

# Vorlesung Einführung in Rechnernetze

## 1. Einführung

**Prof. Dr. Martina Zitterbart**

**Sebastian Friebe (M.Sc.), Markus Jung (M.Sc.), Matthias Flittner (M.Sc.), Tim Gerhard (M.Sc.)**  
**[zitterbart | friebe | m.jung | flittner | tim.gerhard]@kit.edu**

Institut für Telematik, Prof. Zitterbart



© Peter Baumung

## Das Internet

Das größte von Menschen konstruierte System

- Hunderte Millionen verbundene **Computer**, Kommunikationslinks, Switches
- Milliarden von **Nutzern**, die sich per Notebook, Tablet oder Smartphone mit dem Internet verbinden
- ... und noch viel mehr „**Dinge**“, die zunehmend mit dem Internet verbunden sind (Auto, Fernseher, Kühlschrank, Kaffeemaschine, Spielkonsole, Uhr, Wetterstation ...)



Die Vorlesung vermittelt

*grundlegende Prinzipien und Strukturen  
für das Verständnis  
existierender und zukünftiger Rechnernetze*





## Email

**EXAMPLE**

- > 200 Millionen EMail, also > 3 Millionen pro Sekunde
- Jeder Deutsche verschickt alle halbe Minute eine EMail

## Google

**EXAMPLE**

- > 3,5 Millionen Anfragen pro Minute
- Ungefähr soviel wie Berlin Einwohner hat

## Facebook

**EXAMPLE**

- 300 Millionen Nutzer ändern ihren Facebook-Status
- > 500.000 Kommentare und > 130.000 Fotos werden hochgeladen
- Hat > 1,86 Milliarden Nutzer: 3x so viel wie Europa Einwohner hat



Angelehnt an [Schr14]

[<https://zephoria.com/top-15-valuable-facebook-statistics/>]

[<https://www.internetlivestats.com/>]



## Umsatz

**EXAMPLE**

- Amazon: 93.000 € pro Minute
- eBay: knapp über 100.000 € Euro

**EXAMPLE**

## YouTube

- Fast 5 Milliarden Videos werden pro Tag betrachtet, ~3,5 Millionen pro Minute
- Pro Minute werden 300 Stunden Video ins Netz geladen
- Alle Videos anschauen, die an einem Tag hochgeladen werden: > 400.000 Stunden Videos anschauen
- 8 Stunden Tag, 30 Tage Urlaub: dazu benötigen Sie dann 234 Jahre!



Angelehnt an [Schr14]  
[\[http://www.statisticbrain.com/youtube-statistics/\]](http://www.statisticbrain.com/youtube-statistics/)

## EXAMPLE

### Cisco Vorhersage:

- 2016: jährlicher globaler IP-Verkehr übersteigt Zettabyte-Schwelle
- 2019: pro Jahr mehr als 2 Zettabyte IP-Verkehr
- 2020: Smartphone-Verkehr übersteigt PC-Verkehr
- 2020: Anzahl angebundener Geräte > Dreifache der Weltbevölkerung
- 2020: Video 82% gesamten Verkehrs

# Internet der Dinge

- Vernetzt Geräte am Rand des Internet

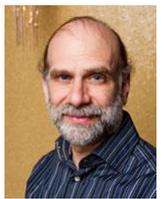


Computer, der Sachen kühlt

## EXAMPLE

### Auto

- Computer mit vier Rädern und einem Motor
- Verteiltes System mit über 100 Computern



[Schn17]

Bruce Schneier

„It's a computerized, networked and interconnected world that we live in“

# Internet of Everything

**Smart Traffic**

**Smart Home**

**Smart Grid**

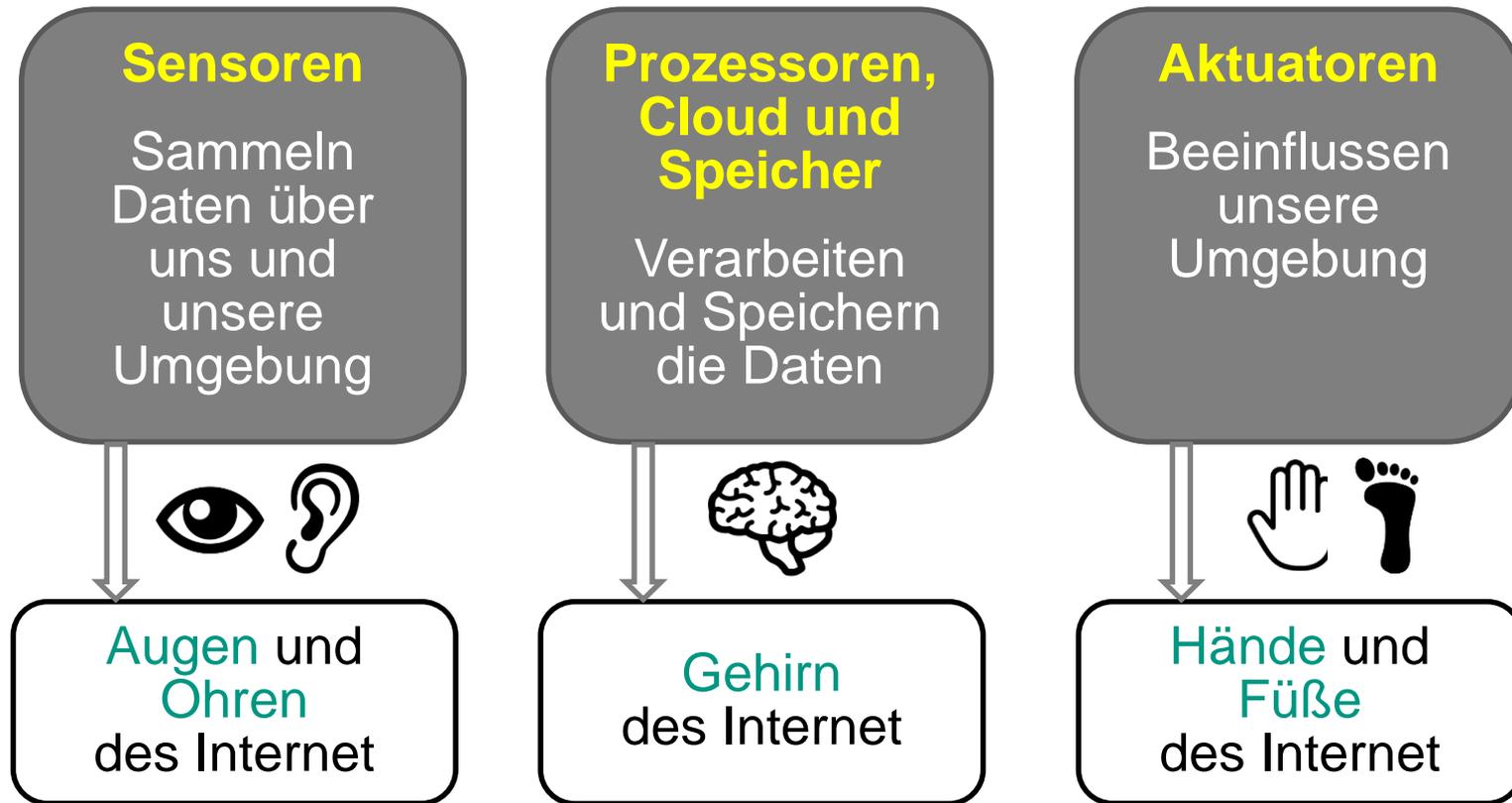
**Internet of Everything**

# Die Zukunft der vernetzten Gesellschaft



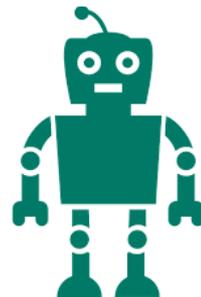
<https://youtu.be/wu6D6G7I1II>

# Internet der Dinge == Roboter



- „We build an Internet that senses, thinks, and acts“  
→ klassische Definition eines Roboters!
- „We´re building a world-size robot, and we don´t even realize it“

 [Schn17]



# Things Attack the Internet!

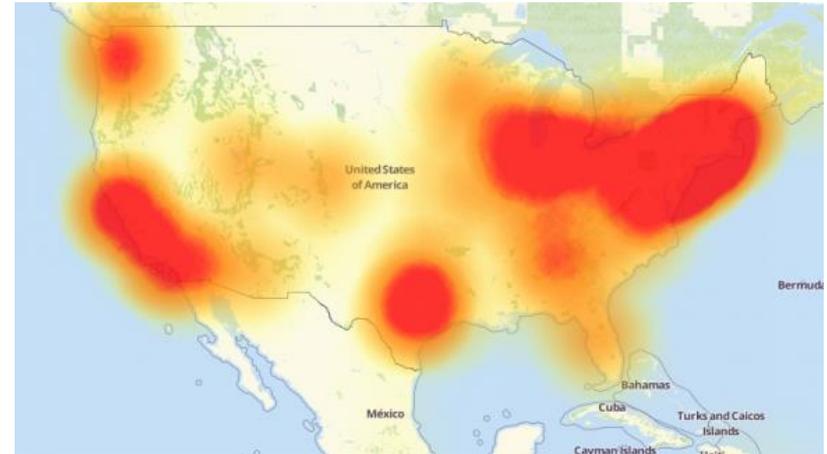
- Ab 18.09.2016:  
DDoS-Angriff auf den Hoster OVH
  - Größter beobachteter Angriff in der Internetgeschichte, ca. 1,1 Terabit/s
  - >180.000 verschiedene Geräte
- 
[\[https://www.heise.de/newsticker/meldung/Rekord-DDoS-Attacke-mit-1-1-Terabit-pro-Sekunde-gesichtet-3336494.html\]](https://www.heise.de/newsticker/meldung/Rekord-DDoS-Attacke-mit-1-1-Terabit-pro-Sekunde-gesichtet-3336494.html)
- 20.09.2016:  
DDoS-Angriff auf KrebsOnSecurity.com
  - ca. 620 Gigabit/s
- 
[\[http://krebsonsecurity.com/2016/09/krebsonsecurity-hit-with-record-ddos\]](http://krebsonsecurity.com/2016/09/krebsonsecurity-hit-with-record-ddos)
- 21.10.2016:  
DDoS-Angriff auf DynDNS
  - 
[\[krebsonsecurity.com/2016/10/hacked-cameras-dvrs-powered-todays-massive-internet-outage\]](http://krebsonsecurity.com/2016/10/hacked-cameras-dvrs-powered-todays-massive-internet-outage)
- Fortsetzung folgt ...

Sep 18 10:49:12 tcp_ack 20Mpps 232Gbps
Sep 18 10:58:32 tcp_ack 15Mpps 173Gbps
Sep 18 11:17:02 tcp_ack 19Mpps 224Gbps
Sep 18 11:44:17 tcp_ack 19Mpps 227Gbps
Sep 18 19:05:47 tcp_ack 66Mpps 735Gbps
Sep 18 20:49:27 tcp_ack 81Mpps 360Gbps
Sep 18 22:43:32 tcp_ack 11Mpps 136Gbps
Sep 18 22:44:17 tcp_ack 38Mpps 442Gbps
Sep 19 10:13:57 tcp_ack 10Mpps 117Gbps
Sep 19 11:53:57 tcp_ack 13Mpps 159Gbps
Sep 19 11:54:42 tcp_ack 52Mpps 607Gbps
Sep 19 22:51:57 tcp_ack 10Mpps 115Gbps
Sep 20 01:40:02 tcp_ack 22Mpps 191Gbps
Sep 20 01:40:47 tcp_ack 93Mpps 799Gbps
Sep 20 01:50:07 tcp_ack 14Mpps 124Gbps
Sep 20 01:50:32 tcp_ack 72Mpps 615Gbps
Sep 20 03:12:12 tcp_ack 49Mpps 419Gbps
Sep 20 11:57:07 tcp_ack 15Mpps 178Gbps
Sep 20 11:58:02 tcp_ack 60Mpps 698Gbps
Sep 20 12:31:12 tcp_ack 17Mpps 201Gbps
Sep 20 12:32:22 tcp_ack 50Mpps 587Gbps
Sep 20 12:47:02 tcp_ack 18Mpps 210Gbps
Sep 20 12:48:17 tcp_ack 49Mpps 572Gbps
Sep 21 05:09:42 tcp_ack 32Mpps 144Gbps
Sep 21 20:21:37 tcp_ack 22Mpps 122Gbps
Sep 22 00:50:57 tcp_ack 16Mpps 191Gbps

Grafik: Eingehende Datenraten bei OVH im Angriffszeitraum

# DDoS-Angriff 21.10.2016

- Dienste wie Twitter, Paypal, Netflix und Spotify für Stunden nicht oder nur schlecht erreichbar
- Ursache:  
Gestörte DNS-Namensauflösung
  - Betroffene Dienste nutzten DNS-Dienstleistungen von DynDNS
- Hintergrund:  
Distributed-Denial-of-Service-Angriff auf Infrastruktur von DynDNS
  - Von IP-Kameras und Vidorecordern ausgehend
  - Botnetz-Familie „Mirai“ aus schlecht gesicherten/gewarteten Geräten
    - Etwa: Telnet/SSH-Zugang mit Standardpasswörtern



Grafik: Räumliche Verteilung der betroffenen Dienste

Vorab

# ALLGEMEINE INFORMATIONEN

# Themen der Vorlesung (Auswahl)

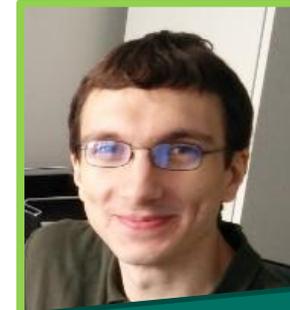
Protokoll Switch  
Medienzuteilung Routing  
Schichtenmodell Ethernet  
DNS **Internet** Prüfsumme ARQ  
IP TCP zuverlässig ISO/OSI  
Adressen Ports UDP WhatsApp IP Störung  
Rechnernetz Sicherheit  
Dienst



■ Prof. Dr. Martina Zitterbart



■ Sebastian Friebe, M.Sc.



