

# Kommunikationsnetze und -protokolle

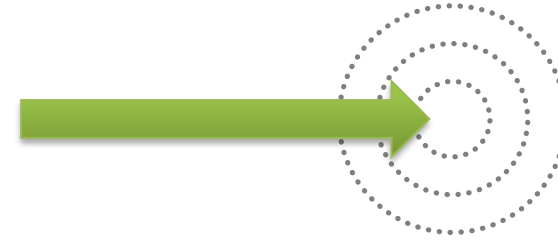
## Grundlagen

Sommersemester 2023  
Bachelor AI – Hochschule Fulda

Sebastian Rieger

- 1 Grundlagen von Kommunikationsnetzen und -protokollen
  - 1.1 Definition Kommunikationsnetze am Beispiel Internet (als Computernetzwerk)
  - 1.2 Definition Kommunikationsprotokolle
  - 1.3 Netzzugang (Edge) und Netzkern (Core)
  - 1.4 Aktuelle Entwicklung des Internets
  - 1.5 Schichten- und Servicemodelle
  - 1.6 Standardisierungsgremien

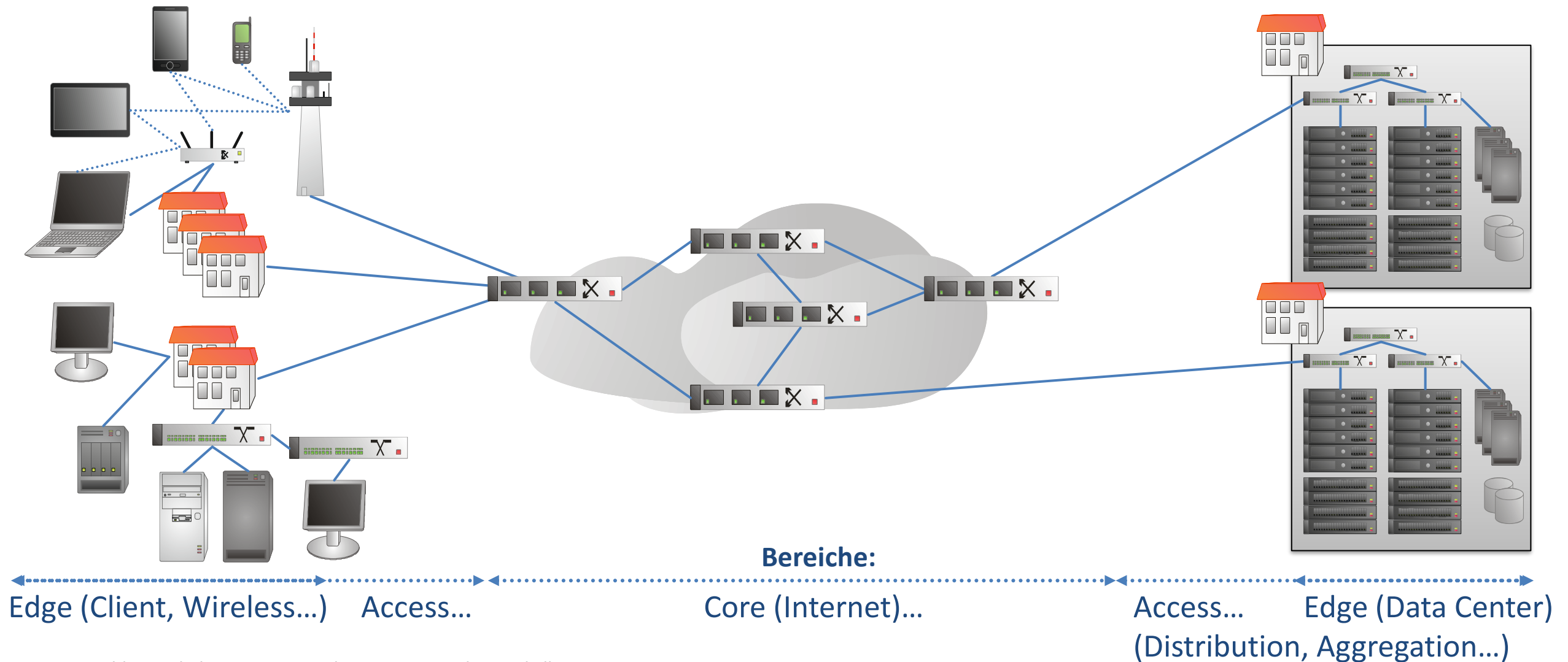
# Lernziele



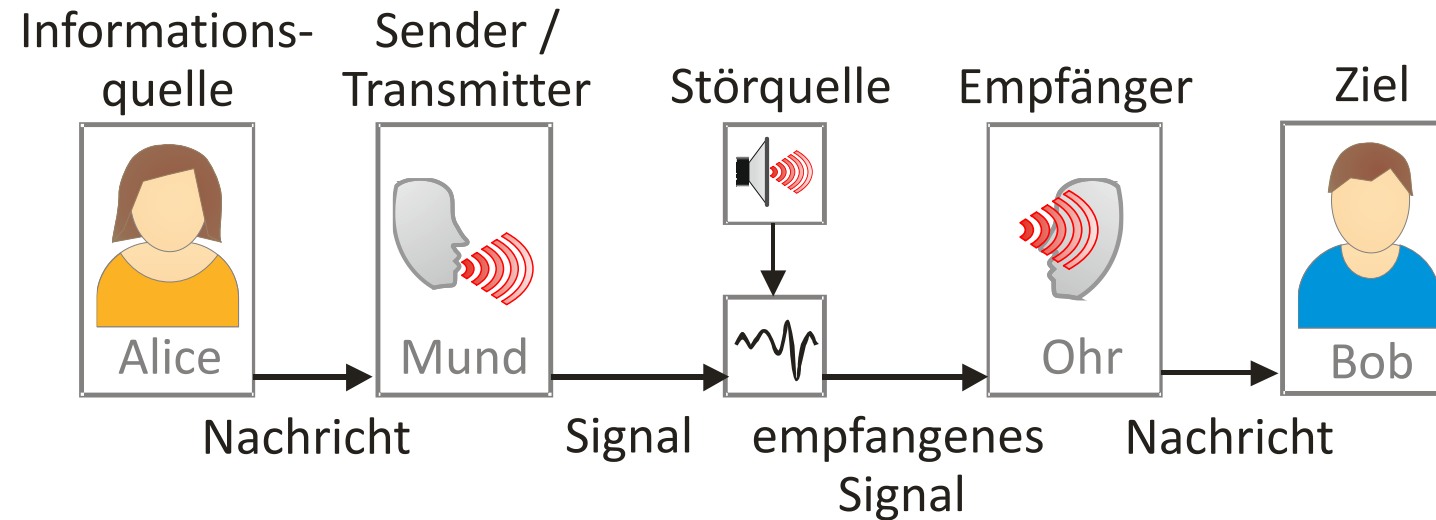
- Ziel
  - Grober Überblick über die Themengebiete und Terminologien im Bereich Computernetzwerke
  - „hands on“ Experimente basierend auf alltäglichen Netzwerkanwendungen (Beispiel: Internet)
- Nach diesem Kapitel sollten Sie wissen...
  - Was ist ein Kommunikationsnetz (am Beispiel Internet)?
  - Was ist ein Kommunikationsprotokoll?
  - Grundlegende Systeme und Aufbau am Netzzugang (Edge) und Netzkern (Core)
  - Welche allgemeinen Anforderungen werden aktuell an Computernetzwerke gestellt?
  - Schichtenmodelle für Protokolle und Dienste (Referenzmodelle)

# Kommunikationsnetze und -protokolle

- Veranstaltung stellt die Grundlagen für Computernetzwerke dar
- Wo haben Sie mit Computernetzwerken zu tun?
- Welche Vorteile entstehen durch Computernetzwerke? Herausforderungen? Nachteile?



