazon EC2)
- Online Social Netzwerke:
  - Facebook: ~ one billion users
- Mehr Anwendungen: YouTube, Gaming (allein World of Warcraft hat 9 Millionen Kunden)
- Mobilkommunikation
- erste live Satellit-Verbindung
  - May 12, 2009
  - astronaut Mike Massimino, Twitter post
- Internet of Things
  - Machine-zu-Machine Kommunikation
  - Sensor-Netze
- Connected car, selbstfahrend

Was denkt Ihr, was kommt als Nächstes?

# Das Internet heute

2009-2016:

- ca. 5bn Endsysteme (2016)
  - Tablet-PC Systeme
  - Mobiltelefonen
- broadband Zugang weltweit
- Sehr schnelle Mobilkommunikation möglich (high-speed)

Was denkt Ihr, was kommt als Nächstes?

# Das Internet heute

2009-2016:

- e-commerce, universities, enterprises running their services in “cloud” (e.g., Amazon EC2)



# Das Internet heute

2009-2016:

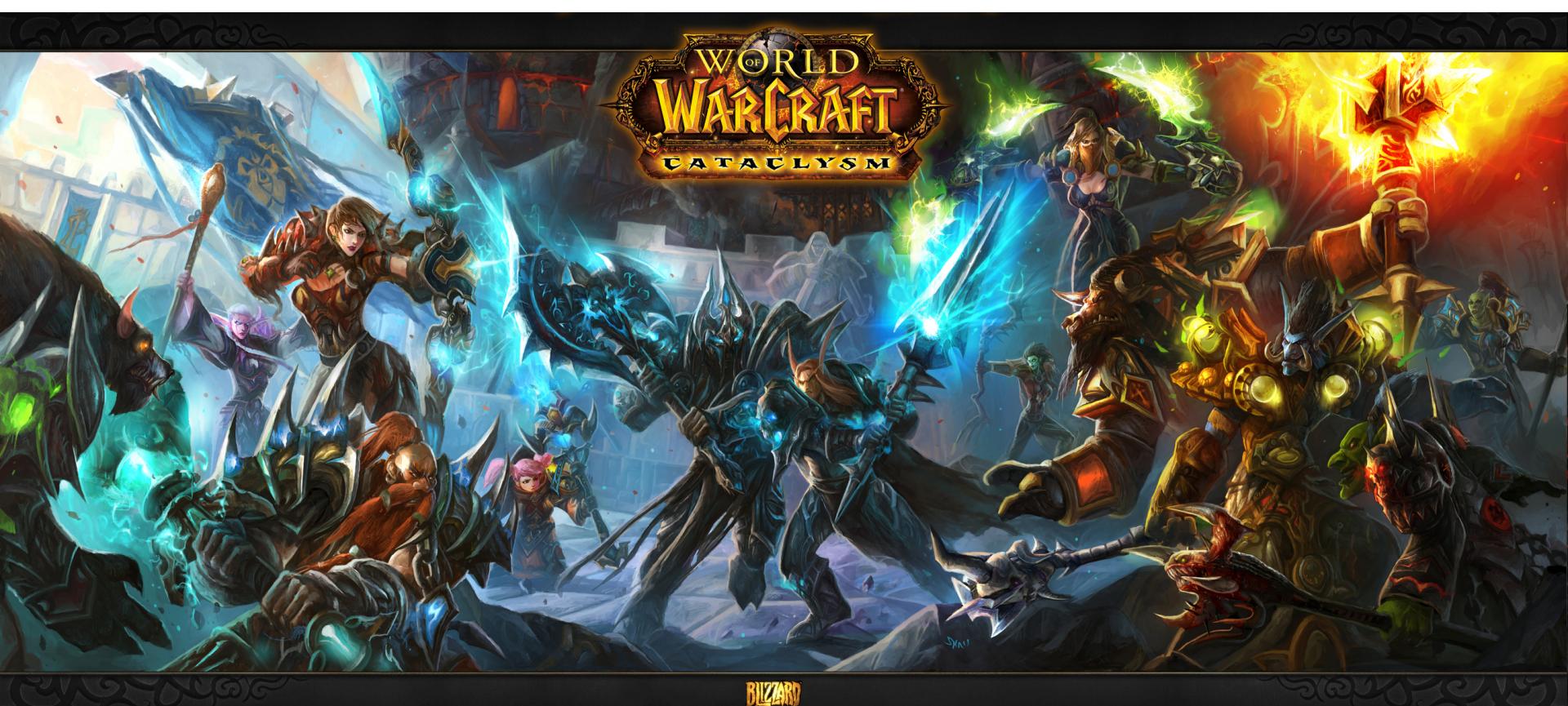
- Online Social Netzwerke
  - Facebook: ~ Ein Billionen Benutzer
- grosse Content Provider – Google, Amazon
  - bauen eigene Öko-systeme



# Das Internet heute

2009-2016:

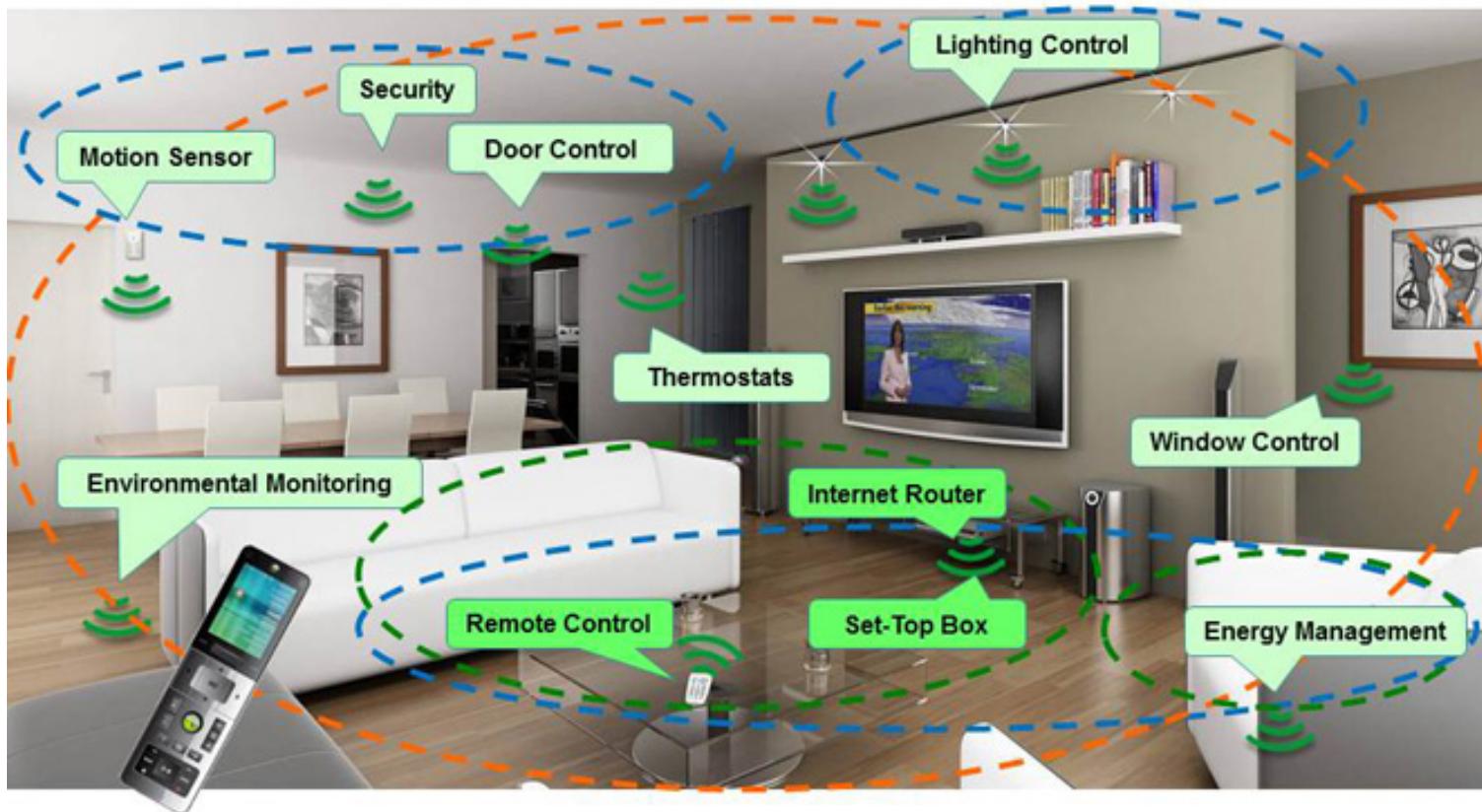
- Mehr Anwendungen: YouTube, Gaming (allein World of Warcraft hat 6 Millionen Kunden)



# Das Internet heute

2009-2016:

- Internet of Things
  - Machine-zu-Machine Kommunikation
  - Sensor-Netze



# Das Internet heute

2009-2016:

- Internet of Things
  - Machine-zu-Machine Kommunikation



# Das Internet heute

2009-2016:

- Connected car, selbstfahrende Wagen



# Das Internet heute

2009-2016:

- Nicola – Selbstfahrende, elektrische Lastfahrer



# Das Internet heute

2009-2016:

- ca. 5bn Endsysteme (2016)
  - Tablet-PC Systeme
  - Mobiltelefonen
- broadband Zugang weltweit
- Sehr schnelle Mobilkommunikation möglich (high-speed)

Was denkt Ihr, was kommt als Nächstes?

# Kapitel 1: Orientierung

1.1 Was ist das Internet?

1.2 Geschichte der Computernetzwerke

1.3 Randsbereich des Netzwerkes

- Endsysteme, Zugangsnetzwerke, Leitungen

1.4 Inneres des Netzwerkes

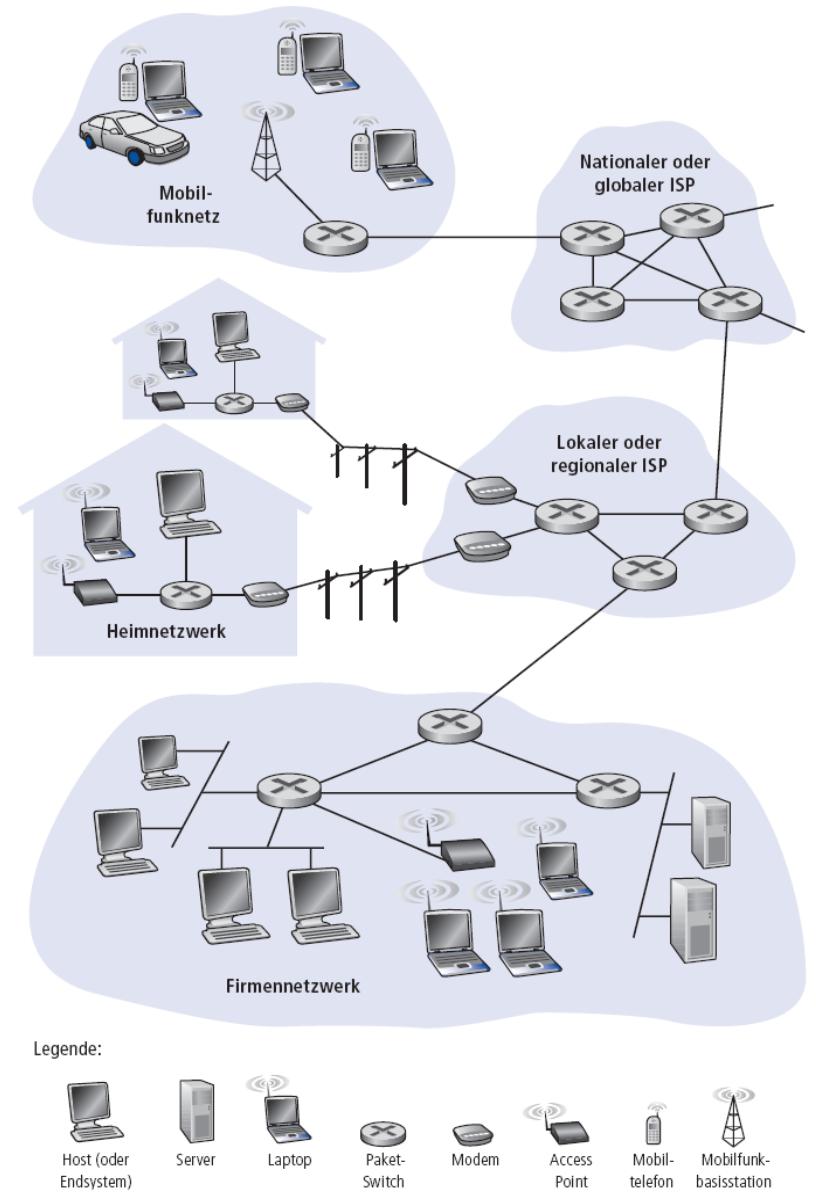
- Leitungs- und Paketvermittlung, Netzwerkstruktur

1.5 Verzögerung, Verlust und Durchsatz in paketvermittelten  
Netzwerken

1.6 Protokollsichten, Dienste

# Die Struktur eines Netzwerkes

- **Randbereich (LAN):**  
Anwendungen und  
Endsysteme
- **Zugangsnetzwerke,  
physikalische Medien  
(WAN):** Kabel- und  
drahtlose Verbindungen
- **Inneres eines  
Netzwerkes (core):**  
Router, Netzwerke von  
Netzwerken



# Vergleichen vom Internet und Mobilnetze

- **Internet**
  - dezentralisiert
  - komplexe Endsysteme
  - “einfache” Netzwerkelemente
  - best effort
  - “store and forward”
  - Packetenvermittlung
- **Mobilnetzwerke**
  - zentralisiert
  - einfache Endsysteme
  - komplexe Netzwerkelemente
  - garantierte Dienste
  - Reservierung
  - Leitungsvermittlung