## Das Team für Vorlesung und Übung



■ Matthias Flittner, M.Sc.



■ Tim Gerhard, M.Sc.



■ Markus Jung, M.Sc.

# Professoren am Institut für Telematik

## Professoren

- Prof. Dr. Sebastian Abeck (seit 1996)
- Prof. Dr. Michael Beigl (seit 2010)
- Prof. Dr. Veit Hagenmeyer (seit 2014)
- Prof. Dr. Hannes Hartenstein (seit 2003)
- Prof. Dr. Bernhard Neumair (seit 2010)
- Prof. Dr. Achim Streit (seit 2010)
- Prof. Dr. Martina Zitterbart (seit 2001)



## Unsere Forschung

**Architekturen, Protokolle und Algorithmen**  
für  
**sichere, effiziente und robuste**  
vernetzte Systeme

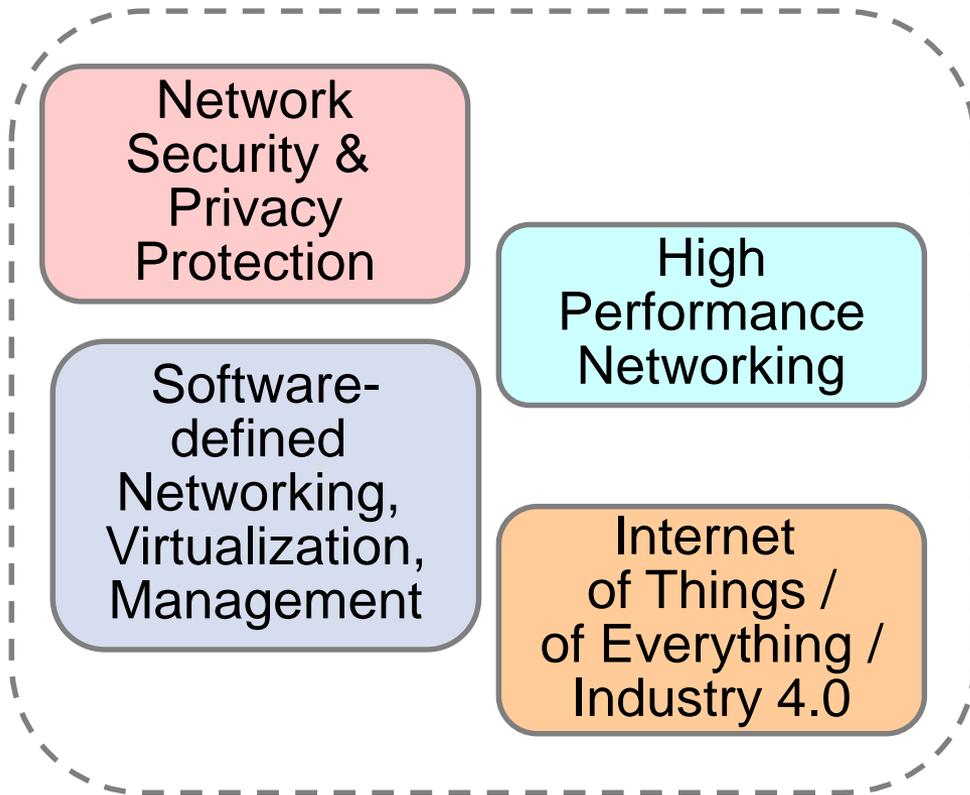
# Themen unserer Forschung

Industrie 4.0    Sensornetze    Value Oriented Design  
Internet of Everything    DPDK  
Transparenz    100G+    Delegation  
Factory    TCP    **Internet**    Sicherheit  
Grid    Bitcoin  
Smart-\* Traffic    KASTEL    APIs    Blockchain  
Home    P2P    Protokolle  
Privacy    Tor    NFV    Cloud  
Software Based Networking    SFC  
Skalierbarkeit    Flowtables  
Transparenz

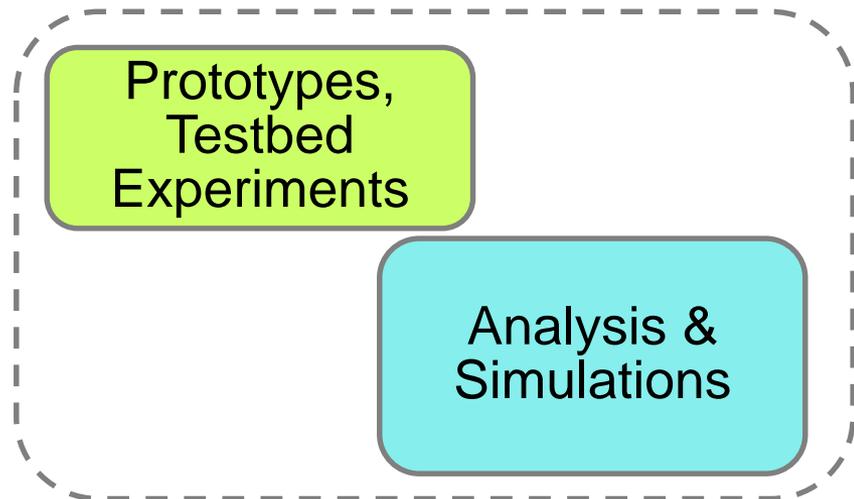
# Unsere Forschung ...

## Zukünftiges Internet:

Architekturen, Protokolle, Algorithmen



## Methoden & Tools: Evaluation und Tests



# Selbst aktiv werden?

- Weiterführendes Interesse an der Telematik? Z.B. als
  - Hiwi
  - Bachelor-/Masterarbeiter
  - Doktorand
  - ...



- Wir stehen Ihnen gerne als Ansprechpartner zur Verfügung
- Schauen Sie doch einfach mal am Institut vorbei!
  - Informatikgebäude am Schloss (Geb. 20.20), 3. Stock

# Organisatorisches zur Vorlesung

## ■ Termine

- **Vorlesung**      jeden Dienstag      11:30 – 13:00      Daimler Hörsaal
- **Übung**      jeden 2. Mittwoch      11:30 – 13:00      Neue Chemie Hörsaal
  - Termine: 03.05. / 17.05. / 31.05. / 14.06. / 28.06. / 12.07. / 26.07.
- **Hauptklausur**      11.08.2017      10:30 Uhr
- **Nachklausur**      voraussichtlich im März 2018

### **Vorlesungsseite:**

[http://telematics.tm.kit.edu/ss2017\\_eir.php](http://telematics.tm.kit.edu/ss2017_eir.php)

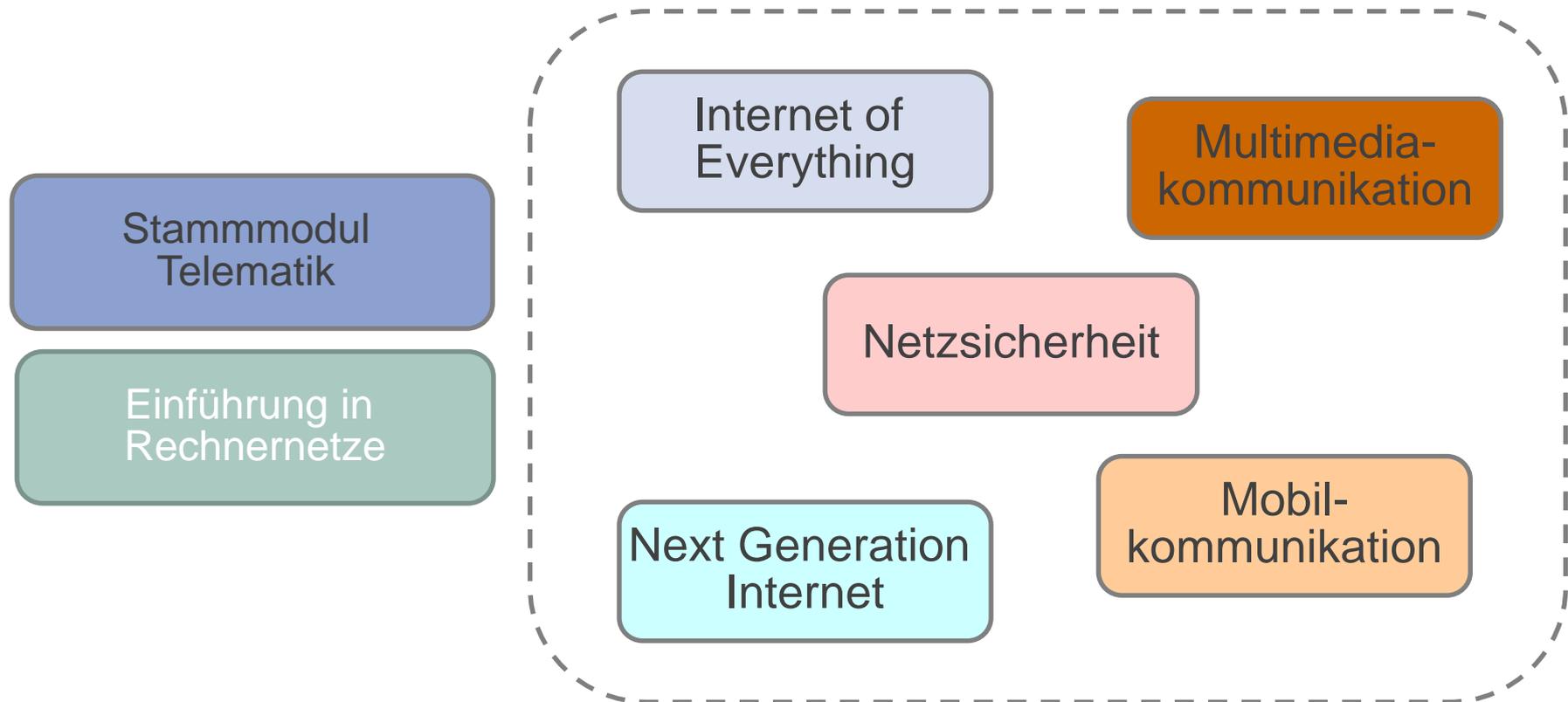
### **Übungsseite:**

[http://telematics.tm.kit.edu/ss2017\\_eir-uebung.php](http://telematics.tm.kit.edu/ss2017_eir-uebung.php)

## ■ Ansprechpartner

- Prof. Dr. Martina Zitterbart
- Sebastian Friebe, M.Sc.      [friebe@kit.edu](mailto:friebe@kit.edu)
- Matthias Flittner, M.Sc.      [flittner@kit.edu](mailto:flittner@kit.edu)
- Tim Gerhard, M.Sc.      [tim.gerhard@kit.edu](mailto:tim.gerhard@kit.edu)
- Markus Jung, M.Sc.      [m.jung@kit.edu](mailto:m.jung@kit.edu)

# Unsere Vorlesungen im Überblick



# Unsere Praktika/Seminare im Überblick

## ■ Bachelor

**Proseminar**  
Moderne  
Kommunikations-  
systeme

**Basispraktikum**  
Protocol  
Engineering

**Praxis der  
Softwareentwicklung**

## ■ Master

**Seminar**  
Hot Topics in  
Networking

**Praktikum**  
Praxis der Telematik

**Projektpraktikum**  
Softwarebasierte Netze

**Praxis der Forschung**

# Ansprechpartner für Fragen zu Modulen

- ... für Studierende der Informatik und Informationswirtschaft

- Mario Hock ([mario.hock@kit.edu](mailto:mario.hock@kit.edu))



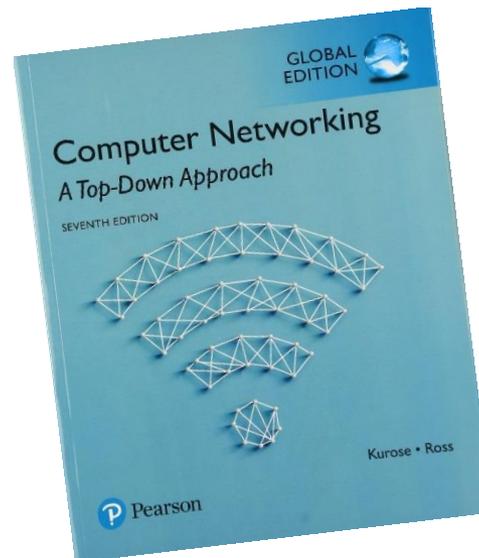
- ... zur Anerkennung von Veranstaltungen an ausländischen Universitäten

- Tim Gerhard ([tim.gerhard@kit.edu](mailto:tim.gerhard@kit.edu))