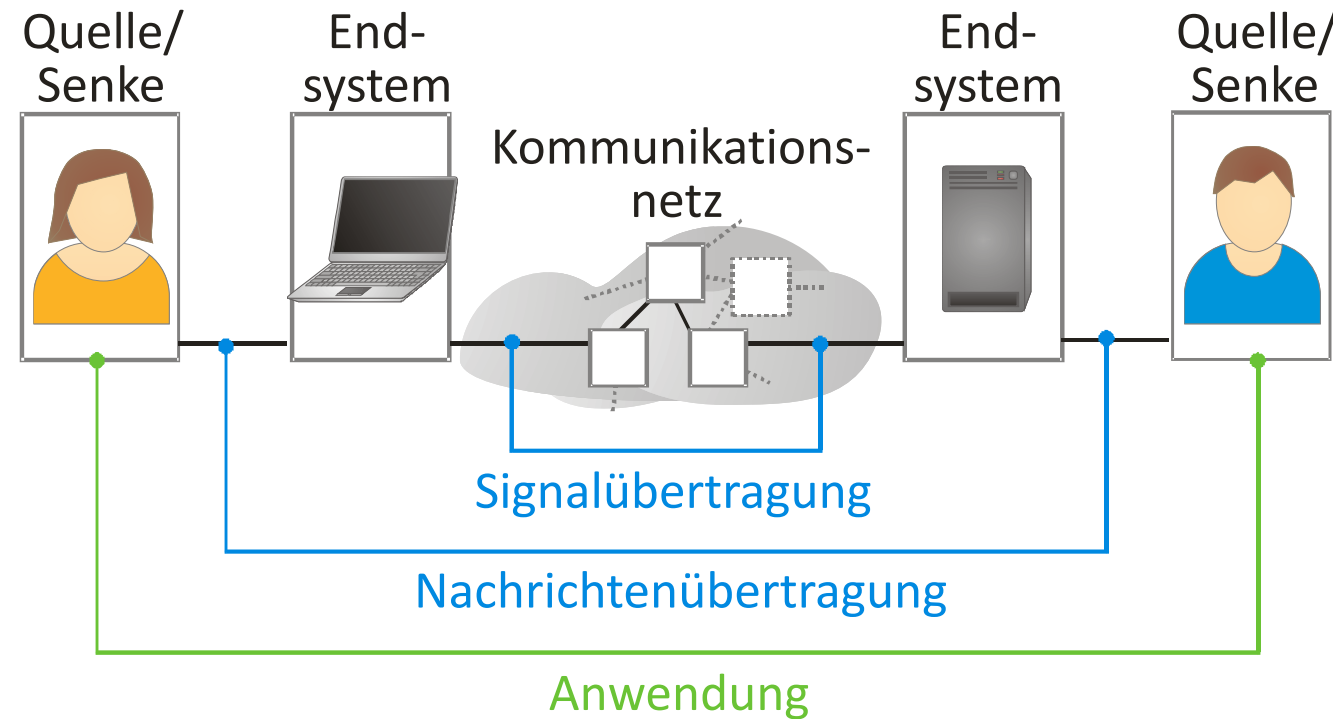
# Kommunikation



**nach:** Shannon, Weaver:  
Mathematical Theory of Communication,  
Illinois Press, 1949

- Kommunikationsmodell nach C. E. Shannon und W. Weaver
  - Übertragung z.B. von A  $\rightarrow$  B (Alice, Bob)  $\rightarrow$  **Kommunikation**
  - Grundlegende Eigenschaften:
    - Unidirektional (simplex), Bidirektional (duplex)
    - Punkt-zu-Punkt (Unicast), Punkt-zu-Mehrpunkt (Broadcast, Multi-/Anycast)
  - Nachricht wird in Signal umgesetzt, übertragen (Störungen möglich), empfangen, interpretiert (Rückgewinnung der Nachricht)

# Kommunikationsnetze



- „Kanal“ für Signalübertragung kann ein Netz aus Vermittlern bilden
  - Endsyste<sup>m</sup>e, Vermittler, Verbindungsstrecken bilden → **Kommunikationsnetze**
  - Anwendung nutzt Schnittstelle am Endsyste<sup>m</sup> zur Nachrichtenübertragung
  - Nachrichtenübertragung nutzt Schnittstelle zum Kommunikationsnetz zur Signalübertragung
  - Ziel: Übertragung von digitalen Informationen (schnell und fehlerfrei)

# Kommunikation zwischen Endsystemen (Hosts)



- Typischer Fall: Bidirektionaler zuverlässiger Transport von Nachrichten
  - Wie läuft ein Nachrichtenaustausch ab?
  - Nachrichten werden als Pakete gesendet. Wie beschreibt man ein (Post-)Paket?
  - Was passiert wenn Nachricht nicht in ein Paket passt?
  - Was bedeutet Zuverlässigkeit?