# Der Randbereich des Netzwerkes

## ■ Endsysteme (Hosts):

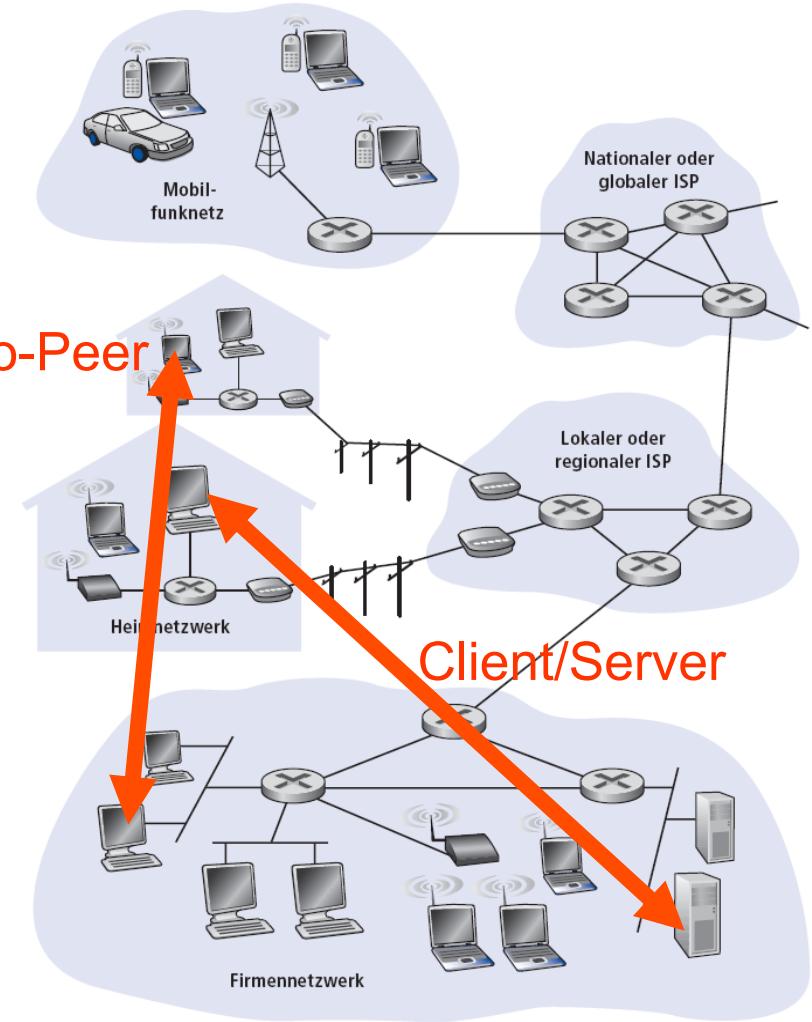
- Für Anwendungsprogramme
- z.B. für Web, E-Mail
- Am Rand des Netzwerkes

## ■ Client/Server Architektur:

- Client fragt Dienste von einem Server an
- z.B. für Web (Chrome/server), E-Mail (Thunderbird/server)

## ■ P2P Architektur:

- Minimaler oder gar kein Einsatz von dedizierten Servern
- z.B. Skype(?), BitTorrent



# Der Randbereich des Netzwerkes: zuverlässige Datenübertragung

Ziel: Datentransfer zwischen  
Endsystemen

- *Handshaking:* die Datenübertragung wird vorbereitet
  - Hallo? Hallo! Protokoll zwischen Menschen
  - Es wird ein **Zustand** in den miteinander kommunizierenden Hosts erzeugt
  - TCP – Transmission Control Protocol
  - Der zuverlässige Datentransport im Internet

TCP-Dienste: [RFC 793]

- Zuverlässige, *reihenfolgenerhaltende Übertragung eines Byte-Reihen*
  - Behandlung von Verlusten
  - Bestätigungen und Übertragungswiederholung
- *Flusskontrolle*
  - Ein schneller Sender wird einen langsamen Empfänger nicht überfordern
- *Überlastkontrolle*
  - Sender werden gebremst, wenn das Netzwerk überlastet ist

# Der Randbereich des Netzwerkes: unzuverlässige Datenübertragung

Ziel: Datentransfer zwischen  
Endsystemen

- Gleiches Ziel!
- **UDP – User Datagram Protocol [RFC 768]:**
  - Verbindungslos
  - Unzuverlässige Datenübertragung
  - Keine Flusskontrolle
  - Keine Überlastkontrolle

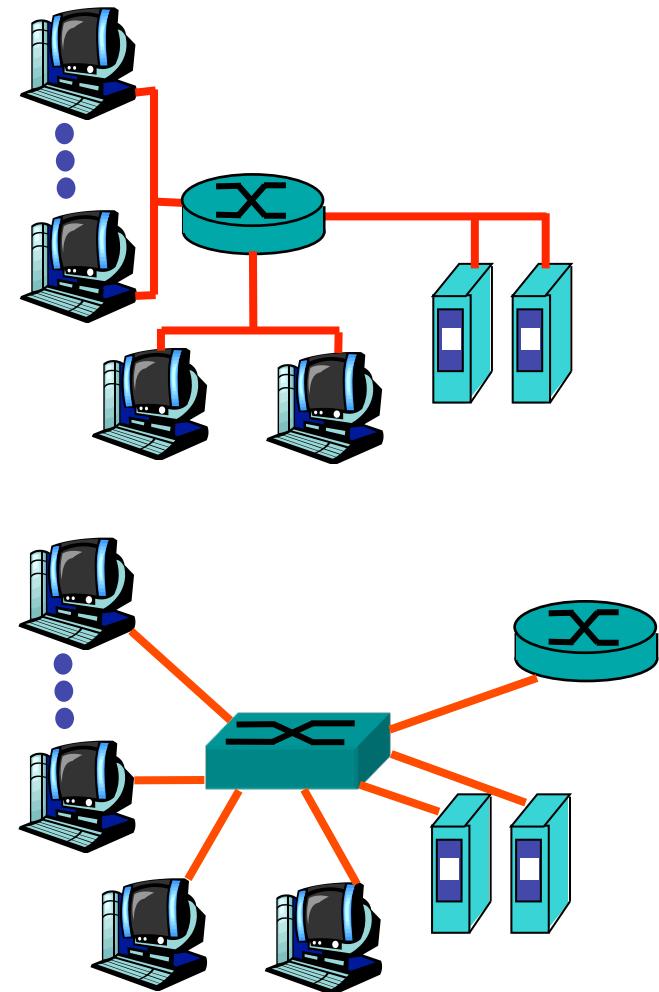
Anwendungen für TCP:

- HTTP (Web), FTP (Dateiübertragung), Telnet (remote login), SMTP (E-Mail)

Anwendungen für UDP:

- Streaming von Audio/Video, Telekonferenzen, DNS, IP-Telefonie

- Das lokale Netzwerk (LAN) einer Firma verbindet die Endsysteme mit dem Router des Serviceproviders
- **Ethernet:**
  - 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s, 10 Gbit/s Ethernet
  - Aktuelle Architektur:  
Endsysteme werden über einen *Ethernet Switch* angebunden
- **Wireless LANs:**
  - 802.11b/g (WiFi): 11/54 Mbit/s
- **LANs: Kapitel 5**



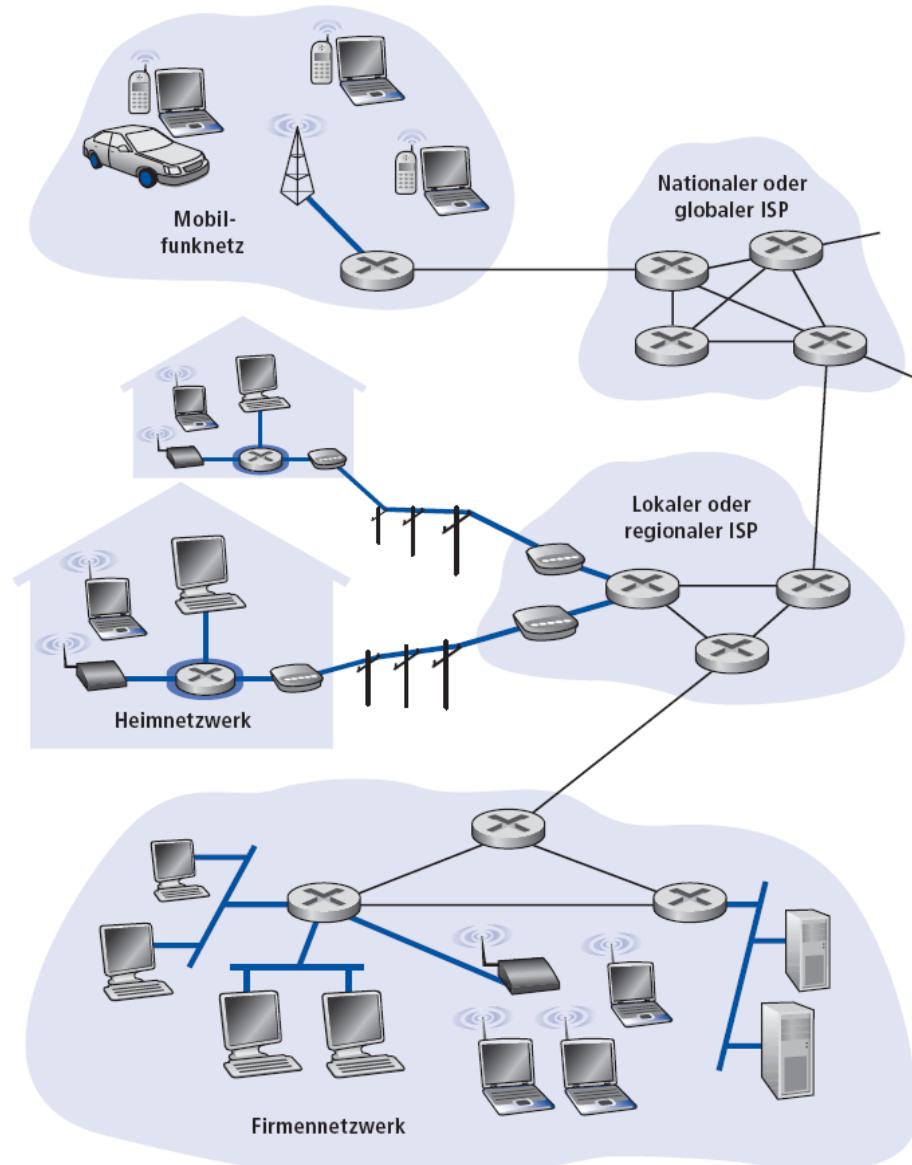
*Frage: Wie werden Endsysteme an das Netzwerk angebunden?*

- Anbindung von Privathaushalten
- Anbindung von Institutionen
- Mobile Anbindung

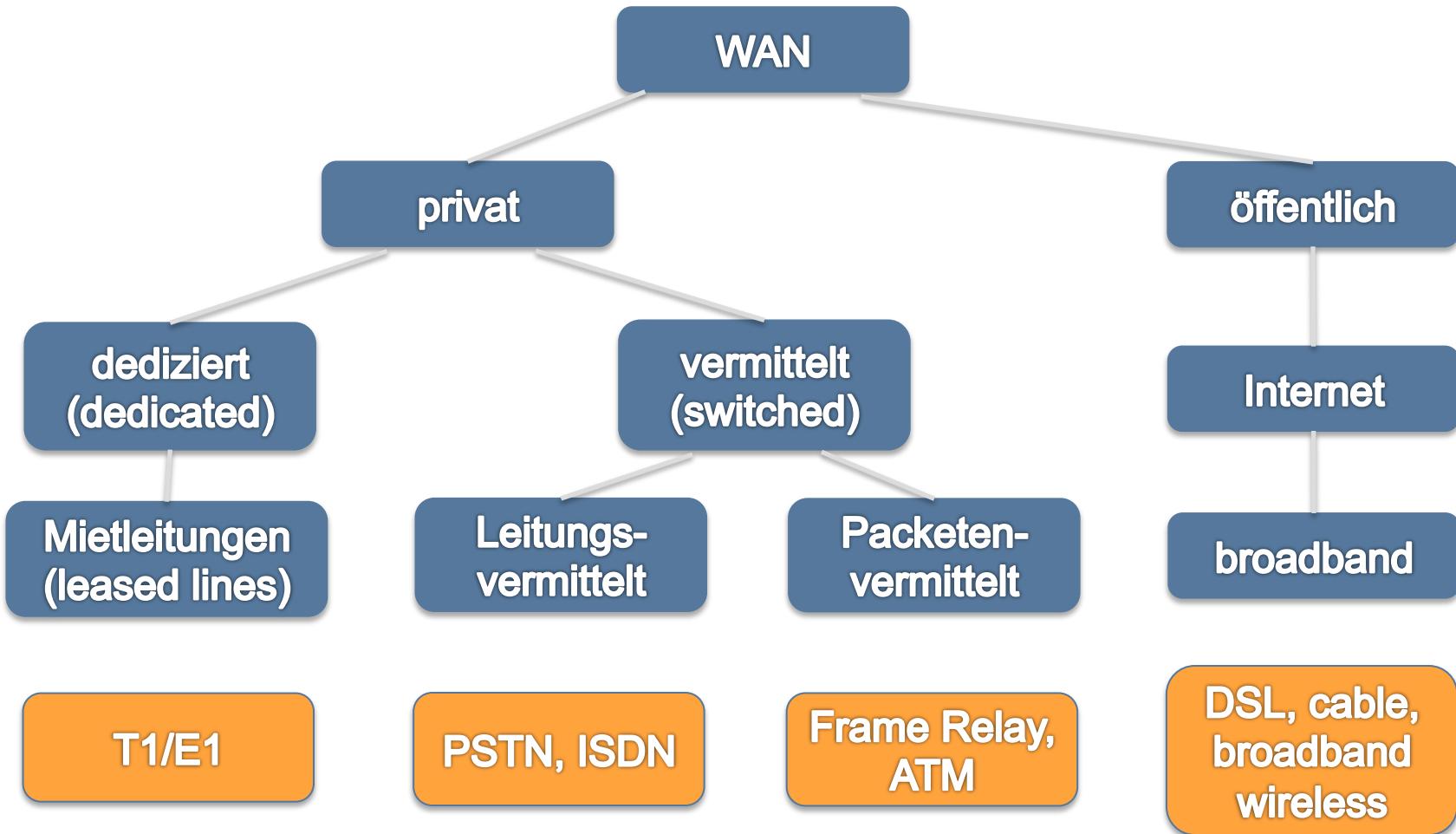
*Wichtige Eigenschaften:*

- Bandbreite (Bits pro Sekunde) der Anbindung
- Geteilte oder exklusive Nutzung der Anbindung