Wir nutzen Inhalte / Folien / Abbildungen aus



# *Computer Networking A Top-Down Approach*

7<sup>th</sup> edition

Jim Kurose, Keith Ross

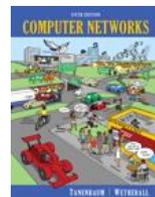
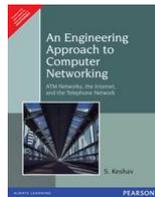
Addison-Wesley

March 2017

# Weitere Bücher zu Rechnernetzen



- F. Halsall; **Computer Networking and the Internet**, Addison-Wesley
  - Gutes Nachschlagewerk, recht umfassend.
- S. Keshav; **An Engineering Approach to Computer Networking**, Addison-Wesley
  - Gute systematische Darstellung
- W. Stallings; **Data and Computer Communications**. Prentice Hall
  - Deckt einen breiten Bereich der Vorlesung ab, auch ISDN
- A.S. Tanenbaum; **Computer Networks**, Prentice-Hall



# Weitere hilfreiche Literaturquellen

## ■ Internet-Standards

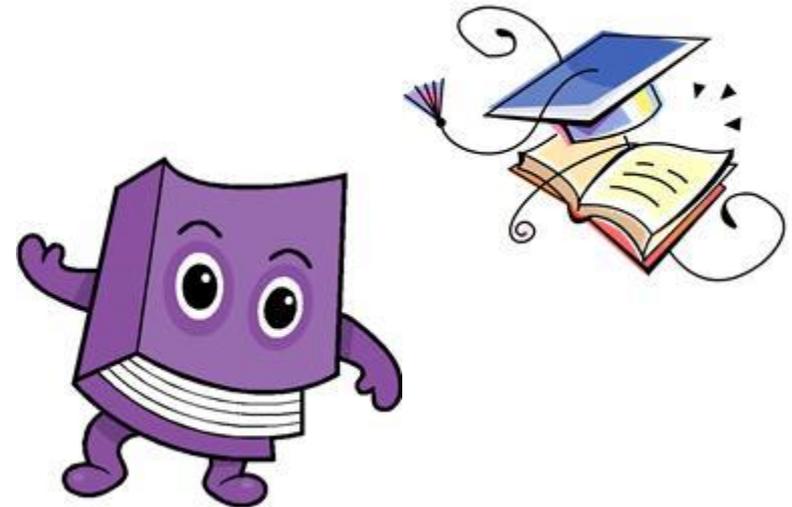
- Die Standard-Dokumente zu den Internet-Protokollen sind online frei zugänglich (<http://www.ietf.org>).
- RFC-Suche (<http://rfc-editor.org/rfcsearch.html>)

## ■ Allgemeines zum Internet

- Informationen über das Internet finden Sie auch unter der folgenden Web-Adresse: <http://www.isoc.org/internet/>

## ■ Artikel in Fachzeitschriften über

- IEEE Bib (<http://ieeexplore.ieee.org>)
- ACM BIB (<http://portal.acm.org>)
- Frei zugänglich aus dem KIT-Netz!



# Verwendete Symbole



[Stal11]

Literaturverweis/Webseite



Folie ist zur Information (nicht prüfungsrelevant)



Forschung/Experimente



Tools zum selbst ausprobieren

Verweise auf [vertiefende Vorlesungen](#) (Lehrstuhl Prof. Dr. Zitterbart)



Stammmodul Telematik



Next Generation Internet



Netzsicherheit: Architekturen und Protokolle



Mobilkommunikation



Multimediakommunikation



Internet of Everything

# Aufgepasst und mitgemacht: Pingo!

- Test: Alle gut drauf?
- <http://pingo.upb.de/6466>



# Kapitel der Vorlesung

- 1 • Einführung
- 2 • Anwendungsschicht
- 3 • Transportschicht
- 4 • Vermittlungsschicht
- 5 • Sicherungsschicht
- 6 • Netzarchitektur
- 7 • Netzsicherheit

## 1. Einführung

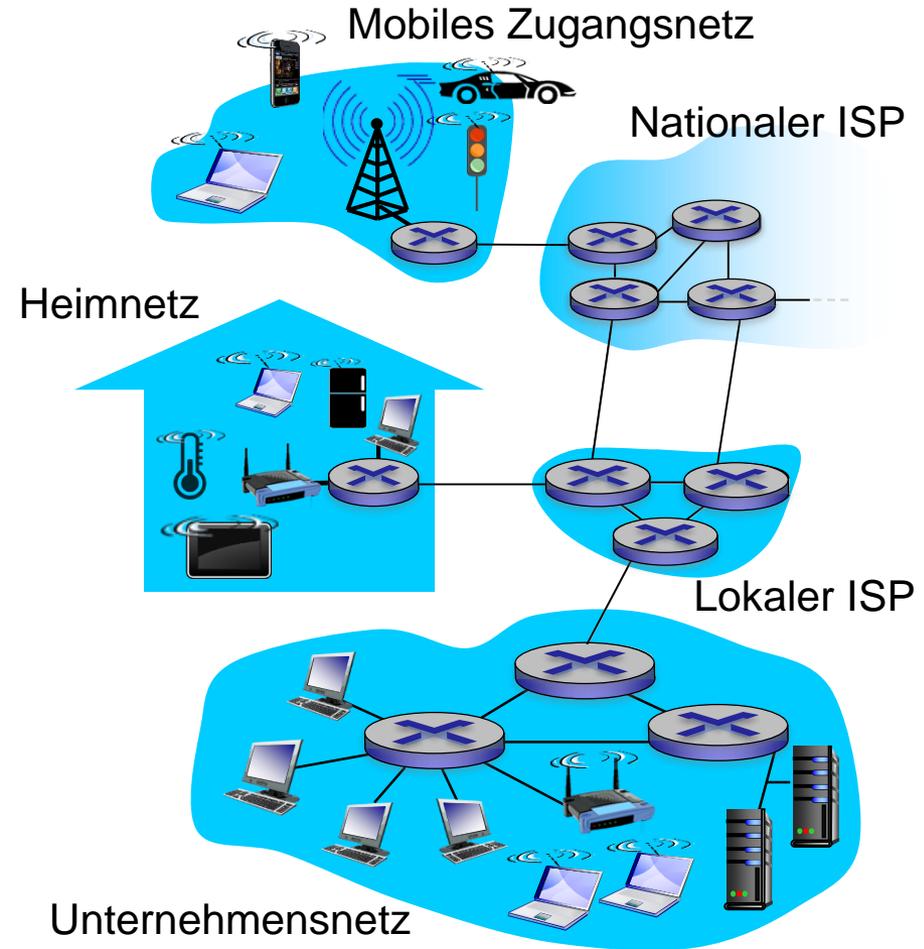
- 1.1 Was ist das Internet?
- 1.2 „Rand“ des Internet
- 1.3 „Kern“ des Internet
- 1.4 Internet-Historie

Kapitel 1.1

# WAS IST DAS INTERNET?

# Komponentensicht

- Milliarden von vernetzten Computern
  - Hosts = Endsysteme
  - Führen Netzwerkanwendungen aus
- Kommunikationsmedien
  - Kupferkabel, Glasfaser, Funk
- Zwischensysteme zur Weiterleitung von Paketen
  - Router und Switches



ISP: Internet Service Provider

# Symbole im Bild

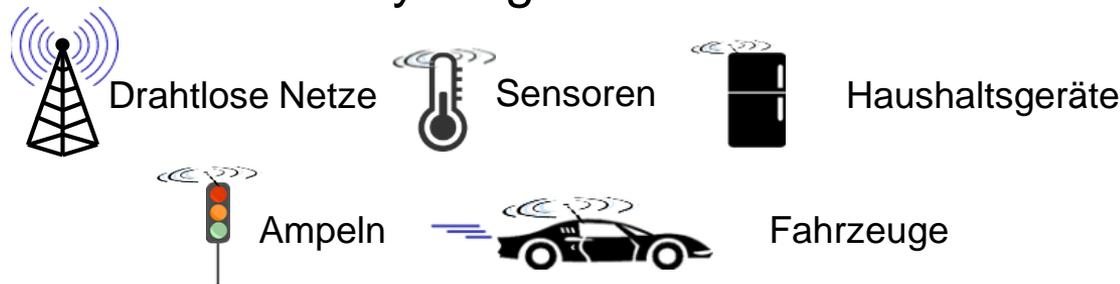
## ■ „Traditionelles“, kabelgebundenes Internet



## ■ Drahtloses Internet



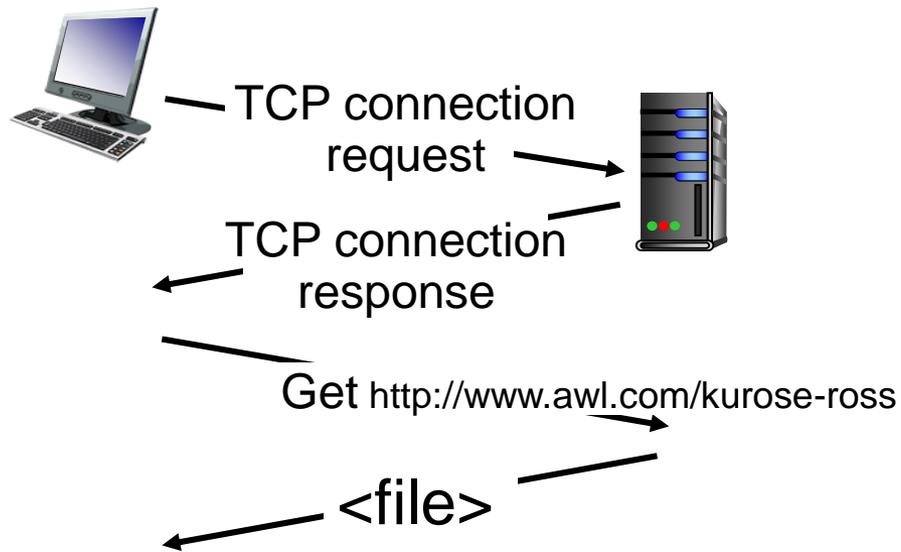
## ■ Internet of Everything



- **Infrastruktur**, die Dienste für **verteilte Anwendungen** bereitstellt
  - Email
  - Surfen im Web
  - Streamen von Musik / Video aus der Cloud
  - Messaging
  - Soziale Netze
  - Spiele
  - ...
  
- **Verteilt**
  - Anwendungen laufen auf mehreren Endsystemen, die hierzu Daten miteinander austauschen müssen
  
- **Programmierschnittstelle** zum Internet: **Socket-Interface**
  - Definiert einen Satz von Regeln

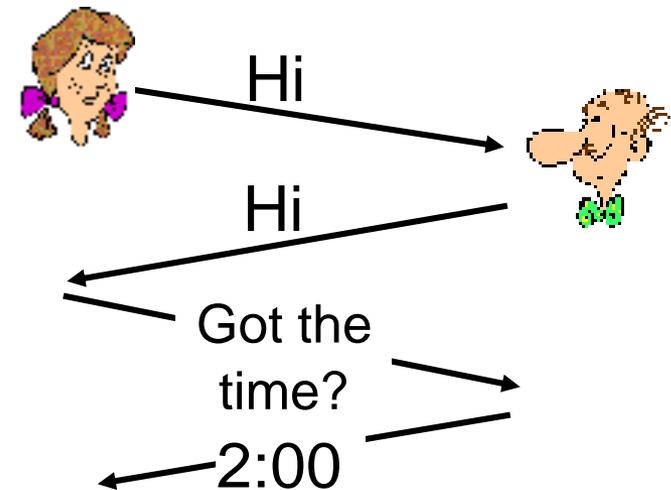
## Protokoll zwischen Computern

- Protokolle sind Grundlage der Abläufe im Internet
- Protokolle definieren **Regeln** und **Formate** für die Kommunikation zwischen Computern



## Protokoll zwischen Menschen

- Bekannt aus dem täglichen Leben



- Im Internet werden viele **aus dem analogen Leben bekannte Abläufe** digital abgebildet
  - Herstellung von Kontakt zwischen kommunizierenden Instanzen (hier Menschen)
    - ... „Hi – Hi“ im Beispiel auf der Folie vorher
  - Austausch von „Briefen“
    - Siehe Email
  - Nachschauen in einem Lexikon
    - Wikipedia
  
- Es entstehen aber auch viele Fragen, z.B. hinsichtlich **Vertrauen**
  - Wie gut ist der Wikipedia-Artikel?
  - Kam die Email wirklich von dem Absender?
  - Wurde die Email unterwegs gelesen oder verändert?