**Quelle:** McKeown, Stanford, Introduction to Computer Networks

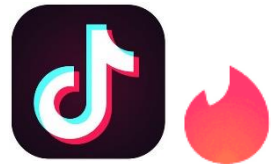
# Internetanwendungen

## Transport von Anwendungsdaten in Paketen...

- World Wide Web (WWW, „Web“)
- E-Mail
- Internet-Suche („googlen“)
- E-Commerce, Banking, Online-Auktionen...
- Soziale Netze (facebook, ...)
- Internet-Telefonie
- Streaming (YouTube, NETFLIX, ...)
- Online Games
- Cloud (DropBox, Kalender, ...)
- ...



WIKIPEDIA



LinkedIn

amazon

ebay

twitter



facebook



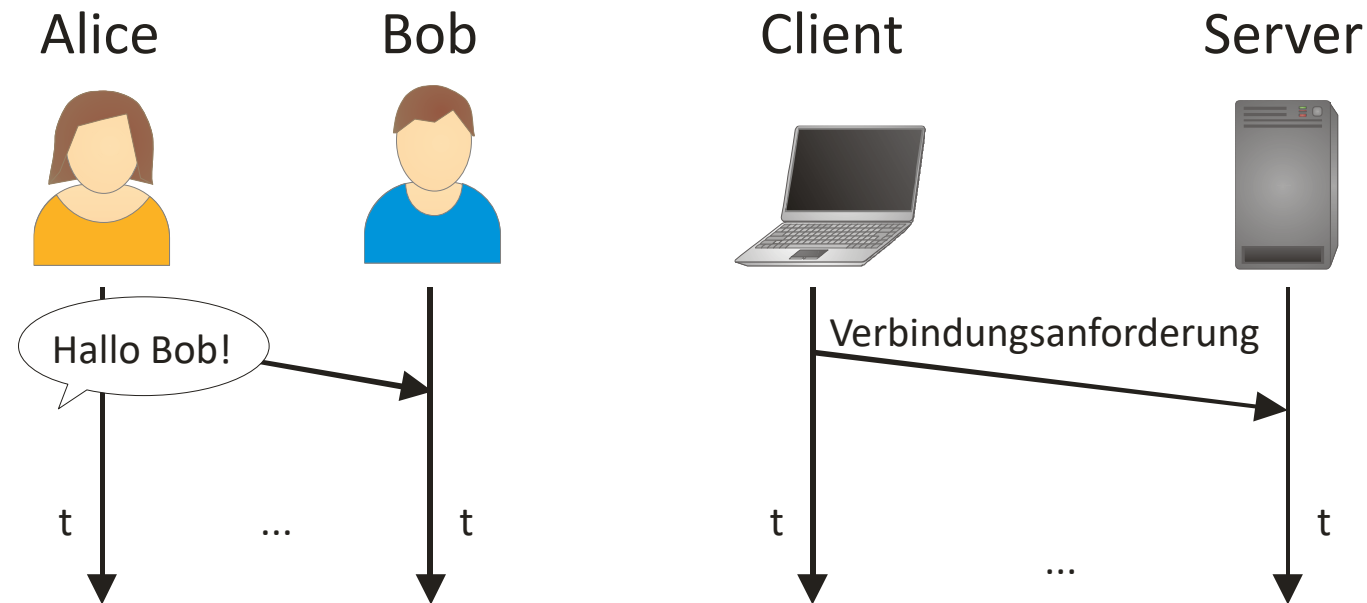