## Wide Area Networks (WAN) Verbindungen

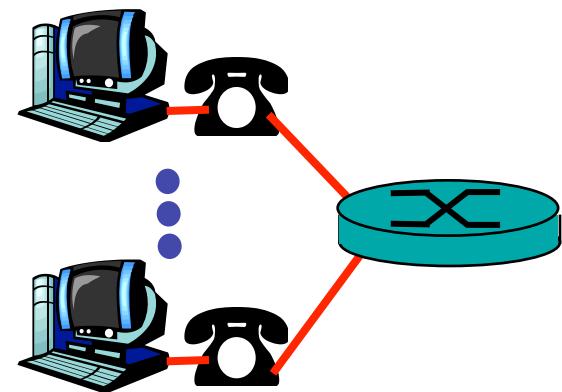


# WAN Typen



# Anbindung von Endsystemen: Dial-up

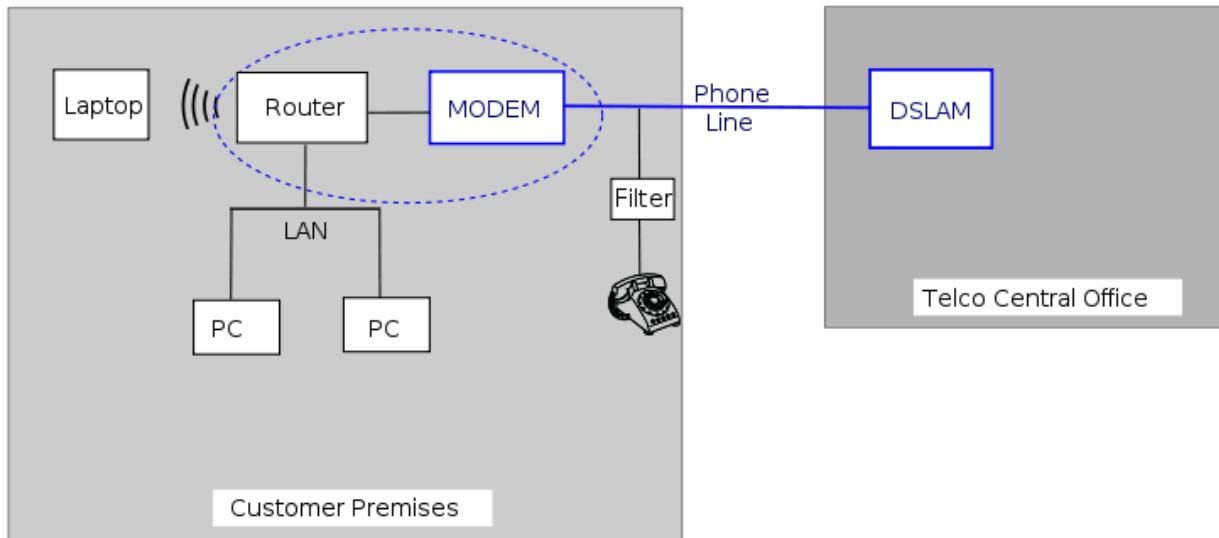
- Einwahl per Modem
  - Bis zu 56 kbit/s exklusiv (häufig weniger)
  - Telefonieren und Internetzugang schließen sich gegenseitig aus
  - Frage: Wo ist das noch benutzt?



# Anbindung von Endsysteme: DSL

## ■ DSL: Digital Subscriber Line

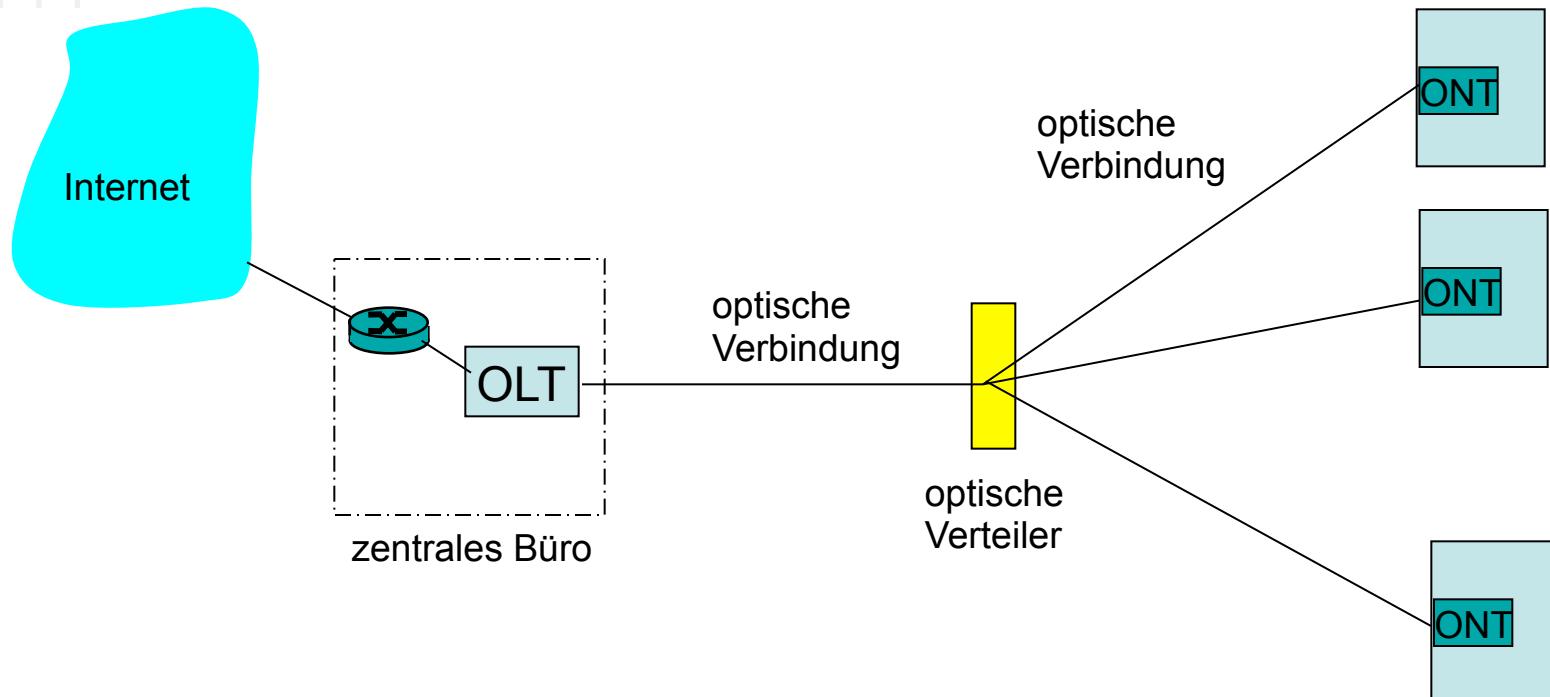
- Anbieter: Telefongesellschaften (üblicherweise)
- Bis zu 1 Mbit/s upstream (in das Netzwerk)
- Bis zu 16 Mbit/s downstream (aus dem Netzwerk)
- Mitverwendung der Telefonleitung
- Dedizierte Verbindung fürs Enduser
- Klientennummer von der Leitungslänge limitiert



# Anbindung von Endsystemen: Kabelmodem

- Kabelmodem:  
**HFC = Hybrid Fiber Coaxial Netzwerk**  
Koaxial- und Glasfaserkabeln binden die Haushalte an die Router des ISP an
  - Asymmetrisch: bis zu 30 Mbit/s downstream, 2 Mbit/s upstream
  - Viele Haushalte **teilen sich diesen Zugang**

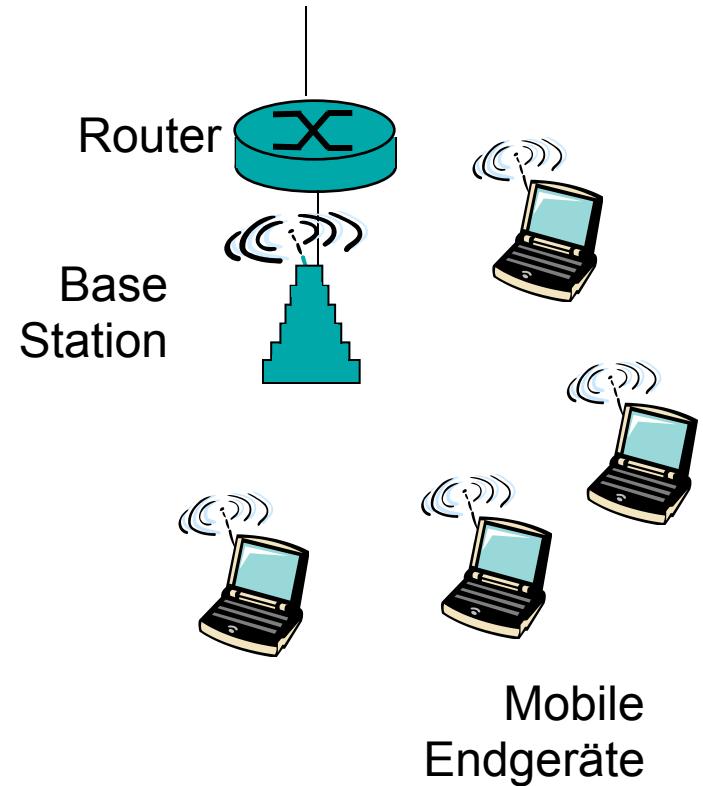
# FttH: Fiber to the Home

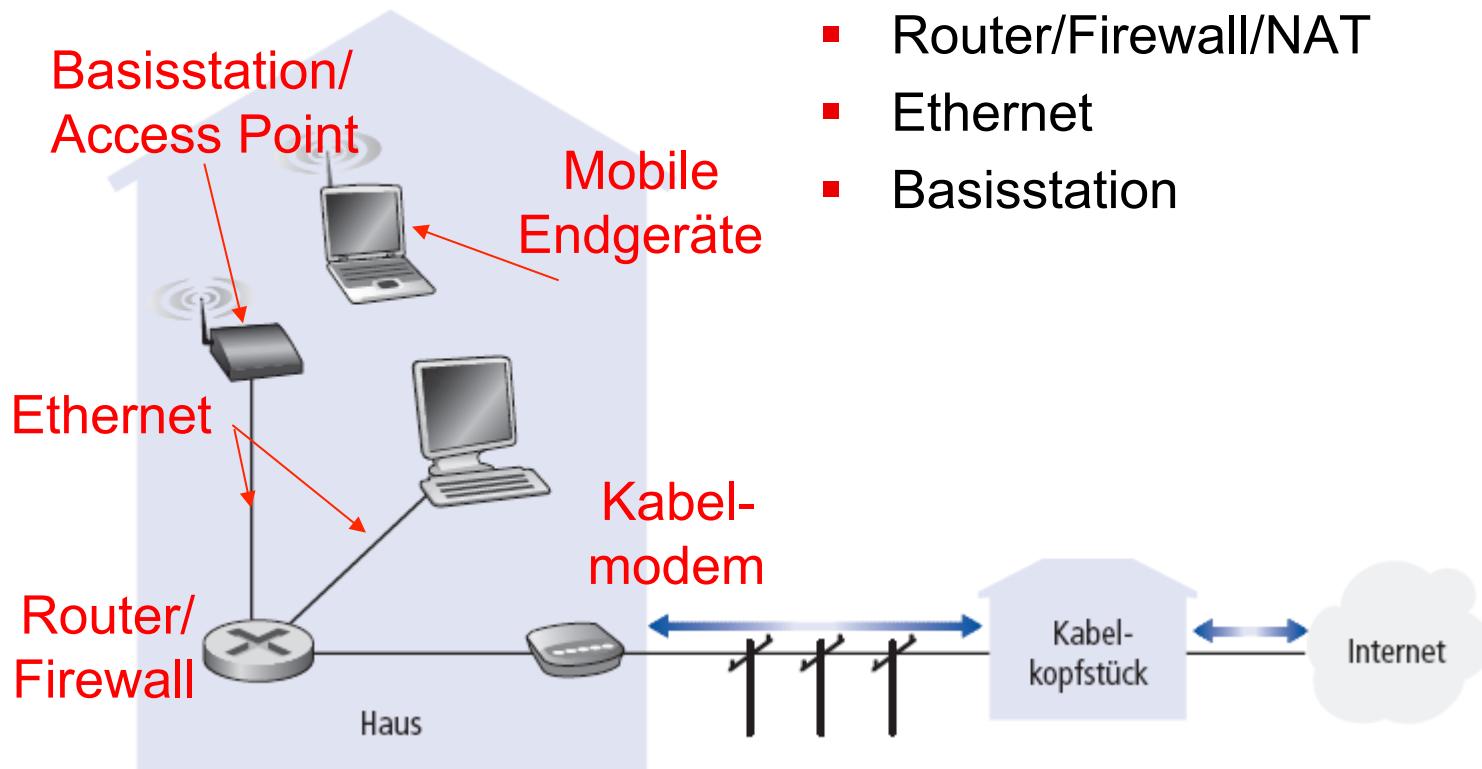


- optischen Verbindungen von dem zentralen Büro zu den Haushalte
- zwei Technologien:
  - Passive Optical network (PON)
  - Active Optical Network (PAN)
- Datenübertragungrate viel höher; also mit TV und Telefon

# Drahtlose Zugangsnetzwerke

- Drahtlose Zugangsnetzwerke verbinden Endsysteme mit einem Router
  - Über eine Basisstation (auch „Access Point“)
- Drahtlose Weitverkehrsnetze
  - Durch Serviceprovider (z.B. T-Mobile, O2, E-plus etc.) bereitgestellt
  - ~1 Mbit/s in zellulären Systemen (EVDO, HSDPA)
  - In Zukunft (?): WiMAX (mehrere 10 Mbit/s) im Weitverkehrsbereich





- **Bit:** wird von einem Sender zu einem Empfänger übertragen
- **Leitung:** das, was sich zwischen Sender und Empfänger befindet
- **Gerichtete Medien:**
  - Signale breiten sich in festen Medien in eine Richtung aus:  
Kupfer-, Glasfaser-, Koaxialkabel
- **Ungerichtete Medien:**
  - Signale breiten sich frei aus:  
Funk, Mikrowellen

## Twisted Pair (TP)

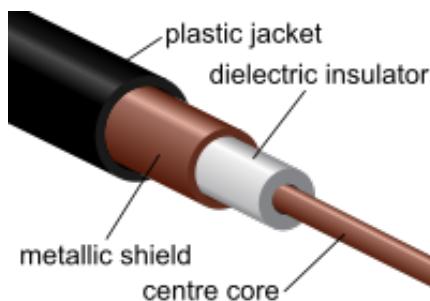
- Zwei isolierte Kupferleiter
  - Kategorie 3: Telefonkabel, 10 Mbit/s Ethernet
  - Kategorie 5: 100 Mbit/s Ethernet