Kapitel 1.2

# „RAND“ DES INTERNET

## ■ Am Netzrand

- Endsysteme: Client und Server
- Server sind häufig in Datenzentren

## ■ Zugangsnetze

- Heimnetz
- Mobiles Zugangsnetz
- Unternehmensnetz

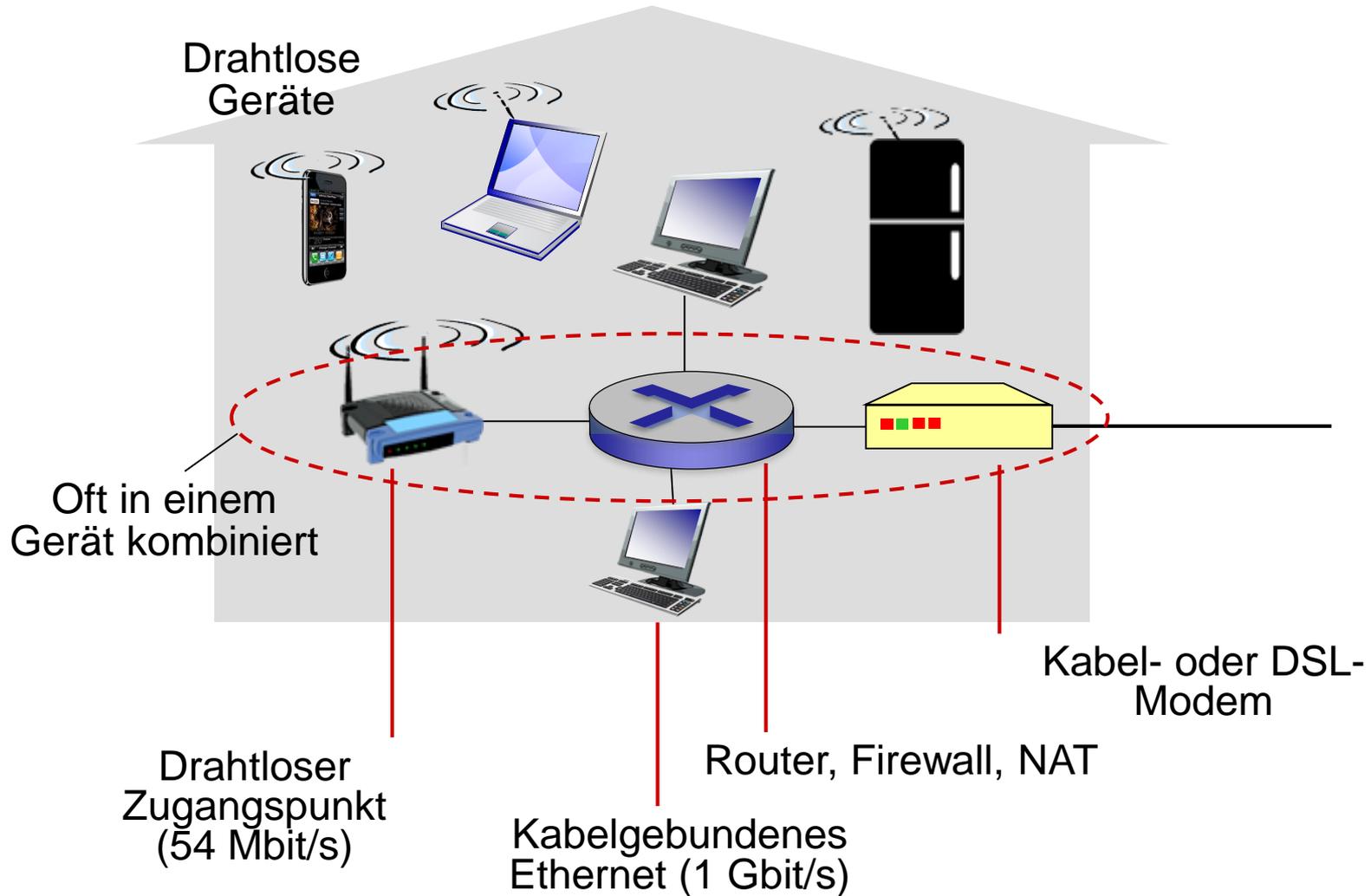
## ■ Physikalische Medien

- Drahtgebunden
- Drahtlos

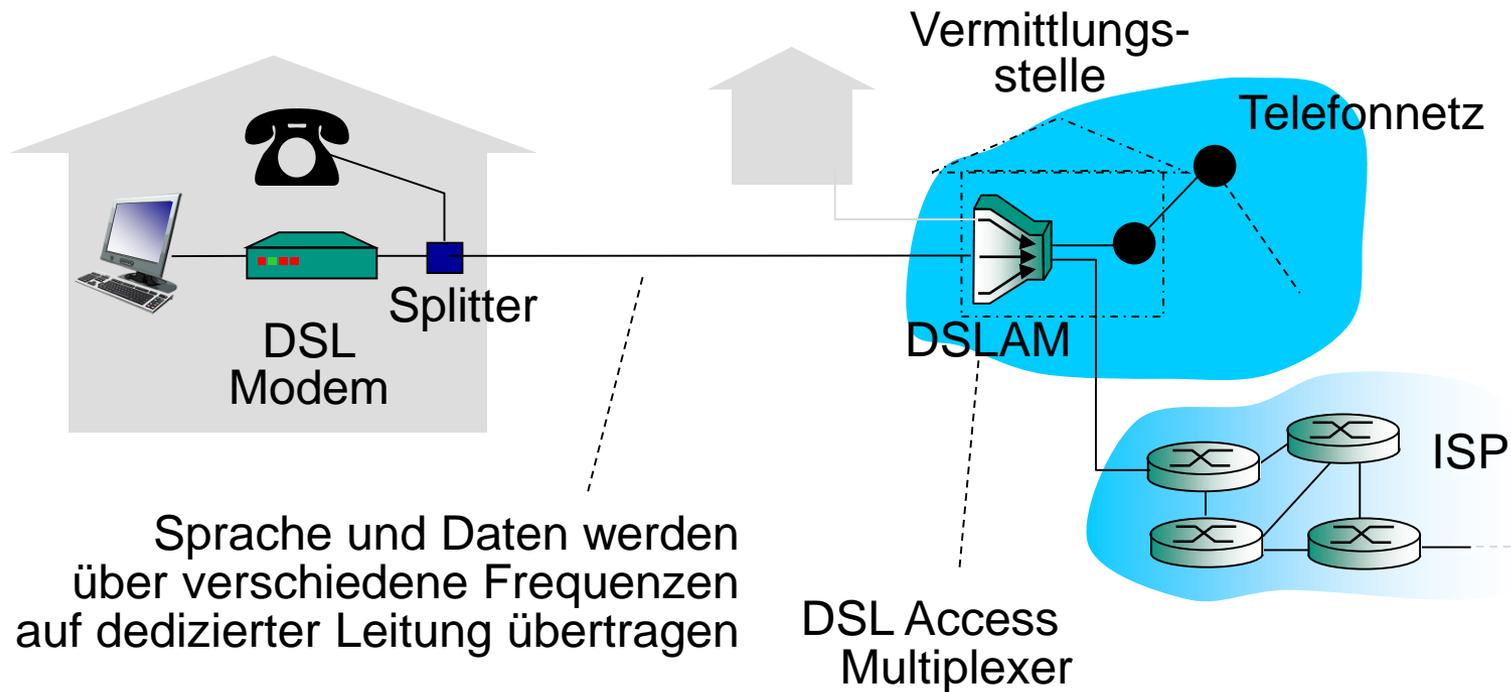
### EXAMPLE

#### Beispiel Google

- Ca. 50 – 100 Datenzentren weltweit
- Davon ca. 15 große Datenzentren mit jeweils mehr als 100.000 Server



# Zugangsnetz: Beispiel DSL



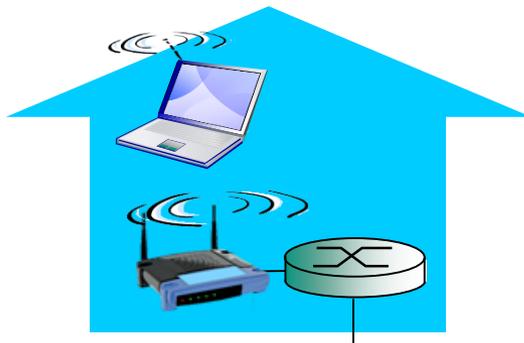
- Nutzung der **Telefonverbindung** für Zugang zum DSLAM
  - **Daten** werden an das Internet weitergeleitet
  - **Sprache** wird an das Telefonnetz weitergeleitet

# Drahtlose Zugangsnetze

- Von allen **geteiltes** drahtloses Zugangsnetz
  - Konnektivität zwischen
    - Endsystem und WLAN-Router (drahtloses LAN)
    - Endsystem und Basisstation (Mobilfunk)

## Drahtloses LAN

(räumlich eher geringe Ausdehnung,  
802.11b/g/n; 11 – 600 Mbit/s)



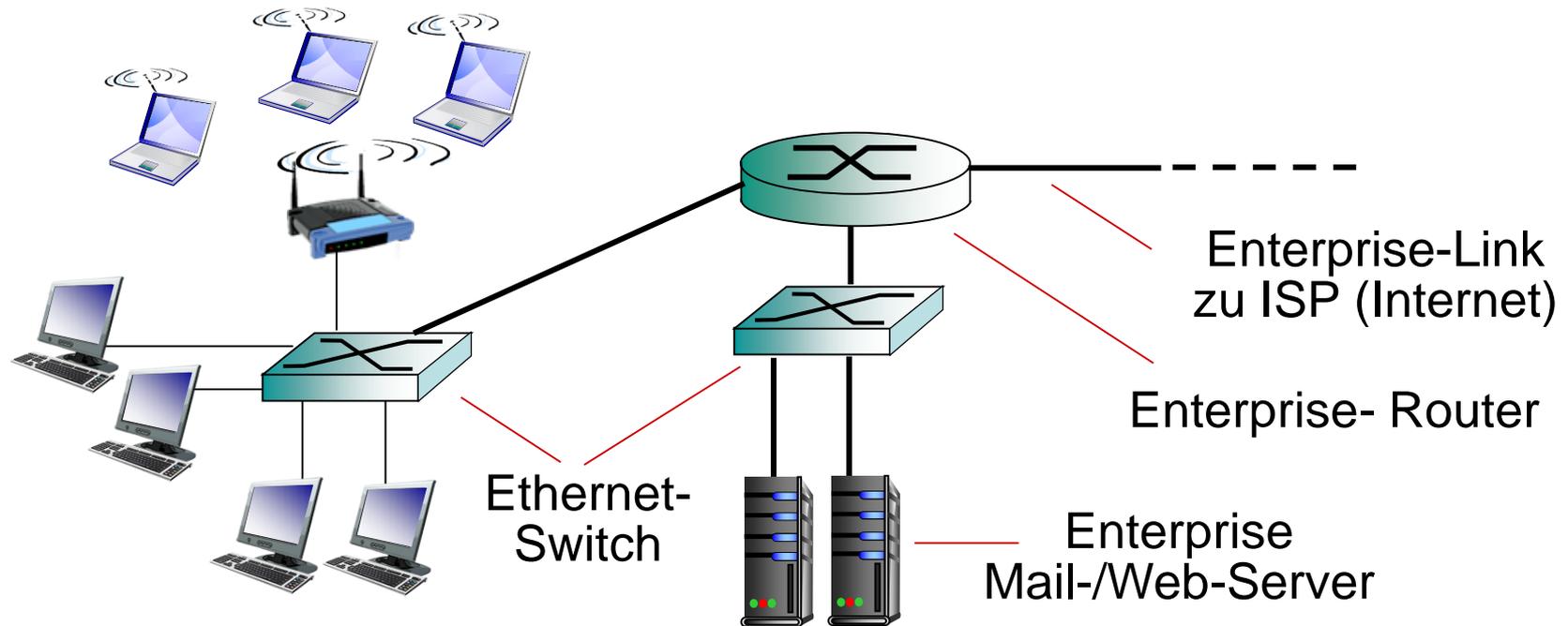
*zum Internet*

## Zugang zu Mobilkommunikationsnetzen

(größere Ausdehnung (mehrere 10 km),  
GSM, UMTS, LTE; 1 – 300 Mbit/s)



*zum Internet*

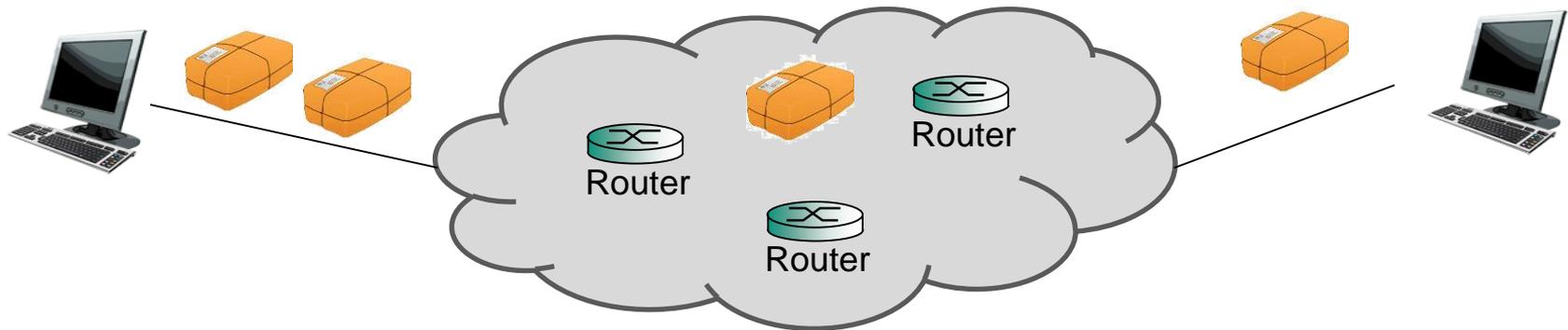


- Typischerweise in Firmen, Universitäten etc.
  - Heute häufig über Ethernet verbunden
  - Hohe Datenraten
    - 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 100 Gbit/s