You Tube

NETFLIX





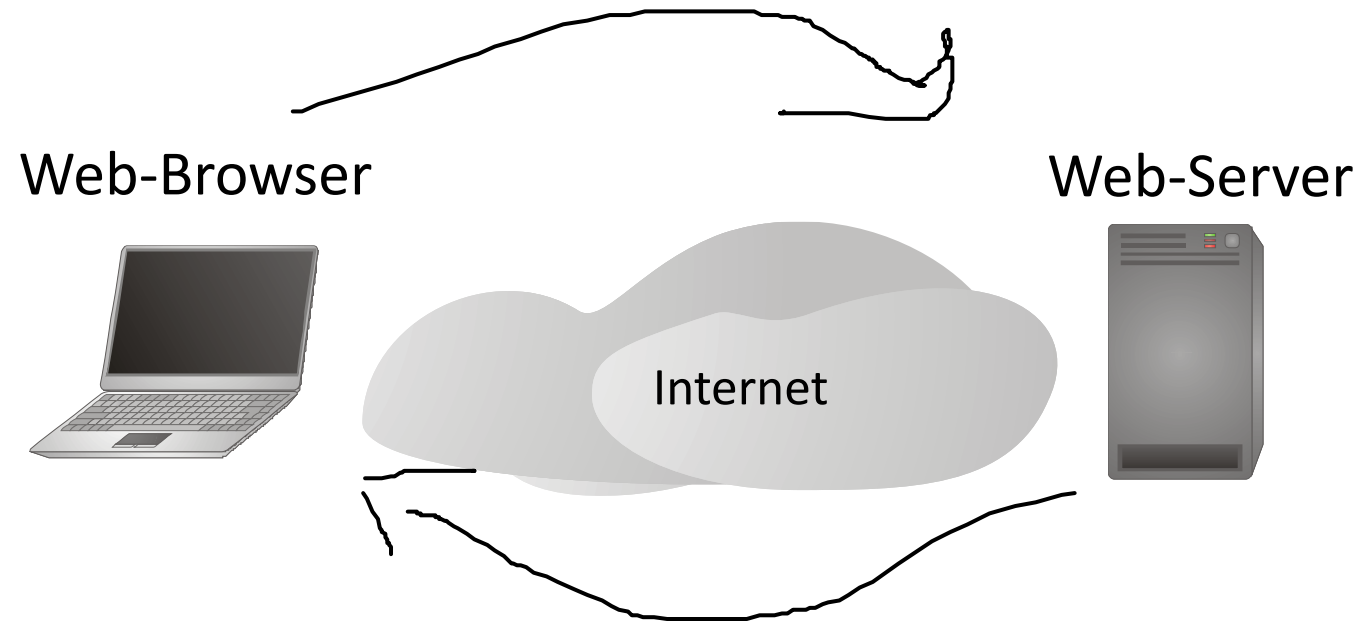
# Kommunikationsprotokolle



nach: Kurose, Ross  
Computernetzwerke, Pearson, 2014

- Kommunikation erfolgt nach einem Protokoll → **Kommunikationsprotokoll**
  - Fester Rahmen/Ablauf für die Kommunikation zwischen Endsystemen
  - Einheitliche Interpretation übermittelter Nachrichten/Daten, Operationen
- Protokolle bauen aufeinander auf
  - Protokolle bilden in der Regel (internationale) Standards
  - Jedes Protokoll kümmert sich (nur) um seine Aufgabe