# Physikalische Medien: Koaxial- und Glasfaserkabel

## Koaxialkabel:

- Zwei konzentrisch angeordnete Kupferleiter
- Bidirektional
- Basisband:
  - Ein Kanal auf dem Kabel
  - „Altes“ Ethernet
- Breitband:
  - Mehrere Kanäle auf dem Kabel
  - HFC



## Glasfaserkabel:

- Glasfaserkabel übertragen Lichtpulse, jeder Puls ist ein Bit
- Hohe Geschwindigkeit:
  - Mehrere 10 Gbit/s – mehrere 100 Gbit/s
- Geringe Fehlerrate; unempfindlich gegen elektromagnetische Störer



- Signal wird von elektromagnetischen Wellen übertragen
- Kein „Draht“, deswegen drahtlose Kommunikation
- Bidirektional
- Signalausbreitung wird von der Umgebung beeinflusst:
  - Reflexion
  - Abschattung durch Hindernisse
  - Interferenz

## Arten von Funk:

- **Mikrowelle**
  - Kanäle mit bis zu 45 Mbit/s
- **WLAN** (auch Wifi)
  - 11 Mbit/s, 54 Mbit/s
- **Weitverkehr** (zellulär)
  - 3G/UMTS: ~ 1 Mbit/s
- **Satellit**
  - Kanäle mit bis zu 45 Mbit/s (oder mehrere kleine Kanäle)
  - 270 ms Ende-zu-Ende-Verzögerung
  - Geostationär oder Satelliten in geringer Höhe

# Kapitel 1: Orientierung

1.1 Was ist das Internet?

1.2 Geschichte der Computernetzwerke

1.3 Randsbereich des Netzwerkes

- Endsysteme, Zugangsnetzwerke, Leitungen

1.4 Inneres des Netzwerkes

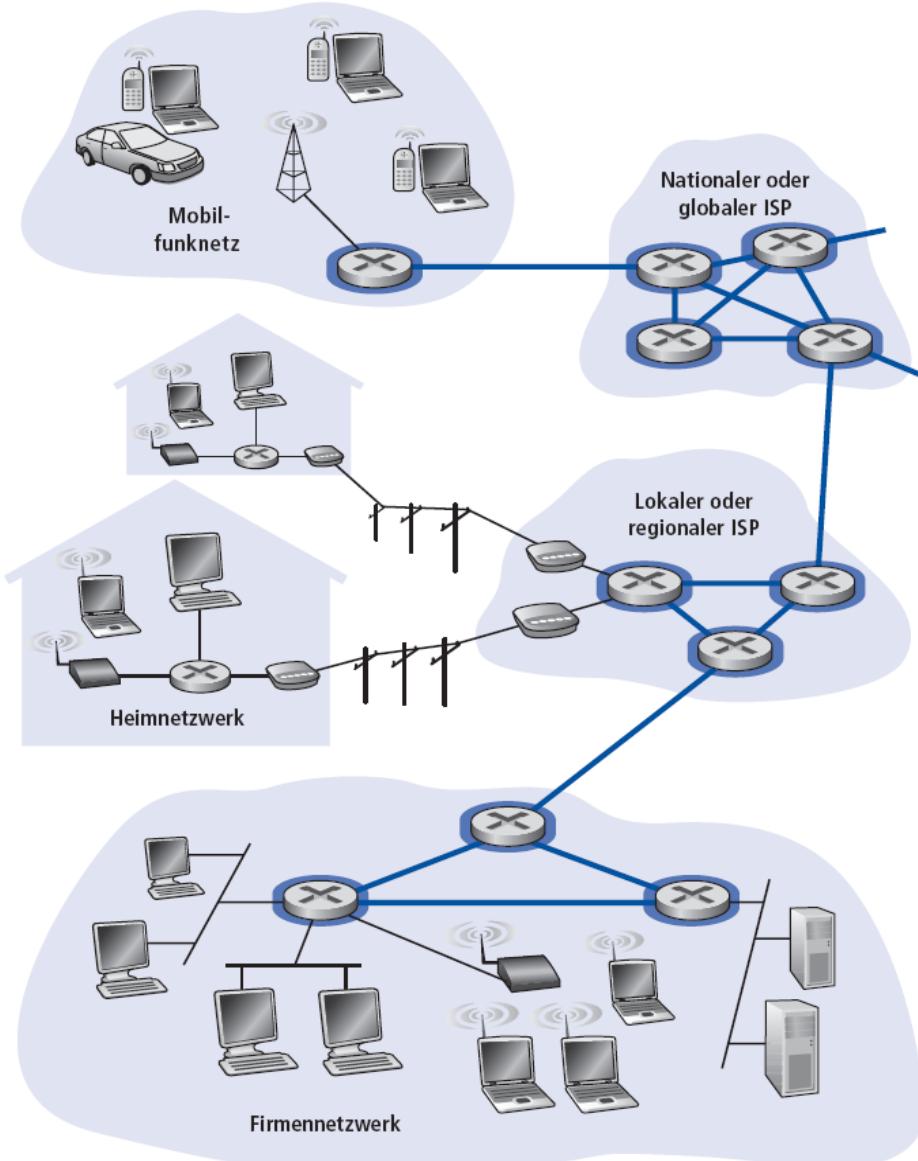
- Leitungs- und Paketvermittlung, Netzwerkstruktur

1.5 Verzögerung, Verlust und Durchsatz in paketvermittelten  
Netzwerken

1.6 Protokollsichten, Dienste

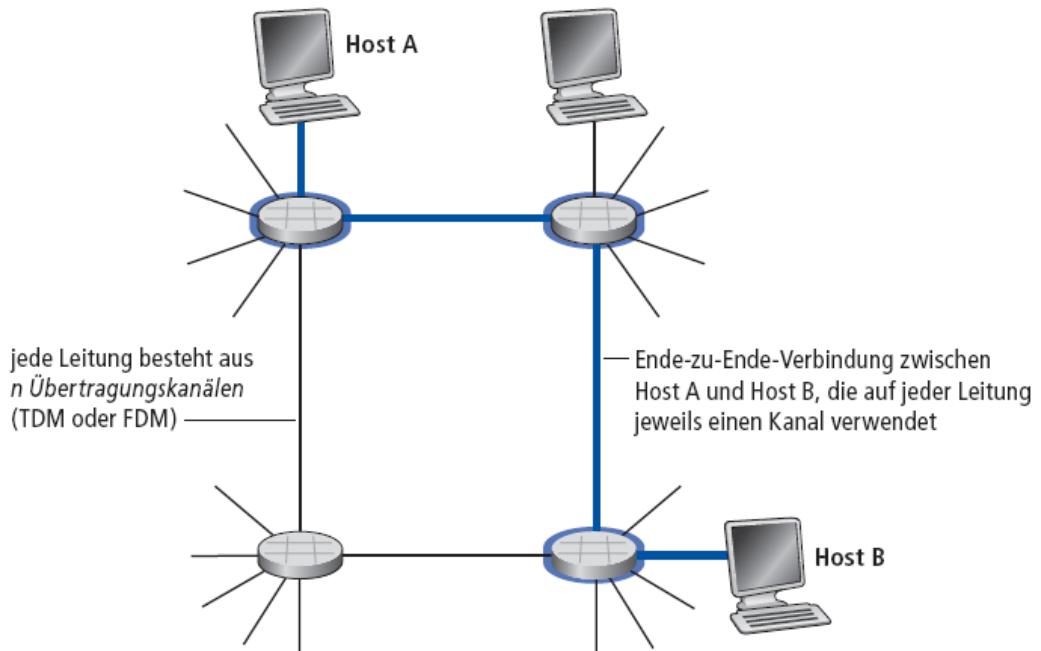
# Das Innere des Netzwerkes

- Viele, untereinander verbundene Router
- **Die zentrale Frage:** Wie werden Daten durch das Netzwerk geleitet?
  - **Leitungsvermittlung:** eine dedizierte Leitung wird für jeden Ruf geschaltet: Telefonnetz
  - **Paketvermittlung:** Daten werden in diskreten Einheiten durch das Netzwerke geleitet: Internet



Ende-zu-Ende-Ressourcen werden für einen Ruf reserviert

- Bandbreite auf Leitungen, Kapazität in Routern
- Dedizierte Ressourcen: keine gemeinsame Nutzung
- Garantierte Dienstgüte wie beim “Durchschalten” einer physikalischen Verbindung
- Vor dem Austausch von Daten müssen die notwendigen Ressourcen reserviert werden



Netzwerkressourcen (z.B.  
Bandbreite) werden in  
Einheiten aufgeteilt

- Einheiten werden Rufen zugewiesen
- Einheiten bleiben ungenutzt, wenn sie von ihrem Ruf nicht verwendet werden (*keine gemeinsame Nutzung von Ressourcen*)
- Wie teilt man die Bandbreite einer Leitung in Einheiten auf?
  - Frequenzmultiplex (Frequency Division Multiplex, FDM)
  - Zeitmultiplex (Time Division Multiplex, TDM)

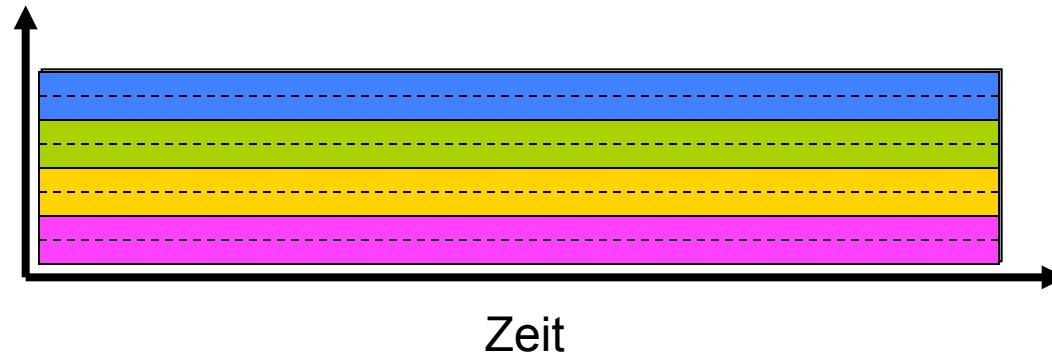
# Leitungsvermittlung: FDM und TDM

Beispiel:

FDM

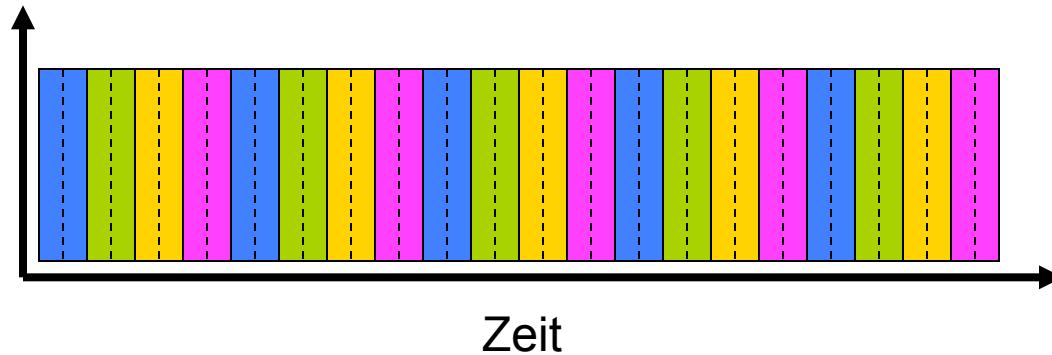
Frequenz

4 Nutzer



TDM

Frequenz



# Ein Beispiel

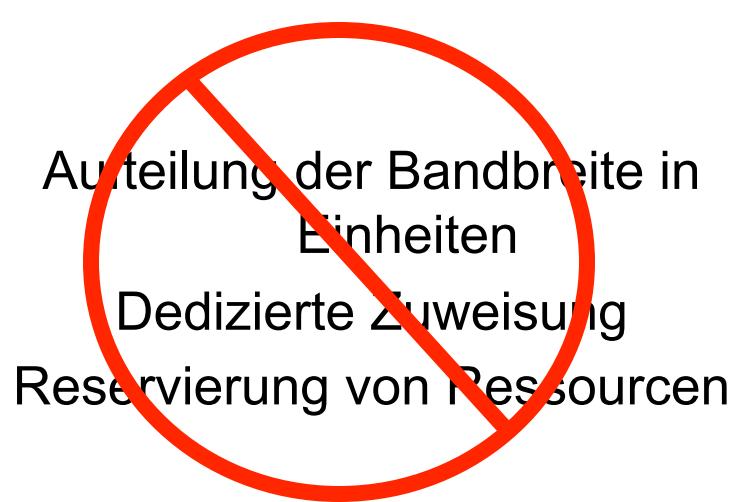
- Wie lange dauert es, eine Datei mit 640.000 Bit von A nach B über ein leitungsvermitteltes Netzwerk zu übertragen?
  - Alle Leitungen haben eine Bandbreite von 1.536 Mbit/s
  - Alle Leitungen nutzen TDM mit 24 Zeitschlitten/Sekunde
  - 500 ms werden benötigt, um die Ende-zu-Ende-Leitung zu schalten

# Ein Beispiel

- 500 ms für die Schaltung
- Wenn man einen Zeitschlitz für die Übertragung zugewiesen bekommt, dann erhält man die Datenrate von 1.536.000 Bit/s geteilt durch 24, dies sind 64.000 Bit/s
- Um 640.000 Bits zu übertragen, braucht man dann 10 Sekunden
- Ergebnis: 10,5 Sekunden unter Vernachlässigung der Ausbreitungsverzögerung (später mehr dazu)