Kapitel 1.3

# „KERN“ DES INTERNET

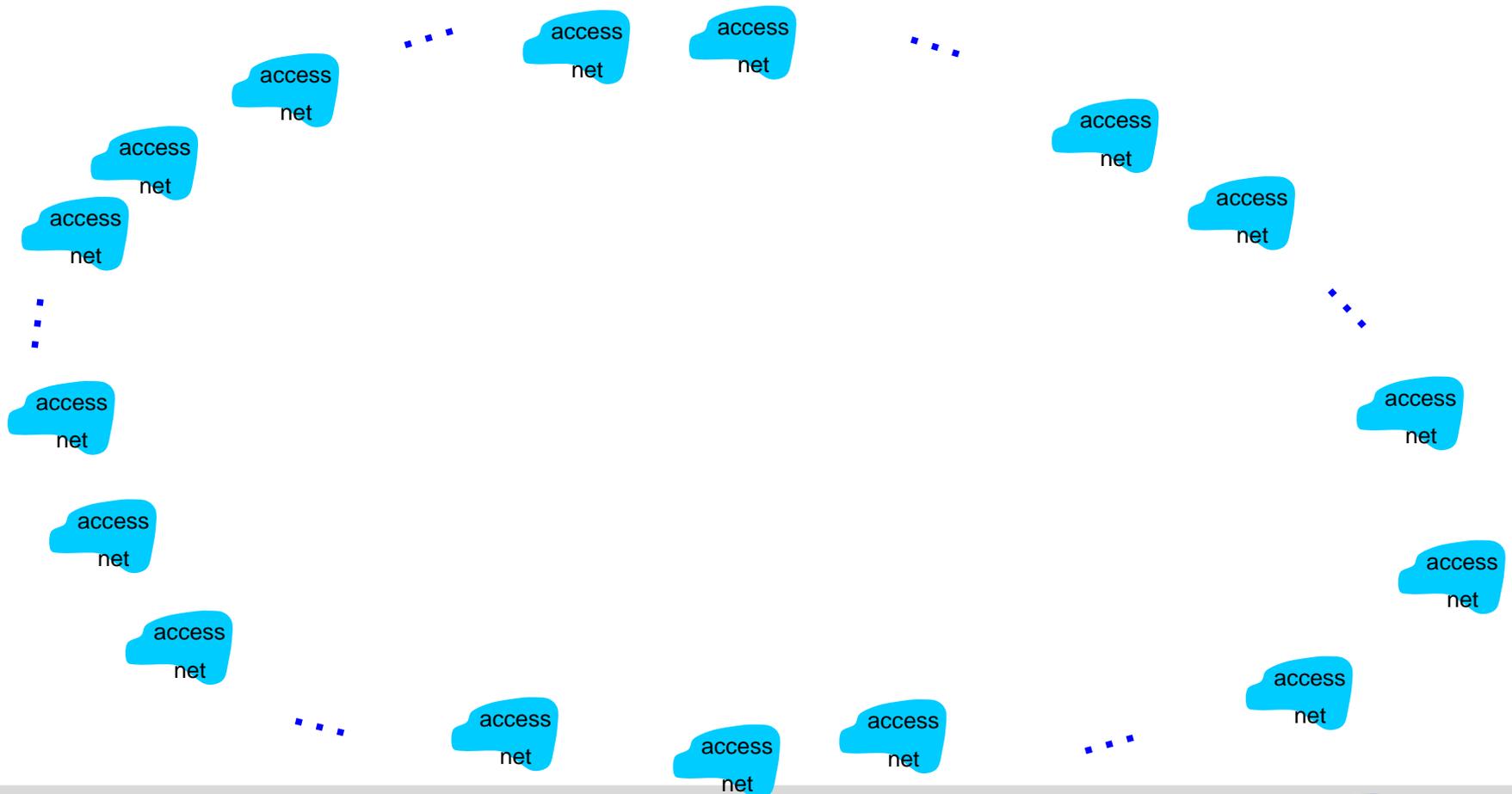
- Nachrichten von Anwendungen werden zum Transport in den Endsystemen in Pakete gegliedert



- Pakete werden durch das Netz zur Zielanwendung weitergeleitet
  - Pakete werden im Netz von Router zur Router weitergeleitet
  - Pakete sind voneinander unabhängige Einheiten für die Weiterleitung
- 
- Vergleich zur klassischen Post (Beispiele)
    - Pakete können unterschiedliche Größe haben
    - Pakete können auf unterschiedliche Art versendet werden
    - Pakete brauchen Information über Zieladresse und Absender
    - Pakete werden über mehrere Hops zugestellt

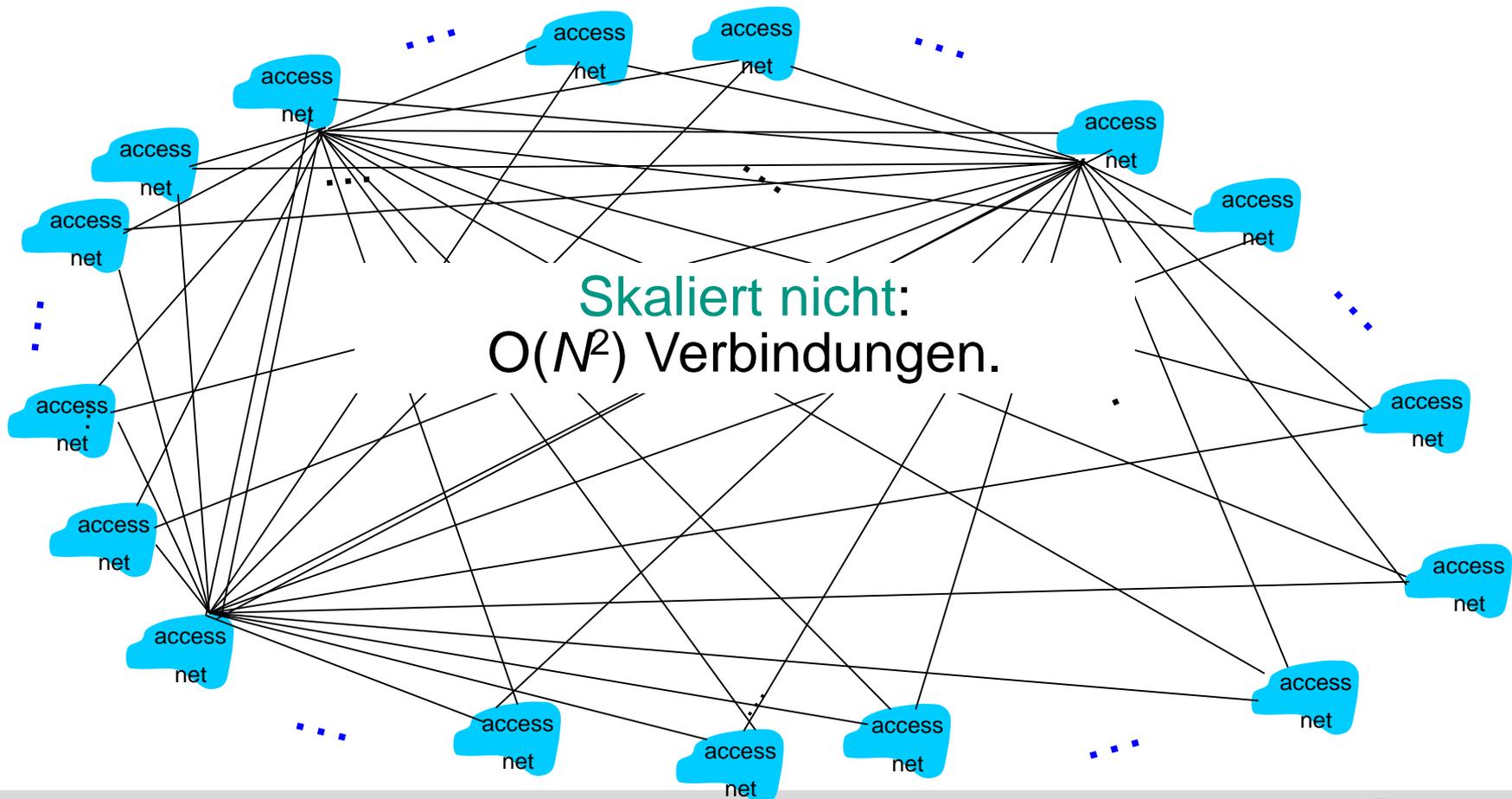
# Netz von Netzen

■ Frage: wie Millionen von Zugangs-ISP's miteinander verbinden?



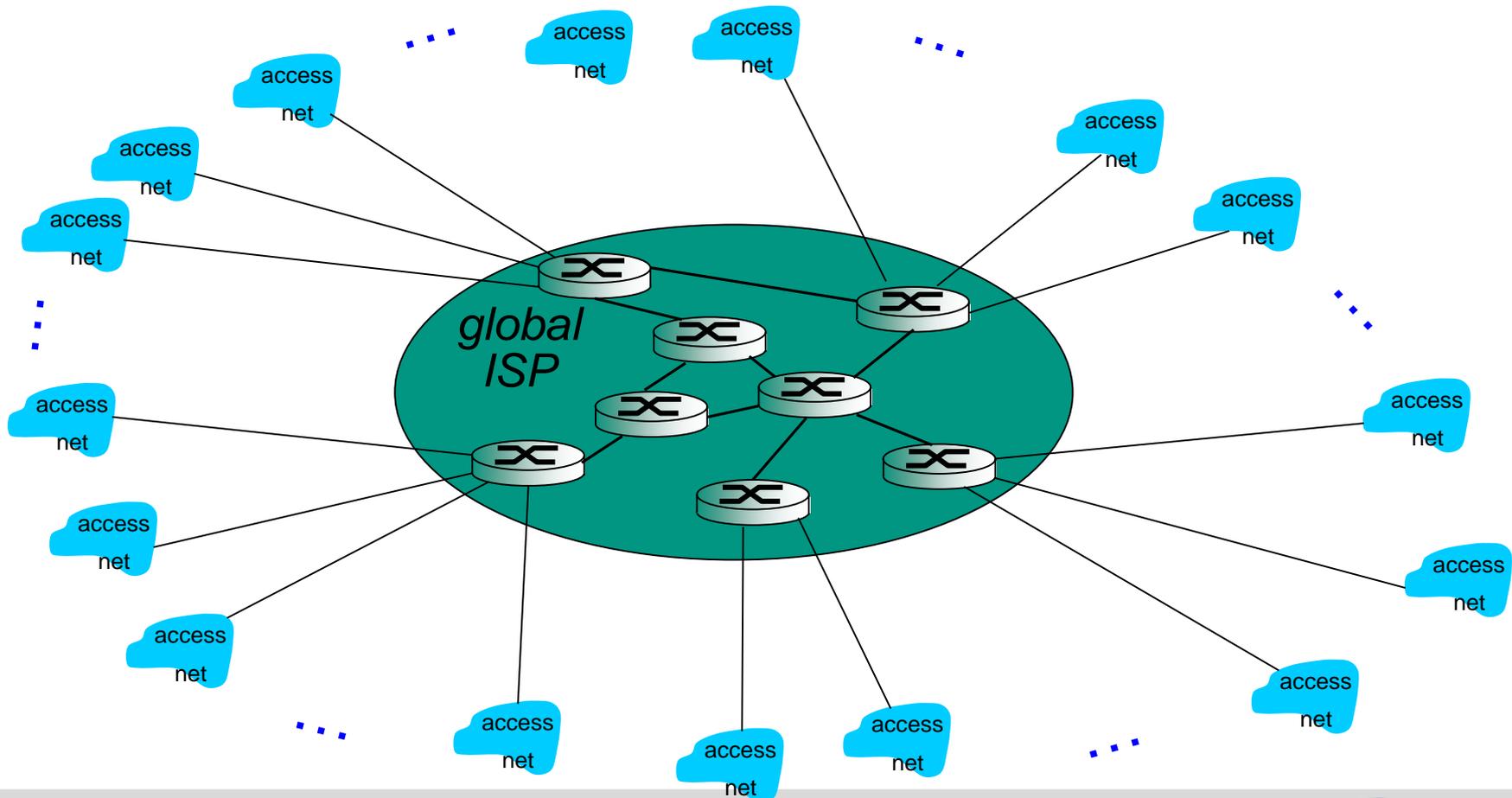
# Interne Struktur: Netz von Netzen

- *Option:* jeden ISP mit jedem anderen ISP verbinden?