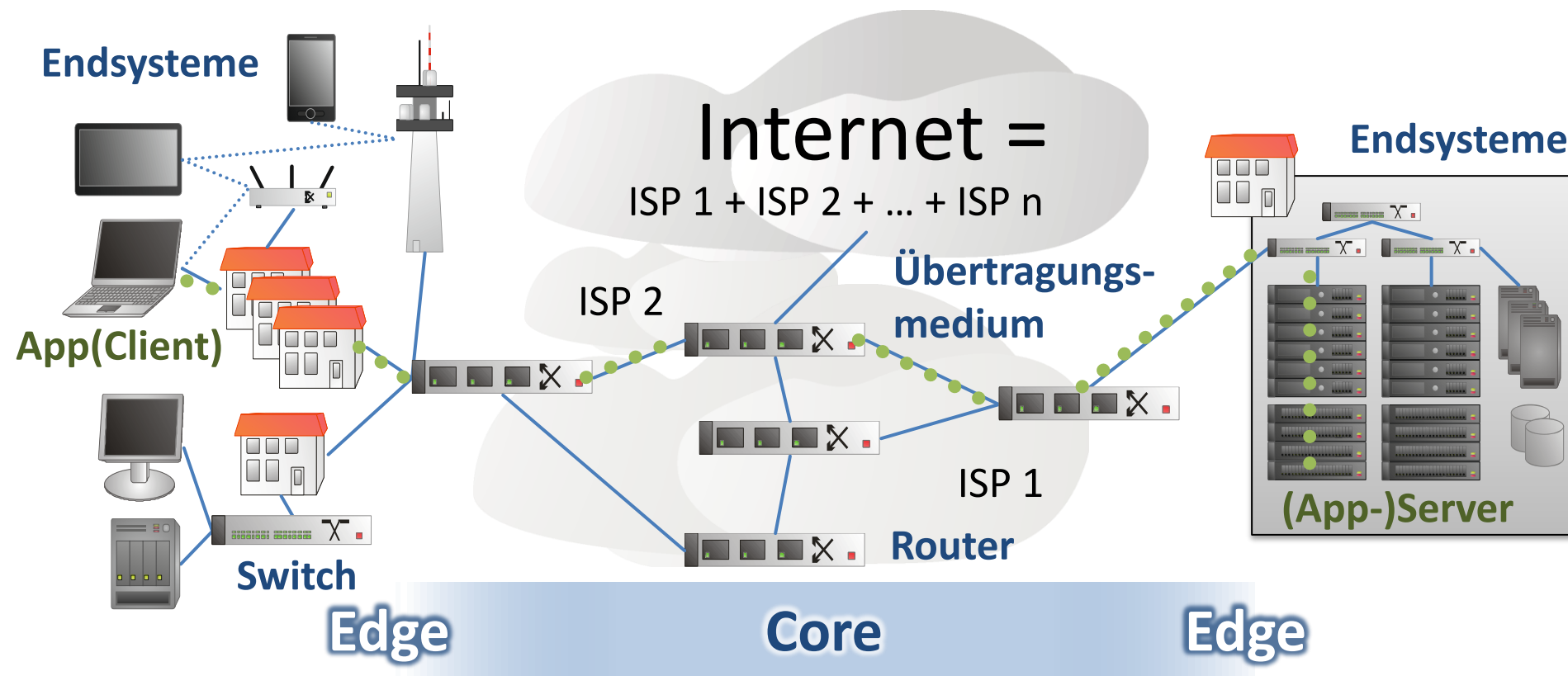
# World Wide Web Protokoll (HTTP)



- HyperText Transfer Protokoll (HTTP)
  - Wie läuft ein Nachrichtenaustausch ab?
  - Was bedeutet Hypertext und Hypermedia in diesem Fall?
  - Wie wirkt sich dies auf den Nachrichtenaustausch aus?

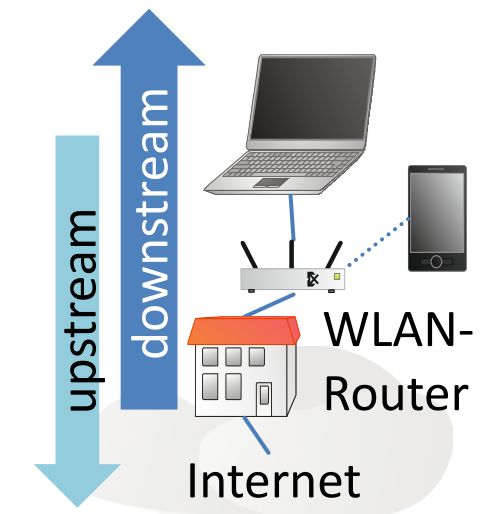
# Das Internet als „Kommunikationsnetz“?

- Vielzahl von über Internet Service Provider (ISPs) angebundenen Endsystemen → nicht ein einzelnes Netz!
  - Hosts (Clients, Server), Server häufig in großen Rechenzentren (Data Center)
- Bereitstellung von Netzwerkanwendungen
  - Verwendung von (weltweit standardisierten) Kommunikationsprotokollen
- Vermittler (Netzknoten) leiten Nachrichtenblöcke in Form von Paketen weiter
  - Router, Switches, ...
- Übertragungsmedien (Glasfaser, Kupfer, Wireless, ...) kurz „Link“
  - Bandbreite, Latenz, ... Medienzugriff („shared medium“ oder „dedicated medium“)