Jeder Ende-zu-Ende-Datenstrom  
wird in Pakete aufgeteilt

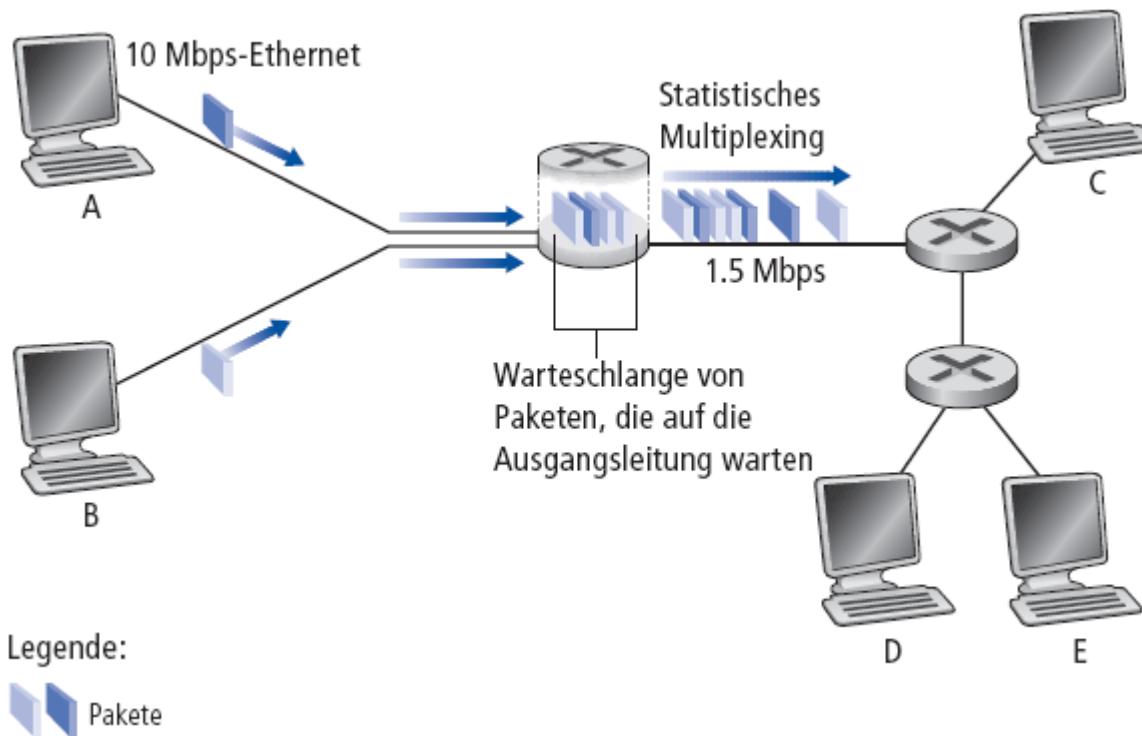
- Die Pakete aller Nutzer teilen sich die Netzwerkressourcen
- Jedes Paket nutzt die volle Bandbreite der Leitung
- Ressourcen werden nach Bedarf verwendet



## Wettbewerb um Ressourcen:

- Die Nachfrage nach Ressourcen kann das Angebot übersteigen
- Überlast: Pakete werden zwischengespeichert und warten darauf, eine Leitung benutzen zu können
- **Store and Forward:** Pakete durchqueren eine Leitung nach der anderen
  - Knoten (z.B. Router) empfangen ein komplettes Paket, bevor sie es weiterleiten

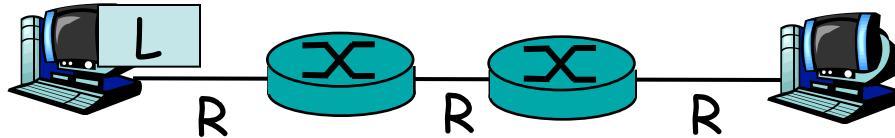
# Paketvermittlung: statistisches Multiplexing



Die Folge von Paketen auf der Leitung hat kein festes Muster, die Bandbreite wird nach Bedarf verteilt → **statistisches Multiplexing**

TDM: Jede Verbindung erhält immer den gleichen Zeitrahmen in einem sich wiederholenden Muster

# Paketvermittlung: Store and Forward



- Es dauert  $L/R$  Sekunden, um ein Paket von  $L$  Bits auf einer Leitung mit der Rate  $R$  bps zu übertragen
- ***Store and Forward:*** Das gesamte Paket muss bei einem Router angekommen sein, bevor es auf der nächsten Leitung übertragen werden kann
- Verzögerung =  $3L/R$  (wenn die Ausbreitungsverzögerung vernachlässigt wird)

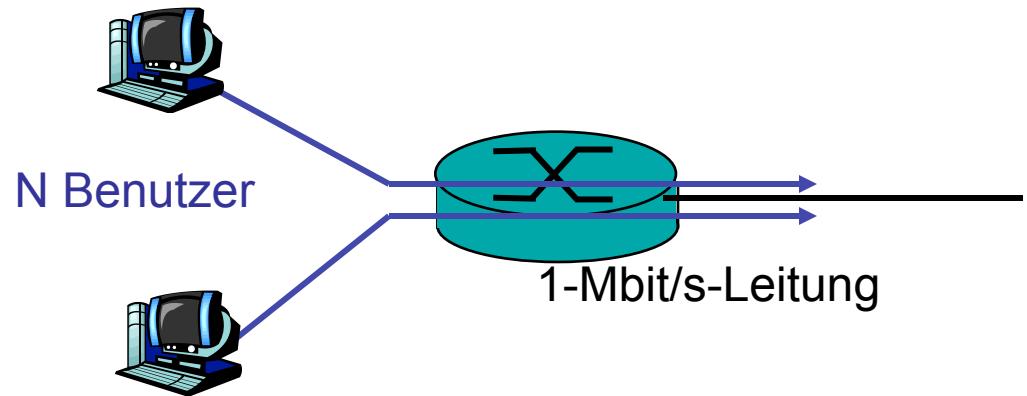
## Beispiel:

- $L = 7,5 \text{ Mbits}$
- $R = 1,5 \text{ Mbit/s}$
- Übertragungsverzögerung =  $15 \text{ s}$

Mehr über Verzögerungen in Kürze ...

*Paketvermittlung nutzt die Ressourcen häufig besser aus!*

- Leitung mit 1 Mbit/s
- Jeder Benutzer:
  - 100 kbit/s, wenn aktiv
  - 10% der Zeit aktiv
- *Leitungsvermittlung:*
  - 10 Benutzer
- *Paketvermittlung:*
  - Mit 35 Benutzern ist die Wahrscheinlichkeit für mehr als 10 aktive Benutzer zur gleichen Zeit kleiner als 0,0004



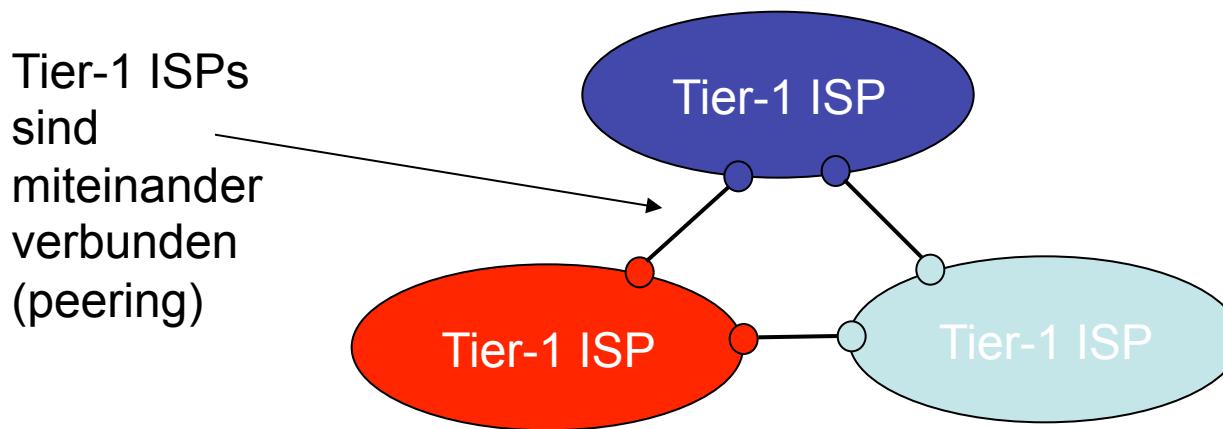
## Ist Paketvermittlung generell besser?

- Sehr gut für unregelmäßigen Verkehr (bursty traffic)
  - Gemeinsame Verwendung von Ressourcen
  - Einfacher, keine Reservierungen
- **Problem Überlast:** Verzögerung und Verlust von Paketen
  - Protokolle für zuverlässigen Datentransfer und Überlastkontrolle werden benötigt
- **Frage: Wie kann man leitungsähnliches Verhalten bereitstellen?**
  - Bandbreitengarantien werden gebraucht für Audio- und Videoanwendungen
  - Ungelöstes Problem (siehe Kapitel 7)

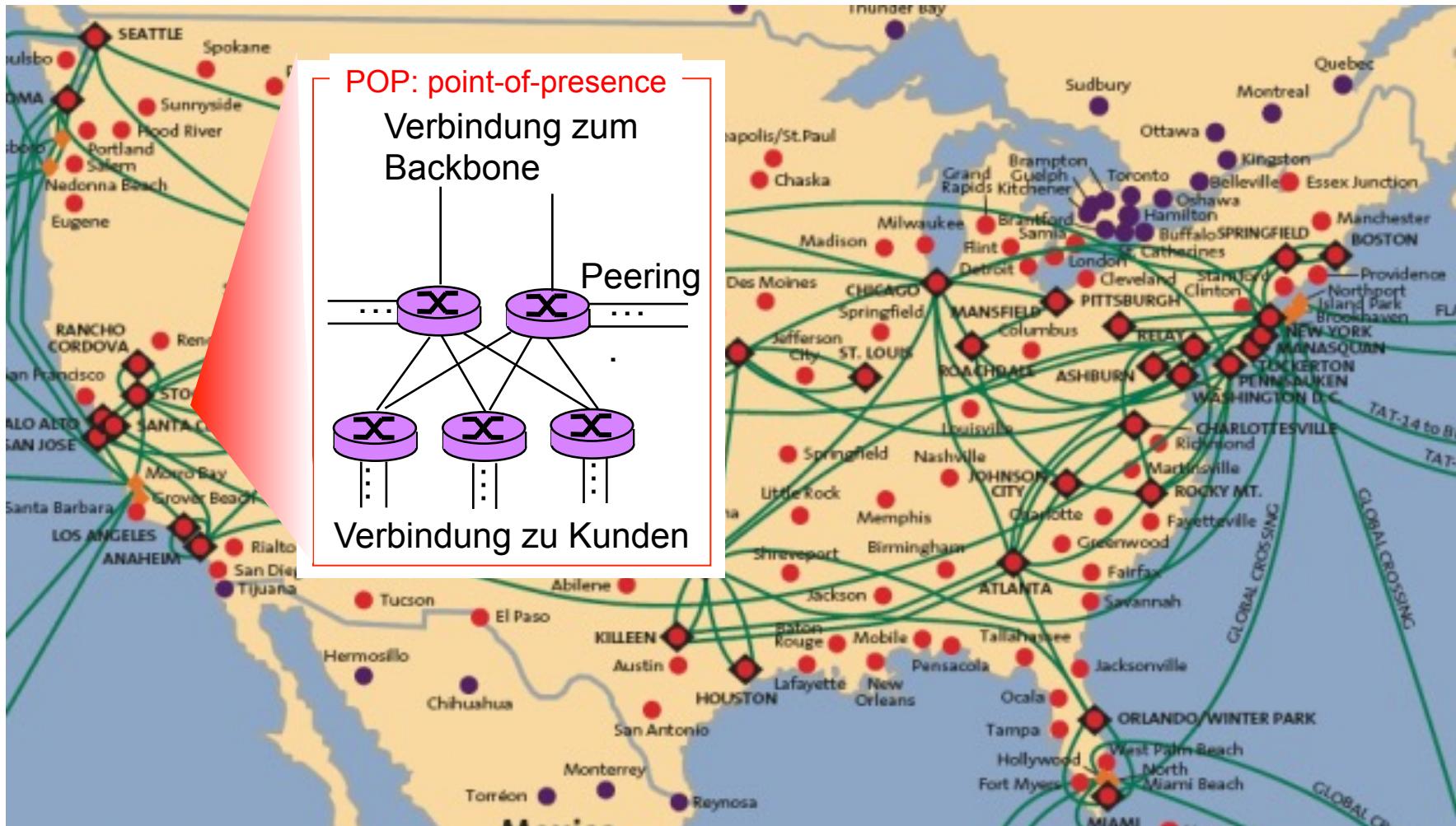
Diskussion: Gibt es Analogien zur Leitungsvermittlung und Paketvermittlung in der menschlichen Kommunikation?

# Struktur des Internets: Netzwerk von Netzwerken

- Grob hierarchisch
- Im Zentrum: “Tier-1” Internet Service Providers (ISPs)  
(Beispiele: Verizon, SprintLink, AT&T, Level 3)
  - Behandeln sich als gleichberechtigte Partner
  - Sind vollständig miteinander verbunden