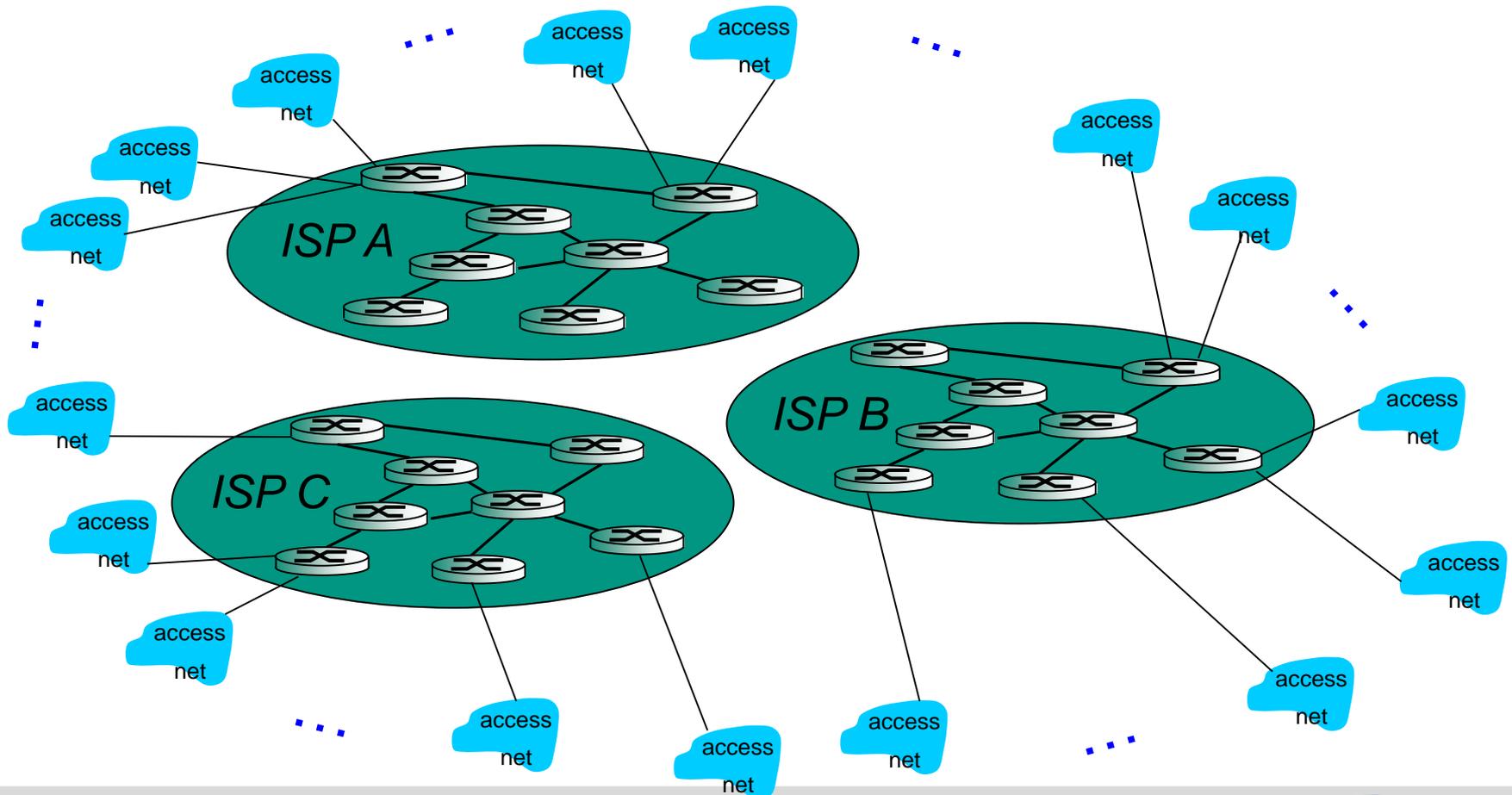
# Interne Struktur: Netz von Netzen

- *Option:* jeden Zugangs-ISP mit einem globalen Transit-ISP verbinden?
  - Vertrag zwischen **Kunde** und **Provider**



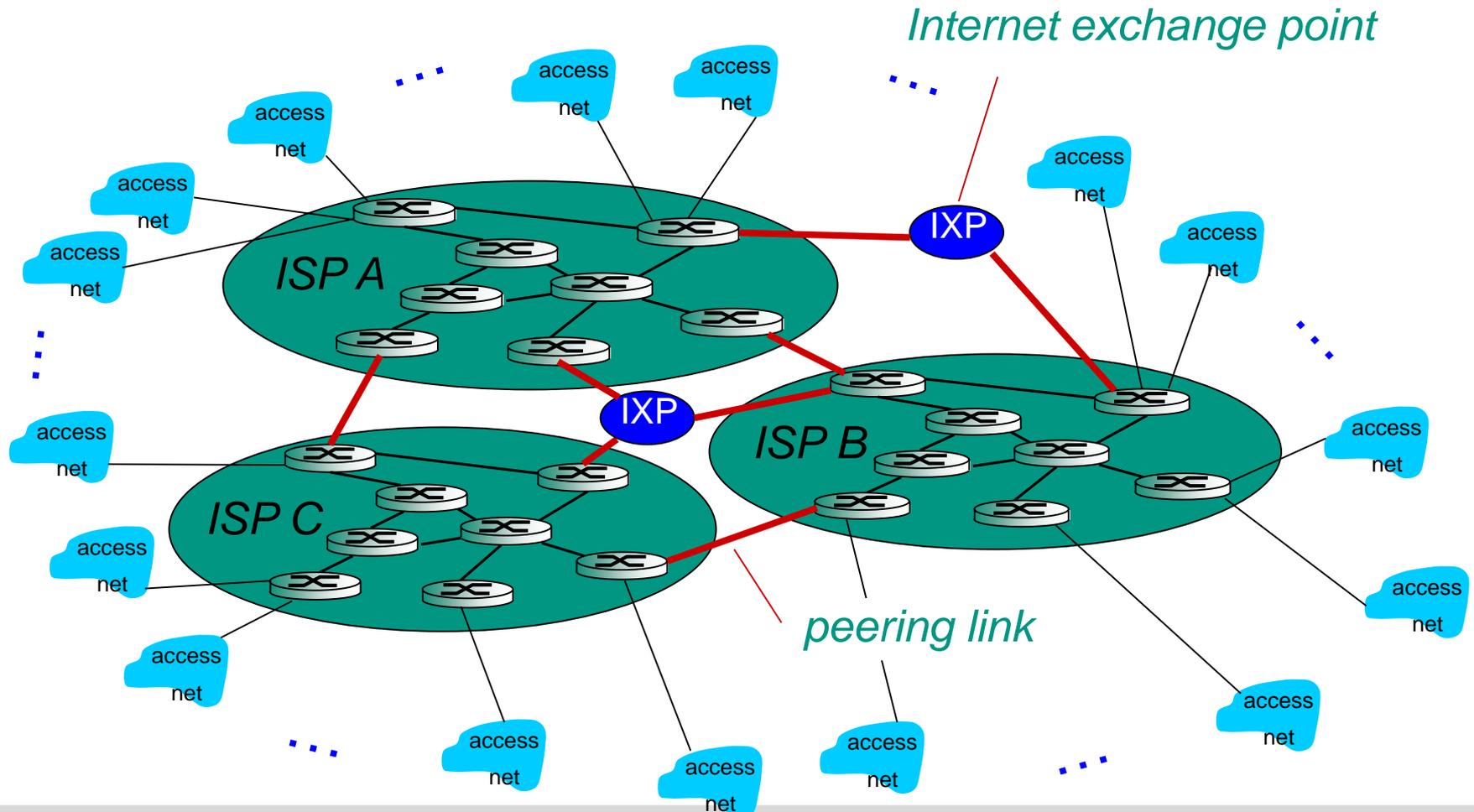
# Interne Struktur: Netz von Netzen

- ... es wird Konkurrenten geben



# Interne Struktur: Netz von Netzen

- ... die Konkurrenten müssen miteinander vernetzt werden



# Internet Exchange Point (IXP)

## ■ Was ist das?

**EXAMPLE**

### Beispiel DE-CIX:

Weltgrößter IXP

Direkter Datenaustausch  
zwischen mehreren ISPs

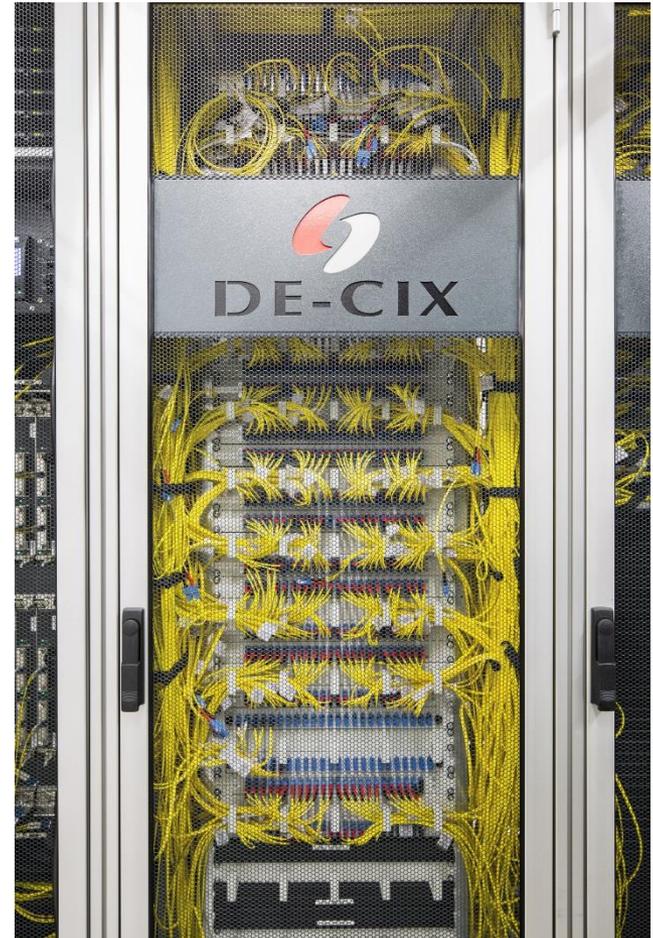
900+ Mitglieder aus 65+ Ländern

Verfügbar in 20+ Datenzentren  
in Frankfurt am Main

4 Supernodes; 1100+ Ports

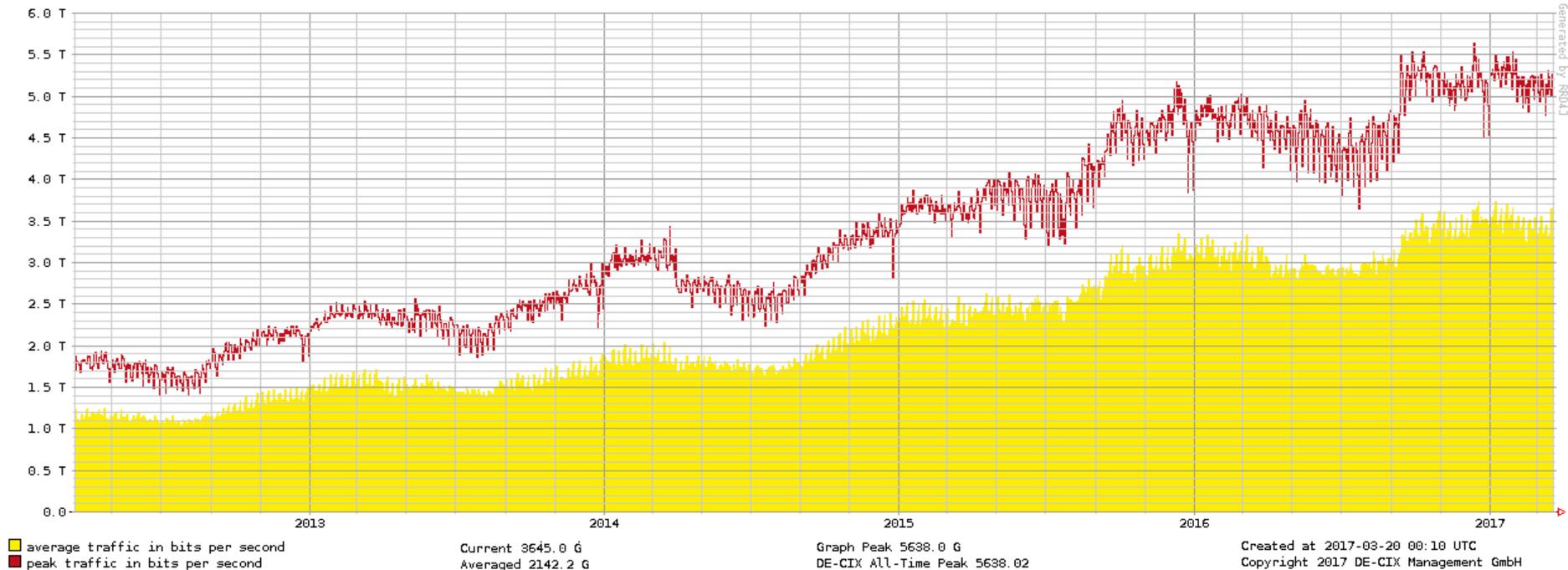
20,5 Tbit/s Backbone;  
100 Gbit/s Glasfasernetz