# Tier-1 ISP

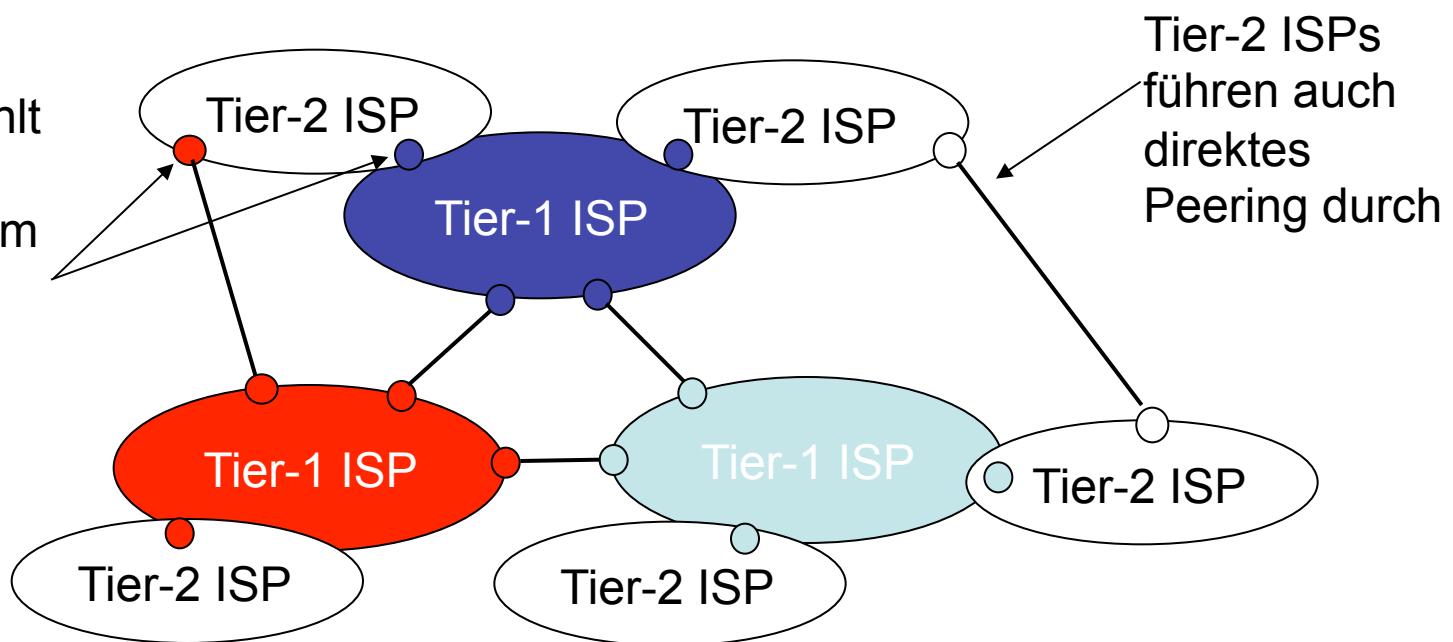


- transit-frei
- Beispiel: Level 3 Communications

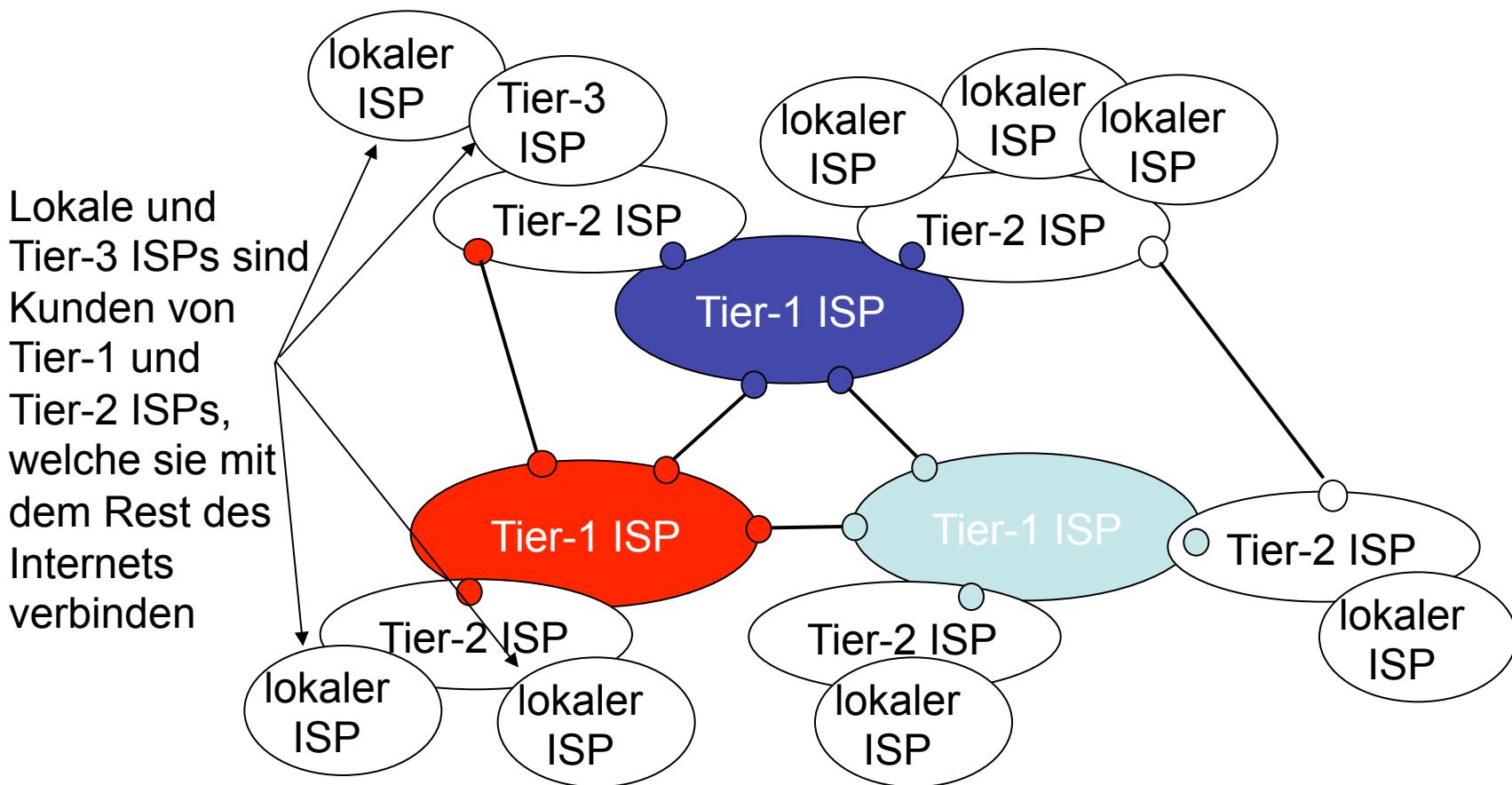
# Struktur des Internets

- “Tier-2” ISPs: kleinere, oft nationale oder regionale ISPs
  - Sind mit einem oder mehreren Tier-1 ISPs verbunden, oft auch mit anderen Tier-2 ISPs

Tier-2 ISP bezahlt  
Tier-1 ISP für  
Konnektivität zum  
Rest des  
Internets: Tier-2  
ISP ist Kunde  
eines Tier-1 ISP

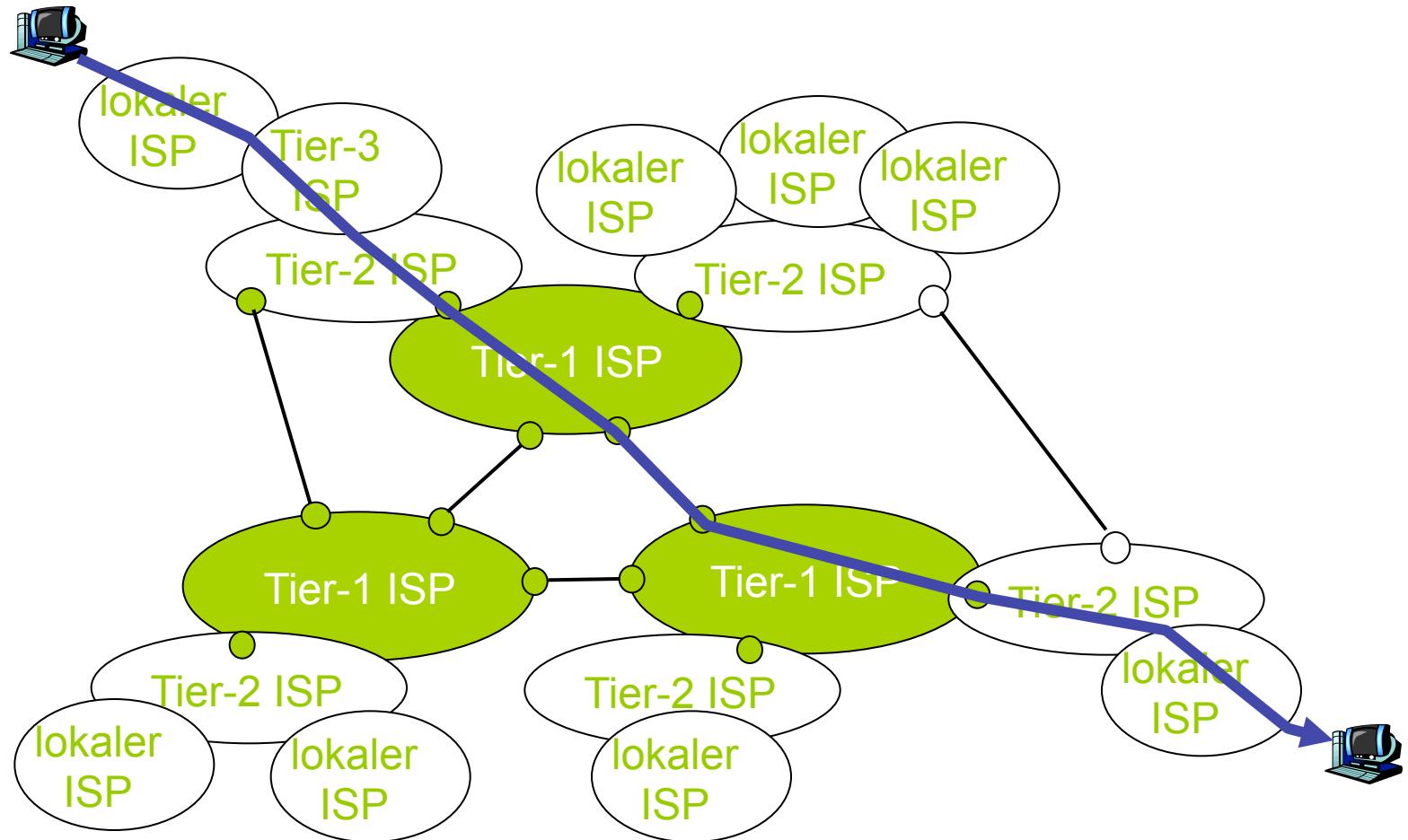


- “Tier-3” ISPs und lokale ISPs
  - Zugangsnetzwerke (last hop, access network)

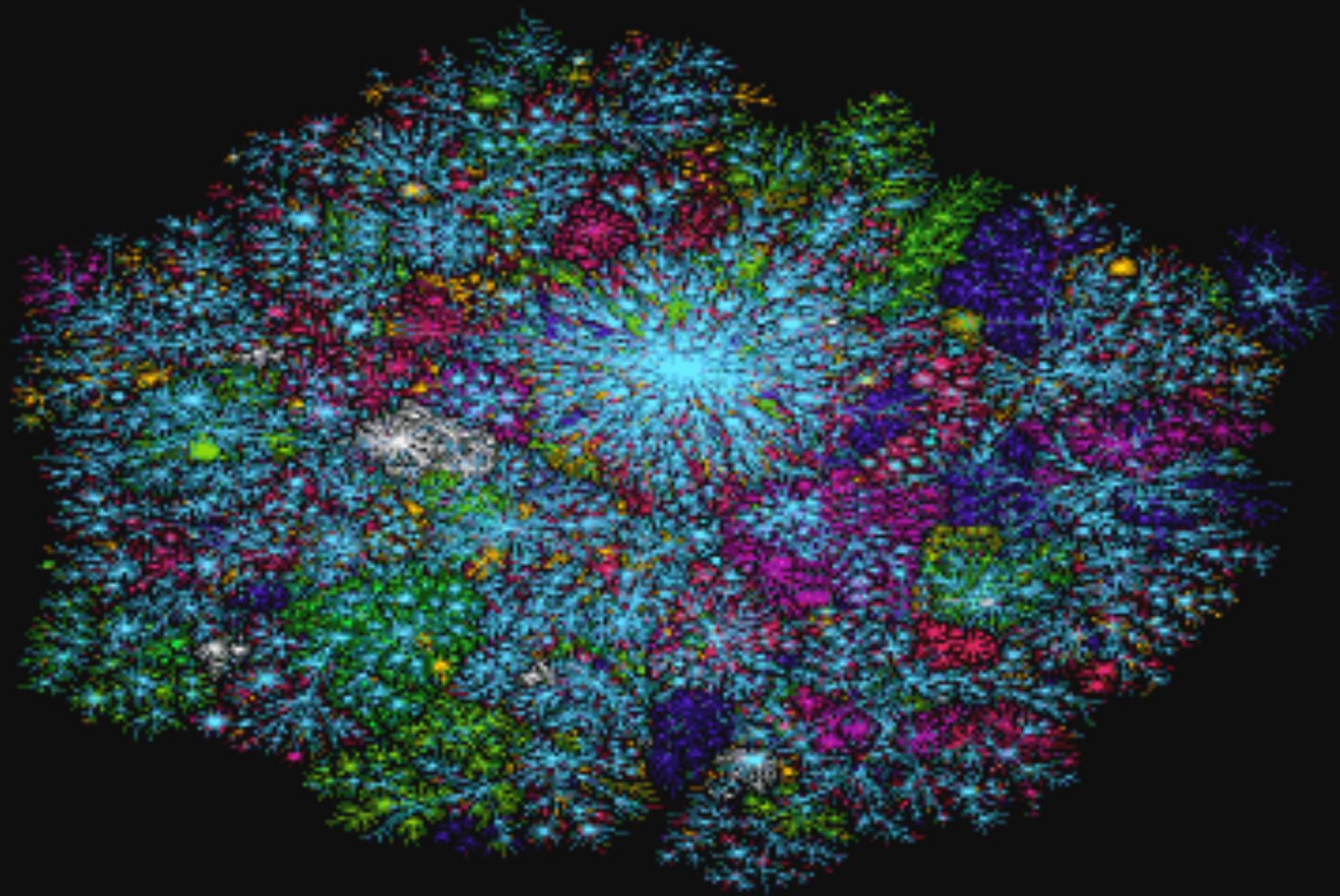


# Struktur des Internets

- Ein Paket durchquert viele Netzwerke!



# THE WHOLE INTERNET



# Kapitel 1: Orientierung

1.1 Was ist das Internet?

1.2 Geschichte der Computernetzwerke

1.3 Randsbereich des Netzwerkes

- Endsysteme, Zugangsnetzwerke, Leitungen

1.4 Inneres des Netzwerkes

- Leitungs- und Paketvermittlung, Netzwerkstruktur

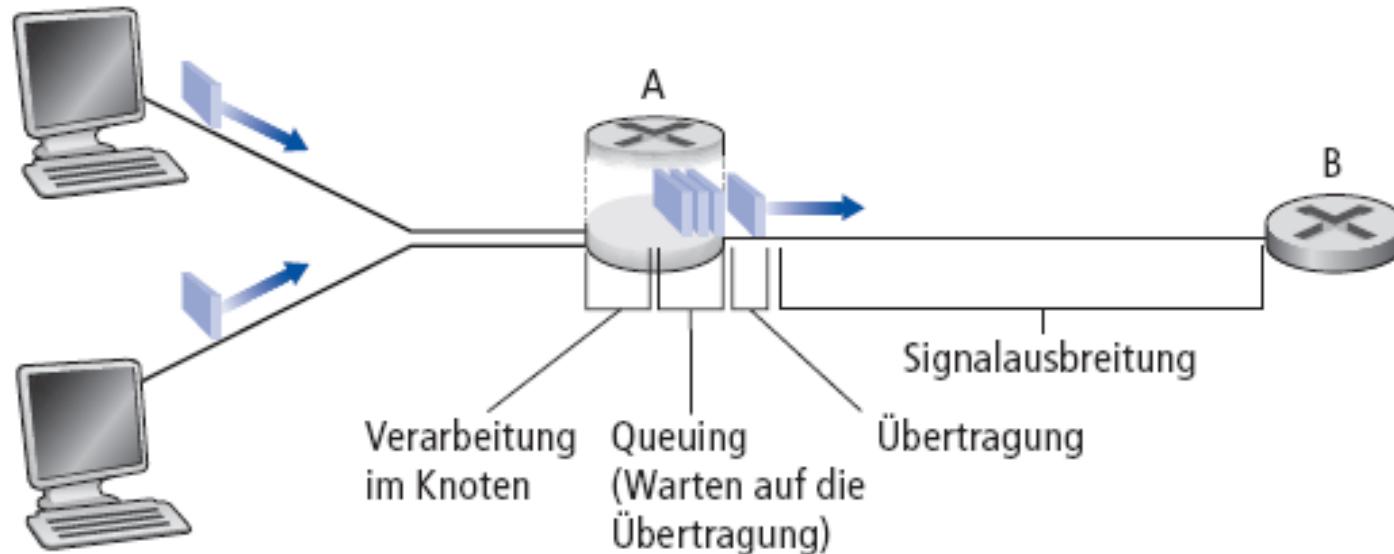
1.5 Verzögerung, Verlust und Durchsatz in paketvermittelten  
Netzwerken

1.6 Protokollsichten, Dienste

# Wie entstehen Paketverluste und Verzögerungen?

Pakete warten in den Puffern von Routern

- ... wenn die Ankunftsrate die Kapazität der Ausgangsleitungen übersteigt



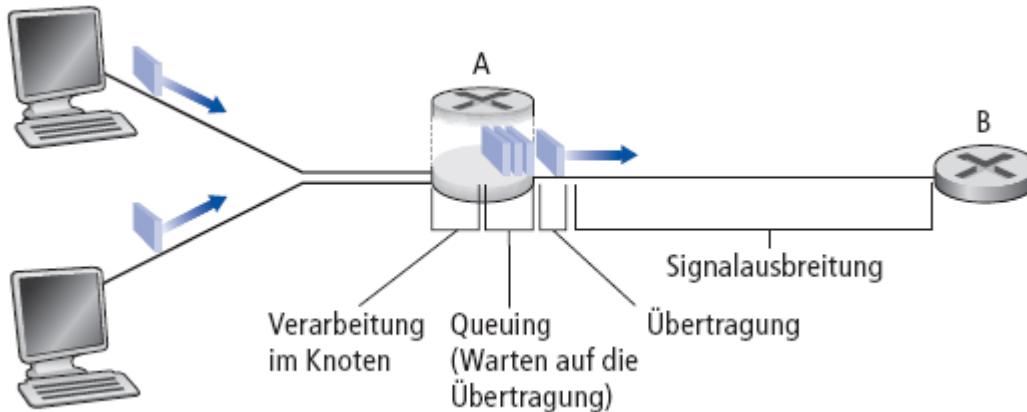
# Vier Quellen der Verzögerung

## 1. Verarbeitung im Knoten:

- Auf Bitfehler prüfen
- Wahl der ausgehenden Leitung = routing

## 2. Warten auf die Übertragung

- Wartezeit, bis das Paket auf die Ausgangsleitung gelegt werden kann
- Hängt von der Last auf der Ausgangsleitung ab



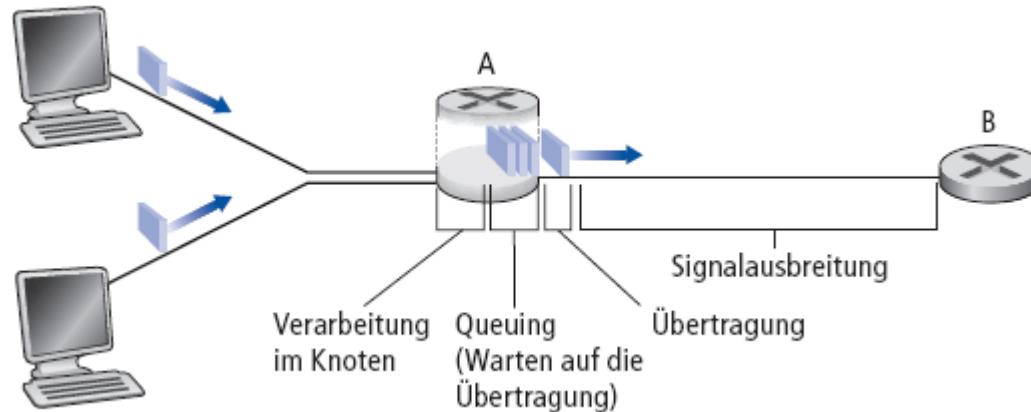
# Vier Quellen der Verzögerung

## 3. Übertragungsverzögerung:

- $R$  = Bandbreite einer Leitung (Bit/s)
- $L$  = Paketgröße (Bit)
- Übertragungsverzögerung =  $L/R$

## 4. Ausbreitungsverzögerung:

- $d$  = Länge der Leitung
- $s$  = Ausbreitungsgeschwindigkeit des Mediums ( $\sim 2 \times 10^8$  m/s)
- Ausbreitungsverzögerung =  $d/s$



# Gesamtverzögerung

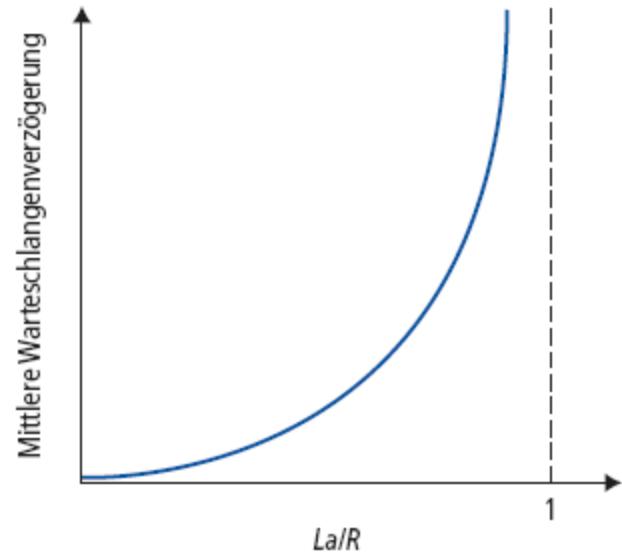
$$d_{\text{gesamt}} = d_{\text{Verarbeitung}} + d_{\text{Warten}} + d_{\text{Übertragung}} + d_{\text{Ausbreitung}}$$

- $d_{\text{Verarbeitung}}$  = Verarbeitungsverzögerung
  - Üblicherweise wenige Mikrosekunden oder weniger
- $d_{\text{Warten}}$  = Wartezeit in Puffern
  - Abhängig von der aktuellen Überlastsituation
- $d_{\text{Übertragung}}$  = Übertragungsverzögerung
  - =  $L/R$ , signifikant wenn  $R$  klein ist
- $d_{\text{Ausbreitung}}$  = Ausbreitungsverzögerung
  - Wenige Mikrosekunden bis einige hundert Millisekunden

# Wartezeit in Puffern – genauer

- $R$  = Bandbreite (Bit/s)
- $L$  = Paketgröße (Bit)
- $a$  = durchschnittliche Paketankunftsrate

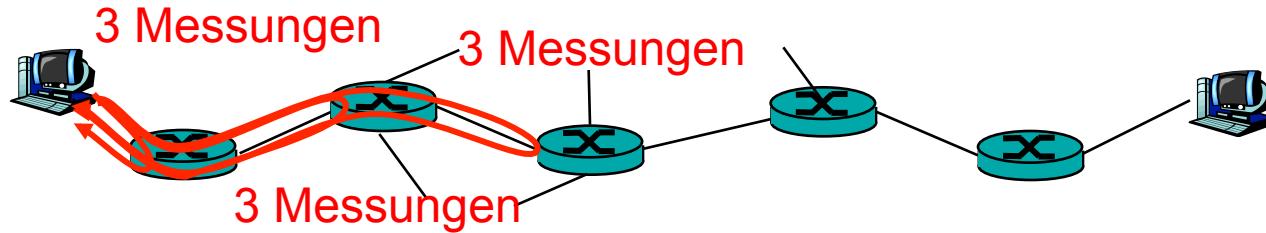
Verkehrswert =  $La/R$



- $La/R \sim 0$ : Wartezeit gering
- $La/R \rightarrow 1$ : Wartezeit steigt stark an
- $La/R > 1$ : durchschnittliche Wartezeit ist unendlich!

# “Echte” Verzögerungen im Internet

- Wie sehen echte Verzögerungen im Internet aus?
- **Traceroute:** Misst die Verzögerung von einer Quelle zu allen Routern auf dem Weg zu einem Ziel. Für alle Router  $i$ :
  - Sende drei Pakete, die  $i$  auf dem Pfad zum Sender erreichen
  - Router  $i$  schickt als Reaktion Pakete an den Sender
  - Sender misst die Zeit zwischen Senden des eigenen Paketes und Empfang des Paketes vom Router



# “Echte” Verzögerungen im Internet

traceroute: gaia.cs.umass.edu nach www.eurecom.fr

Drei Messungen von gaia.cs.umass.edu aus nach cs-gw.cs.umass.edu

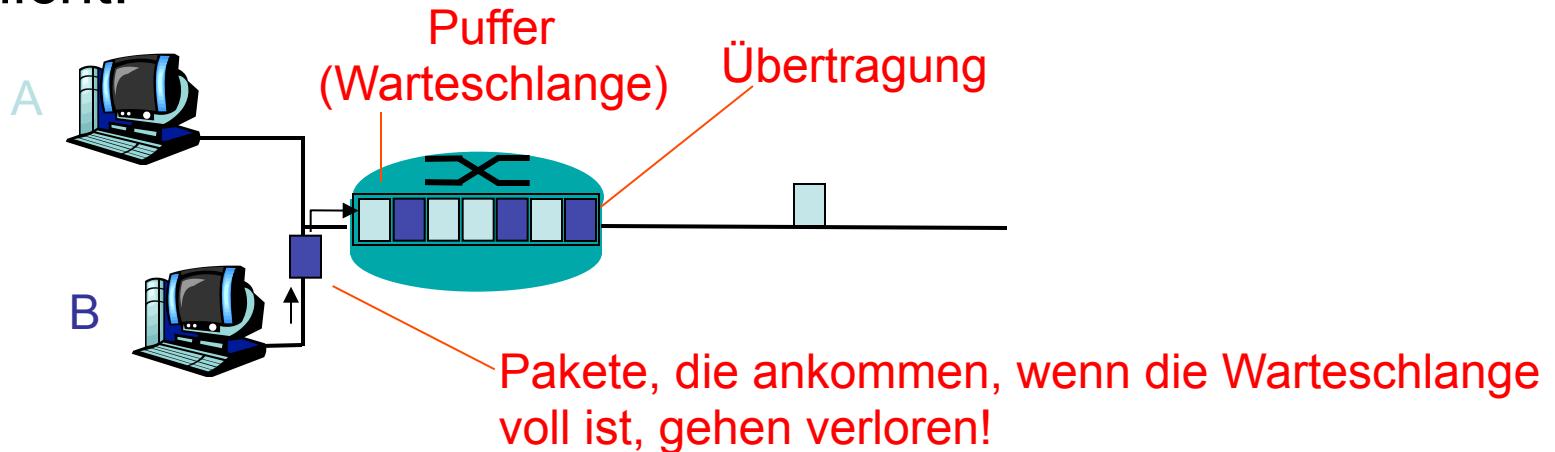


Transatlantik-  
verbindung



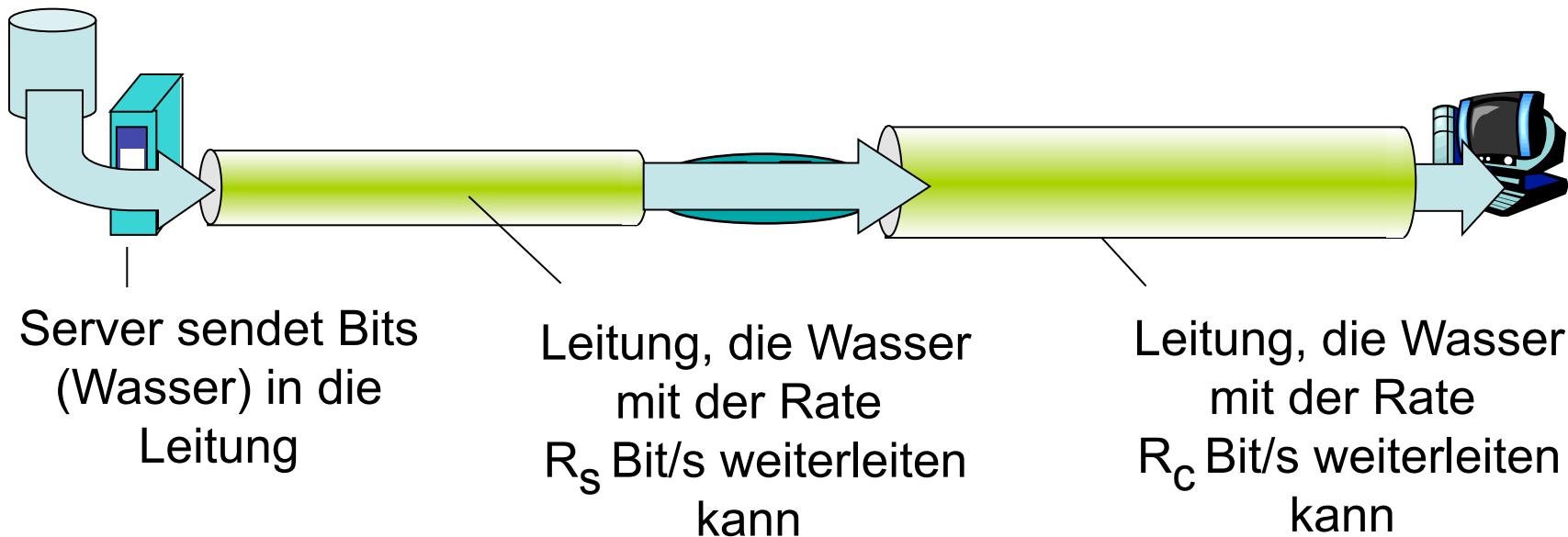
1	cs-gw (128.119.240.254)	1 ms	1 ms	2 ms
2	border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145)	1 ms	1 ms	2 ms
3	cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130)	6 ms	5 ms	5 ms
4	jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129)	16 ms	11 ms	13 ms
5	jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136)	21 ms	18 ms	18 ms
6	abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (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	***	keine Antwort (Anfrage ging verloren, Router antwortet nicht)		
19	fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)	132 ms	128 ms	136 ms

- Warteschlange vor einer Ausgangsleitung hat endlich viele Pufferplätze
- Wenn alle Pufferplätze belegt sind, werden neu ankommende Pakete verworfen: **Paketverlust**
- Verlorene Pakete können vom vorangegangenen Knoten oder vom Sender erneut übertragen werden – oder auch gar nicht!