5 zu 1 Redundanz;  
100% Verfügbarkeit seit 2007



# DE-CIX Internet Exchange Point

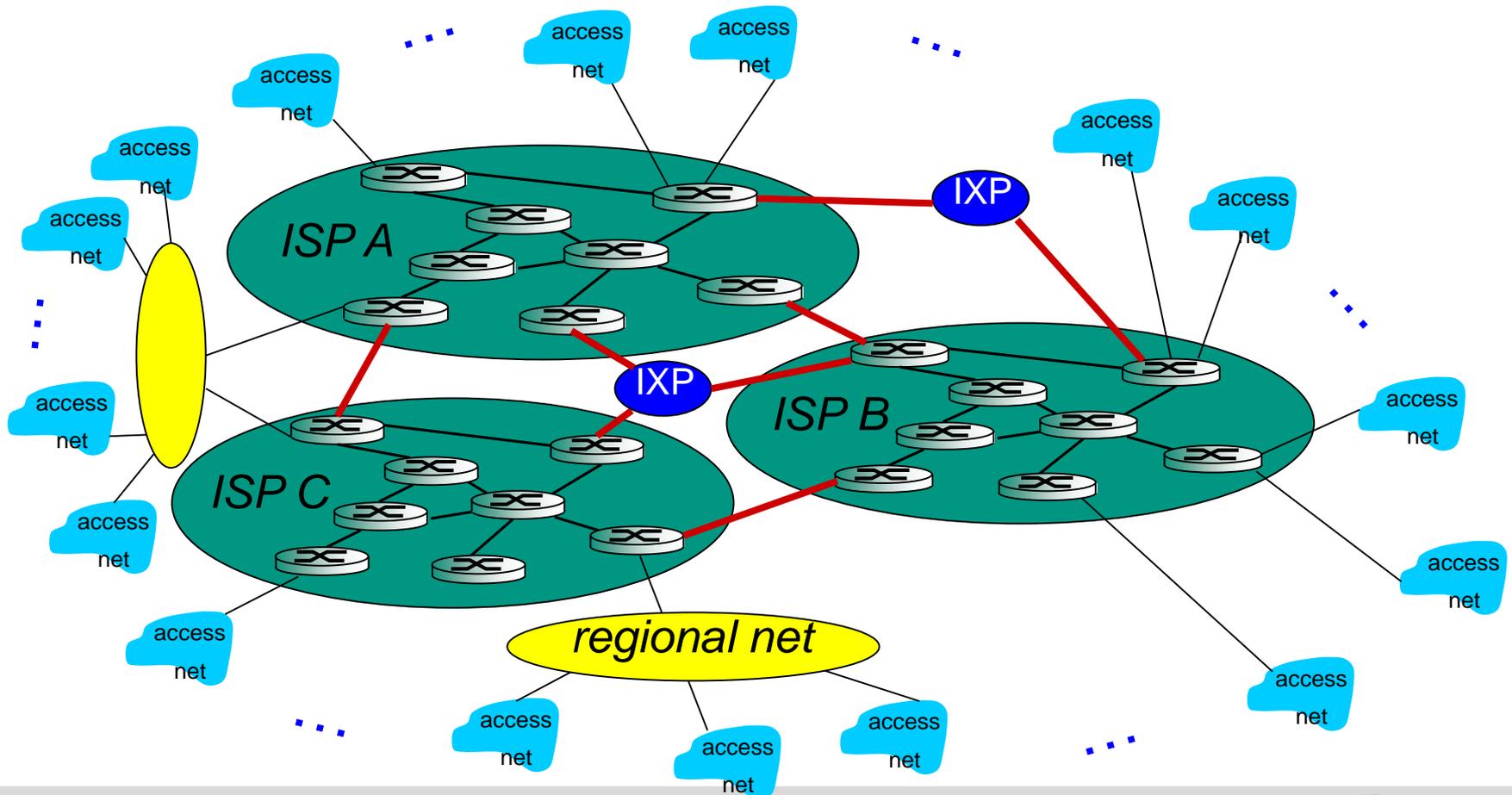
## ■ Datendurchsatz am DE-CIX innerhalb der letzten fünf Jahre



- Peak: 10.2008 => 0,5 Tbit/s
  - Peak: 12.2016 => 5,6 Tbit/s
  - Verdoppelt sich etwa alle drei Jahre
- Elffache!

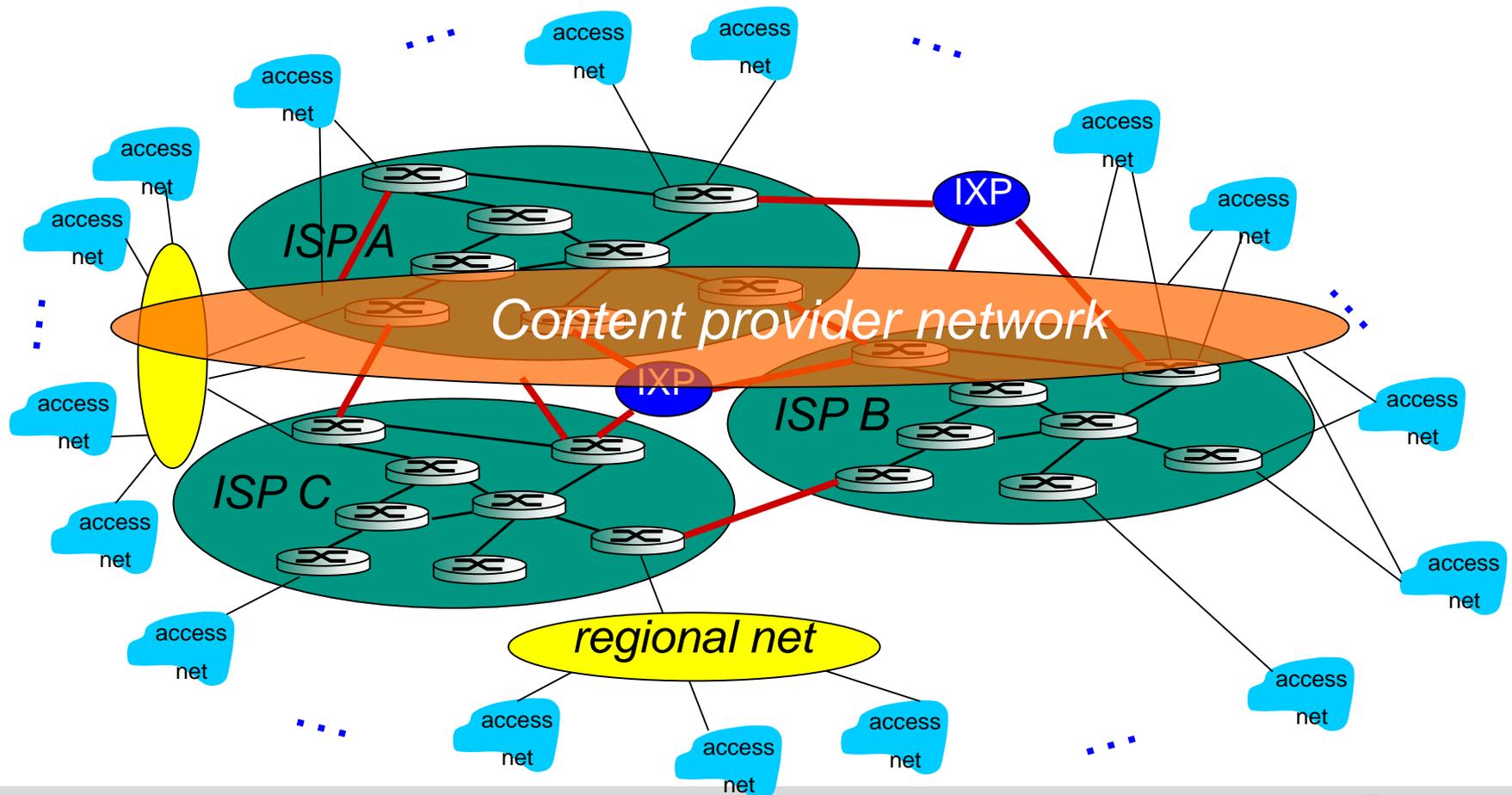
# Interne Struktur: Netz von Netzen

- ... und regionale Netze können Zugangsnetze mit ISPs verbinden



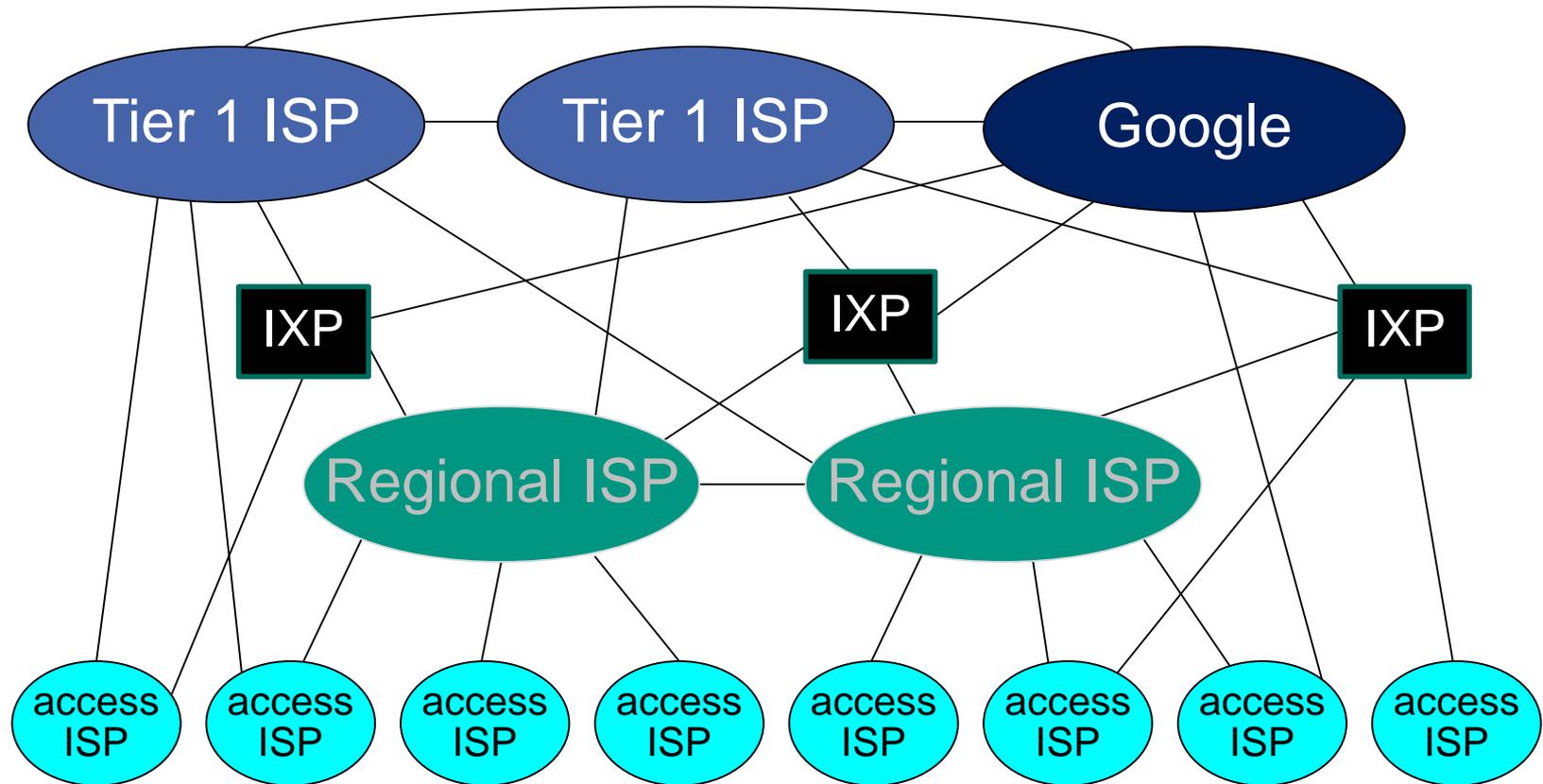
# Interne Struktur: Netz von Netzen

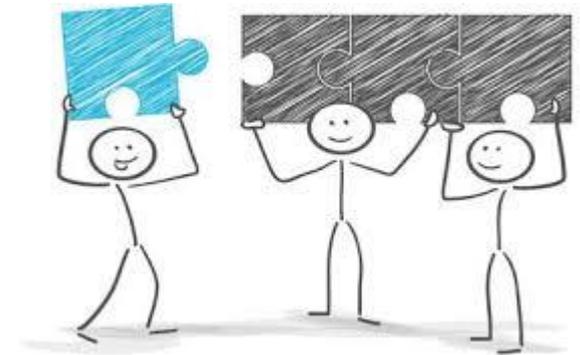
- ... und Content-Provider (z.B. Google, Microsoft, Akamai) können ihre eigenen Netze betreiben, um Dienste/Content näher zu den Endkunden zu bringen



# Interne Struktur: Netz von Netzen

- Im Zentrum: wenige sehr gut verbundene Netze





## Kapitel 1.4

# INTERNET-HISTORIE

<http://pingo.upb.de/>



<http://pingo.upb.de/>



# Technische Kommunikation **vor** dem Internet

- Schon lange vor dem Internet gab es technische Systeme zur Kommunikation über größere Distanzen
  - Rauchzeichen der Indianer
  - Fackeltelegraphen



- **Telefonie (Sprachkommunikation)**
  - Alexander Graham Bell konstruiert **elektromagnetisches Telefon** (1875)
  - Erste automatische (!) **Vermittlungsstelle** (mit 75 Teilnehmern in La Porte, Indiana, USA, 1892)
  - *... also fast 100 Jahre vor dem Beginn des Internet*



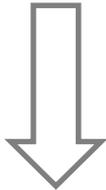
Bell führt 1892 erstes Ferngespräch von New York nach Chicago

[https://de.wikipedia.org/wiki/Alexander\\_Graham\\_Bell](https://de.wikipedia.org/wiki/Alexander_Graham_Bell)