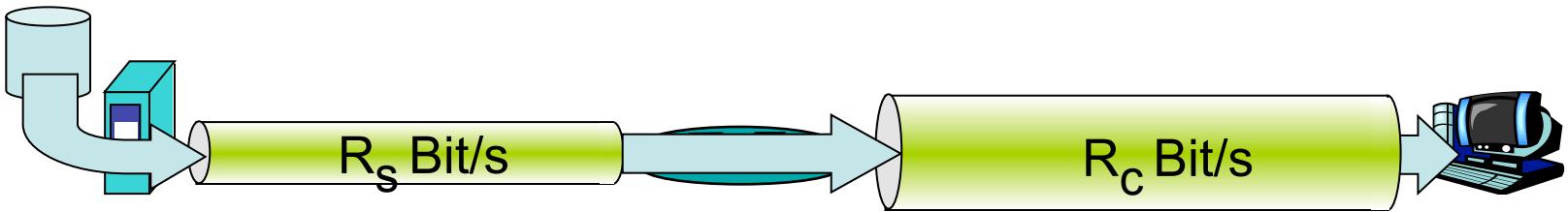
# Durchsatz

- **Durchsatz:** Rate (Bit/Zeiteinheit), mit der Daten zwischen Sender und Empfänger ausgetauscht werden
  - **Unmittelbar:** Rate zu einem gegebenen Zeitpunkt
  - **Durchschnittlich:** Rate über einen längeren Zeitraum

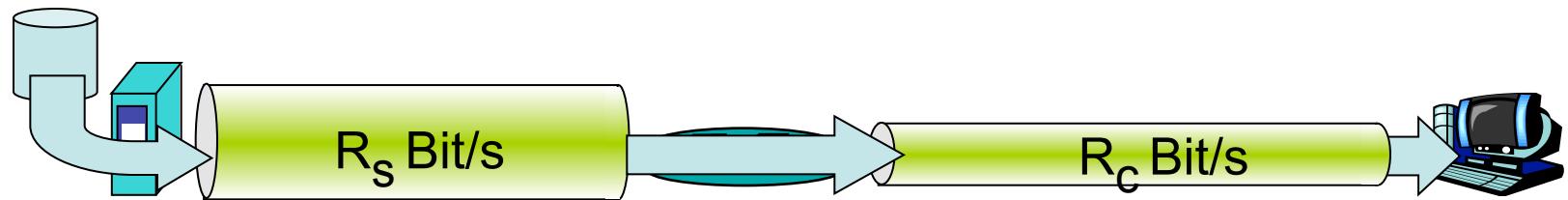


# Durchsatz

- $R_s < R_c$  Was ist der durchschnittliche Ende-zu-Ende-Durchsatz?



- $R_s > R_c$  Was ist der durchschnittliche Ende-zu-Ende-Durchsatz?



## Engpass (bottleneck)

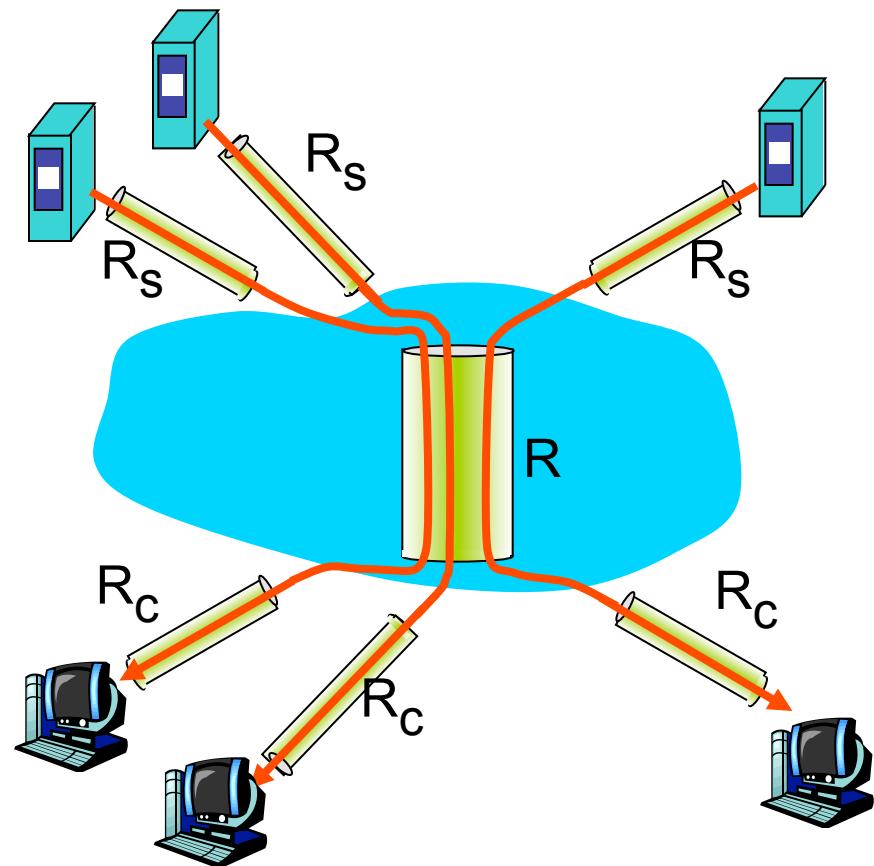
Die Leitung auf dem Ende-zu-Ende-Pfad, welche den Ende-zu-Ende-Durchsatz begrenzt

# Maßeinheiten für die Datenrate

- $1 \text{ kbit/s} = 1 \text{ kb/s} = 1 \text{ kbps} = 1.000 \text{ bit/s}$ 
  - $1 \text{ kBps} = 8 \text{ kbps} = 8000 \text{ bit/s}$
  - **Wisst Ihr warum 8 bit?**
- $1 \text{ Mbit/s} = 1 \text{ Mbps} = 1.000.000 \text{ bit/s}$
- $1 \text{ Gbit/s} = 1 \text{ Gbps} = 1.000.000.000 \text{ bit/s}$

# Durchsatz im Internet

- Durchsatz für Ende-zu-Ende-Verbindungen:  
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- In der Realität: Häufig sind  $R_c$  oder  $R_s$  die Engpässe



10 Verbindungen teilen sich den Engpass des Backbone-Netzwerkes

# Noch mal

Drei wichtige Eigenschaften einer Verbindung

- Verzögerung (delay)
- Verlust (packet loss)
- Durchsatz (bandwidth)

und noch eine später in Kapitel 7

- Jitter (jitter)

# Kapitel 1: Orientierung

---

1.1 Was ist das Internet?

1.2 Geschichte der Computernetzwerke

1.3 Randsbereich des Netzwerkes

- Endsysteme, Zugangsnetzwerke, Leitungen

1.4 Inneres des Netzwerkes

- Leitungs- und Paketvermittlung, Netzwerkstruktur

1.5 Verzögerung, Verlust und Durchsatz in paketvermittelten  
Netzwerken

1.6 Protokollsichten, Dienste

## Netzwerke sind komplex!

- Viele Elemente:
  - Software
    - Anwendungen
    - Protokolle
  - Hardware,
    - Hosts
    - Router
    - Leitungen auf Basis verschiedener Medien

## Frage:

Kann die Funktionalität von Netzwerken vernünftig strukturiert werden?

Oder: Können wir wenigstens unsere Betrachtung von Netzwerken strukturieren?

# Warum Schichten?

## Umgang mit komplexen Systemen:

- Strukturierung ermöglicht die Identifikation und das Verständnis des Zusammenspiels einzelner Bestandteile des Systems
  - **Referenzmodell** für die Diskussion des Systems
- Modularisierung vereinfacht die Wartung und das Arbeiten mit dem System:
  - Änderungen an der Implementierung einer Schicht sind transparent für den Rest des Systems
  - Beispiel: Eine Veränderung der Einsteigeprozедur am Gate beeinflusst nicht den Rest des Systems
- Kann die Bildung von Schichten auch negative Auswirkungen haben?

# Protokollstapel des Internets

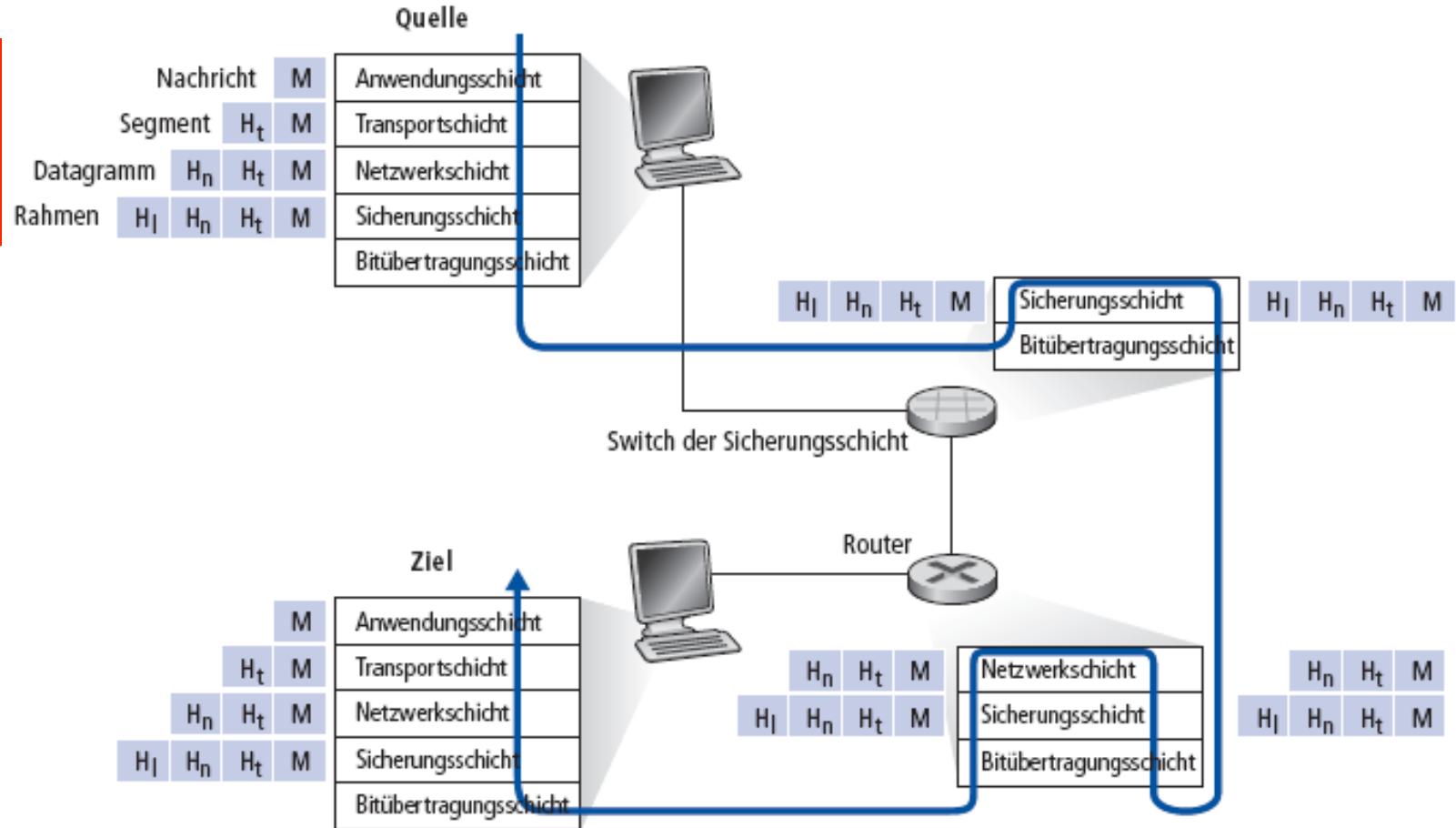
OSI-ISO-Modell	TCP/IP-Modell	Protokolle	Alternativen
7. Anwendungsschicht	Anwendungsschicht	HTTP	FTP, SMTP
6. Darstellungsschicht			
5. Sitzungsschicht			
4. Transportschicht	Transportschicht	TCP	UDP, ICMP
3. Vermittlungsschicht	Internetschicht	IP	IP
2. Sicherungsschicht	Netzzugangsschicht	Ethernet	PPP, FDDI
1. Bitübertragungsschicht			

- **Anwendungsschicht:** Unterstützung von Netzwerkanwendungen
  - FTP, SMTP, HTTP
- **Transportschicht:** Datentransfer zwischen Prozessen
  - TCP, UDP
- **Netzwerkschicht (auch Vermittlungsschicht):** Weiterleiten der Daten von einem Sender zu einem Empfänger
  - IP, Routing-Protokolle
- **Netzzugangsschicht:** Datentransfer zwischen benachbarten Netzwerksystemen
  - Ethernet, PPP, Frame Relay

- **Darstellungsschicht:** Ermöglicht es Anwendungen, die Bedeutung von Daten zu interpretieren, z.B. Verschlüsselung, Kompression, Vermeidung systemspezifischer Datendarstellung
- **Kommunikationssteuerungsschicht:** Synchronisation, Setzen von Wiederherstellungspunkten
- **Sicherungsschicht:** Datentransfer zwischen benachbarten Netzwerksystemen
  - PPP, Ethernet
- **Bitübertragungsschicht:** Bits auf der Leitung
- Der Protokollstapel des Internets bietet diese Funktionalitäten nicht!
  - Wenn benötigt, müssen sie von der Anwendung implementiert werden
  - Werden sie wirklich benötigt?

# Kapselung (Encapsulation)

data  
segment  
packet  
frame



## Viel Material behandelt!

- Überblick über das Internet
- Was ist ein Protokoll?
- Rand des Netzwerkes, Zugangsnetze, das Innere des Netzwerkes
  - Paketvermittlung und Leitungsvermittlung
  - Struktur des Internets
- Leistungsgrößen: Verluste, Verzögerung, Durchsatz
- Schichten und Dienste
- Geschichte des Internets

## Ihr habt jetzt:

- Einen ersten Überblick und ein Gefühl für Computernetzwerke
- Mehr Tiefe: in den folgenden Kapiteln!