# Paradigmenwechsel

## ■ Telefonnetz

- Leitungsvermittelt
- Zentralisiert

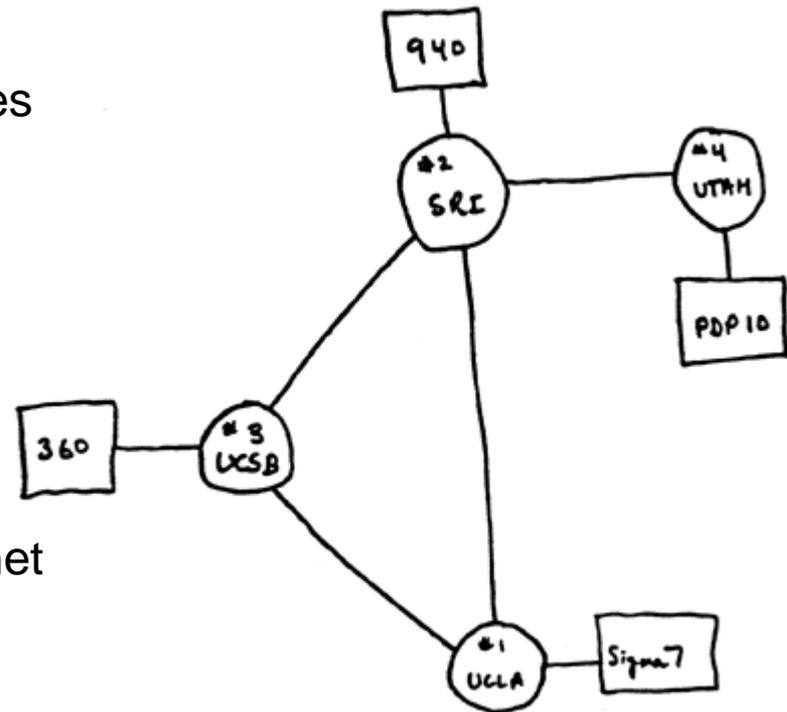


## ■ Internet

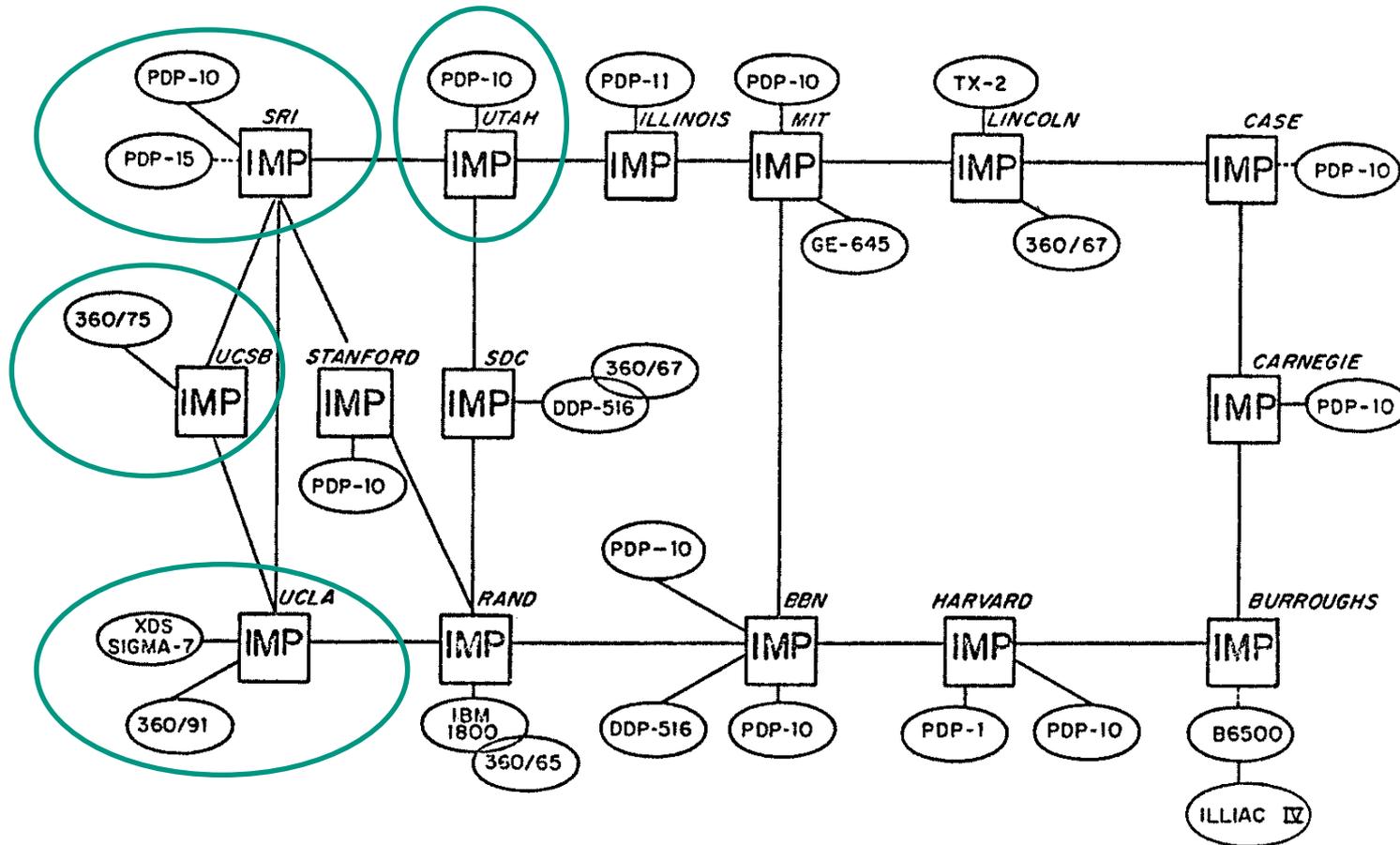
- Paketvermittelt
- Dezentral

# Anfang des Internet

- 1969: „Geburtsstunde“ des Internet
  - Die ersten Knoten von ARPAnet sind funktionsfähig: Datenübertragung zwischen vier Rechnern in den USA
  - University of California at Los Angeles (UCLA)
  - Stanford Research Institute (SRI)
  - University of California at Santa Barbara (UCSB)
  - University of Utah
- 1972
  - Öffentliche Demonstration des Internet
  - Email-Programm
  - ARPAnet hat 15 Knoten



# ARPAnet April 1971



ARPA NET, APRIL 1971

## ■ IMP: Interface Message Processor

- **1974:** Cerf und Kahn entwerfen Architektur zum Koppeln von Netzen
  - Internet-Entwurfsprinzipien (die auch heute noch gültig sind!)
  - Entwurf von TCP/IP
    - Protokollfamilie, die bis heute das Internet prägt
      - Zunächst als eine Einheit konzipiert, später in zwei separate Protokolle getrennt
    - Notwendigkeit, ein Protokoll zu definieren, das **unabhängig** von den noch zu entwickelnden Anwendungen ist, wurde gesehen
  
- Entwicklung einer Reihe proprietärer Netze
  - DEC: DECnet, Xerox: XNS-Architektur, IBM: SNA-Architektur, Novell: IPX
  
- **1979:** ARPAnet hat 200 Knoten

- Wurden von Cerf und Kahn zur Entwicklung einer offenen Netzarchitektur formuliert



- Minimalism, Autonomy

- *„A network should be able to operate on its own, with no internal changes required for it to be interworked with other networks“*

- Best Effort Service

- *„Internetworked networks would provide best-effort, end-to-end service. If reliable communication was required, this could be accomplished by retransmitting lost messages from the sending host.“*

- Stateless Routers

- *„The routers in the internetworked networks would not maintain any per-flow state about any ongoing connection“*

- Decentralized Control

- *„There would be no global control over the internetworked networks“*



# 1980 – 1990: Aufbau verschiedener Netze, neue Protokolle

- Neue Netze, meist zur Verbindung von Universitäten
  - BITnet (Because it's their network)
  - CSnet (Computer Science network; kein Anschluss an ARPAnet)
  - NSFNET (1986, anfangs mit 56 kbit/s im Backbone)
- 1982: SMTP-Protokoll für E-Mail definiert
- 1983: Alle ARPAnet-Knoten wechseln von NCP auf TCP/IP (Flag-Day)
- 1983: DNS zur Übersetzung von Namen auf IP-Adressen definiert
- 1985: FTP-Protokoll definiert
- 1988: Integration von Staukontrolle in TCP
- Ende der 80er Jahre: ca. 100.000 Knoten im Internet
- 1988: Internet umfasst auch Netze in Europa, Australien und Kanada

# 90er Jahre: Kommerzialisierung und das Web

## ■ 1991

- NSFNET lockert Restriktionen für kommerzielle Nutzung
- Erste öffentliche Demonstration des WWW am CERN

## ■ 1992: Ca. 200 Web-Server



<http://www.spiegel.de/video/infografik-das-internet-in-zahlen-video-1140933.html>

## ■ 1995

- Kommerzielle ISPs transportieren NSFNET-Verkehr
- Kommerzialisierung des Web beginnt

## ■ Ende 1990's – 2000's

- Mehr Killeranwendungen: Instant messaging, P2P file sharing
- Netzsicherheit wird immer wichtiger

## ■ Ende der 90er Jahre

- Ca. 50 Millionen Computer im Internet
- Ca. 100 Millionen Nutzer
- Im Backbone: Gbit/s auf Übertragungsabschnitten

# Seit Mitte 2000

- Leistungsfähige, drahtlose Netzzugänge allgegenwärtig
  - Ermöglicht zunehmend mobile Nutzung
  
- Online soziale Netze
  - Facebook: ~ 1,86 Milliarde Nutzer
  
- Service Provider (Google, Microsoft) bauen ihre eigenen Netze
  - “umgehen” Internet, stellen “instantanen” Zugriff auf Suche, Videoinhalten, Email etc. zur Verfügung
  
- Cloud
  - E-Commerce, Universitäten, Unternehmen verlagern Dienste in die Cloud (e.g., Amazon EC2)
  
- 2016: ~5 Milliarden Geräte an Internet angeschlossen
  - Smartphones, Tablets ...



## ■ „A Brief History of the Internet“

- Übersichtliche und knappe Darstellung des Internet-“Werdegangs“
- Gute Zusammenfassung der grundlegenden Konzepte
- Beschreibt Entstehung der RFCs



## ■ „An Early History of the Internet“

- Durchaus stark von der Sicht des Autors (Leonard Kleinrock) geprägt
- Konzentriert sich auf die frühen Phasen, gibt dort aber interessante Einblicke



## ■ „ARPA Kadabra oder die Geschichte des Internet“

- Ausführliche Darstellung, unterhaltsam
- Zum Beispiel sehr gelungene Präsentation von Licklider



# ZUSAMMENFASSUNG ...

# Zusammenfassung

## Im Mittelpunkt der Vorlesung: **Das Internet**

- In diesem Kapitel: ein **grober, vereinfachender Überblick** über das Internet (als Beispiel für ein Rechnernetz)
  - Komponentensicht , Dienstesicht
  - Protokoll, Paket
  - Netzrand, Netzkern
- Internet-Historie
  - Grober Überblick über Entwicklungsschritte des Internet



- 1) Welche Sichten auf das Internet wurden vorgestellt? Charakterisieren Sie diese kurz.
- 2) Wann stand die erste Version des Internet bereit und wie viele Knoten umfasste sie?
- 3) Was ist ein Protokoll?
- 4) Welche Komponenten sind am Netzrand angesiedelt?
- 5) Wie ist ein typisches Heimnetz aufgebaut? Wie sieht Ihr Heimnetz konkret aus?
- 6) Beschreiben Sie die Struktur des Internets. Aus welchen Teilnetzen besteht dieses?
- 7) Welche Arten von Zugangsnetzen wurden vorgestellt?
- 8) Welcher Aufgabe dient ein IXP?
- 9) Was ist mit dem „Internet of Everything“ gemeint?
- 10) Was versteht man unter einem Paket?



- 11) Erläutern Sie die Internet-Entwurfsprinzipien.
- 12) Wie wird sich das Internet voraussichtlich weiter entwickeln?
- 13) Wie wirkt sich das Internet auf unsere Gesellschaft aus?
- 14) Was versteht man unter einem Protokoll? Wozu benötigt man Protokolle?
- 15) Ist ein Webserver ein Endsystem?
- 16) Beschreiben sie die verschiedenen drahtlosen Technologien, die Sie im Verlauf eines Tages nutzen.



- [CeKa74] V. Cerf, R. Kahn; [A Protocol for Packet Network Interconnection](#); IEEE Transactions on Communications Technology, Vol. 22, Issue 5, Mai 1974, pp. 637-648
- [CiVNI] Cisco, 2017; <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-hyperconnectivity-wp.html>
- [Clar88] D. Clark; [The Design Philosophy of the DARPA Internet Protocols](#); ACM Computer Communication Review, Vol. 18, Issue 4, August 88, pp. 106-114
- [HaLy00] K. Hafner, M. Lyon; [ARPA Kadabra](#); dpunkt.verlag, 2000
- [Klein10] L. Kleinrock; [An Early History of the Internet](#); IEEE Communications Magazine, Vol. 48, No. 8, IEEE, August 2010, pp. 26-36
- [LCCK+09] B. M. Leiner, V. G. Cerf, D. D. Clark, R. E. Kahn, L. Kleinrock, D. C. Lynch, J. Postel, L. G. Roberts and S. Wolff; [A Brief History of the Internet](#); SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 39, No. 5, ACM, Oktober 2009, pp. 22ff
- [RFC1958] B. Carpenter (Ed.); [Architectural Principles of the Internet](#); RFC 1958, Juni 1996
- [Schn17] B. Schneier; Crypto-Gram, Februar 2017; <https://www.schneier.com/crypto-gram/archives/2017/0215.html#1>
- [Schr14] T. Schrödel; [Ich glaube, es hackt!](#), SpringerSpektrum, 2014