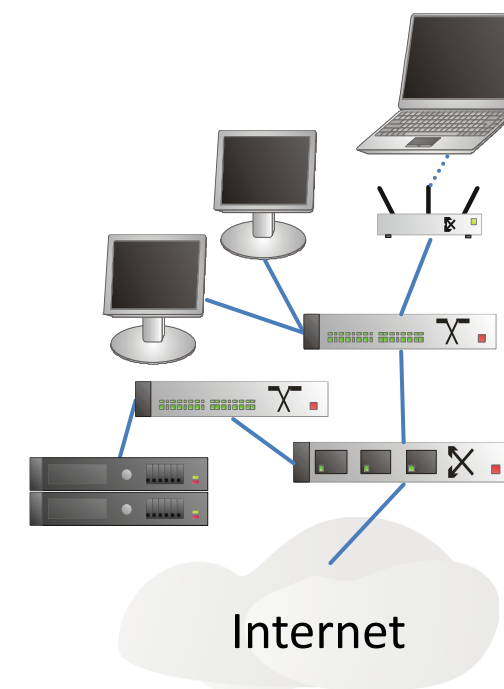
# Access am Edge: Beispiel Heimnetz

- Internetzugang (inkl. „Telefon“, „Fernsehen“):
  - DSL (Telefonkabel, verdrehtes Adernpaar) z.B. bis zu „250“ Mbit/s Empfangsrichtung (downstream), 40 Mbit/s senden (upstream, bei Glasfaser 50 Mbit/s)
  - Kabelanschluss (Koaxialkabel) z.B. bis zu 1000 Mbit/s downstream, 50 Mbit/s upstream ...
  - Angebote mit Glasfaser etc.  $\geq 1000$  Mbit/s (bzw.  $\geq 1$  Gbit/s)
- z.B. WLAN-Router mit den Funktionen:
  - Router (verbindet lokales (Heim-)Netz mit Internet)
  - Switch (verbindet lokale Endgeräte per Kabel mit Heimnetz)
  - WLAN (verbindet lokale Endgeräte über WLAN mit Heimnetz)
  - Zusätzlich auch: Firewall, NAT, DHCP, ... wie wir später behandeln ;)
    - Schutz der Endgeräte vor Angriffen aus dem Internet
    - Verwaltung und Zuweisung von Netzwerkadressen



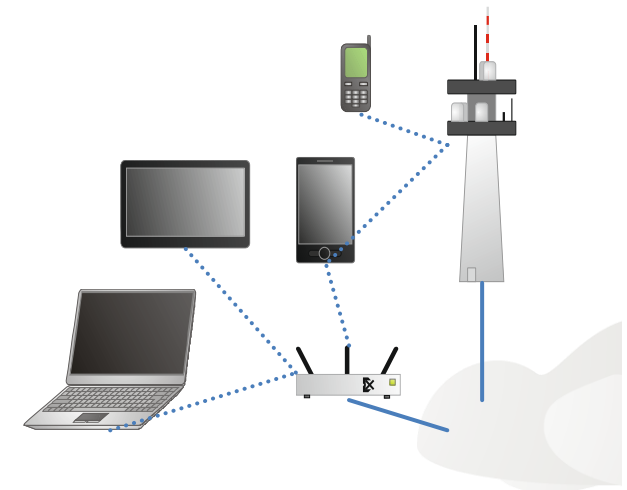
# Access: Unternehmen, Hochschule, ...

- Lokales Netz für mehrere Gebäude, Abteilungen etc.
  - Verwendung mehrerer Switches
    - z.B. Switches für Server, Switches für Clients
    - z.B. Bitrate 10 Gbit/s, typisch 1 Gbit/s, auch 2,5/5/25/40/100/400/800 Gbit/s verfügbar,  
>= 1 Tbit/s am Horizont
- Router für Internetzugang über ISP
- Viele weitere Netzkomponenten
  - Firewalls, VPN ... behandeln wir wie gesagt später ;)



# Access: Wireless als zunehmender Trend am Edge

- Insb. für Zugriff über mobile Endgeräte
- WLAN
  - Lokales Netz, geringe Reichweite z.B. über Access Points in Gebäuden
  - Bitrate z.B. bis zu  $\sim 5$  Gbit/s brutto, aber „shared medium“ sowie Realität auch für einzelnen Empfänger weit darunter ( $n \cdot 100$  Mbit/s brutto in unmittelbarer Nähe zu Sender, netto ca.  $/2$ )
- Mobilfunk
  - „Wide Area“ Netz, mehrere „Funkzellen“ mit Sendemasten
  - (GSM), EDGE, UMTS (3G), LTE (4G), 5G in Entwicklung...
  - z.B. max. Bitrate  $\sim 1$  Gbit/s brutto (LTE-AP Cat 16)
  - 5G bis zu [20Gbit/s](#) ...was wird 5G und 6G wirklich bringen?
  - Realität weit darunter, Achtung: „shared medium“



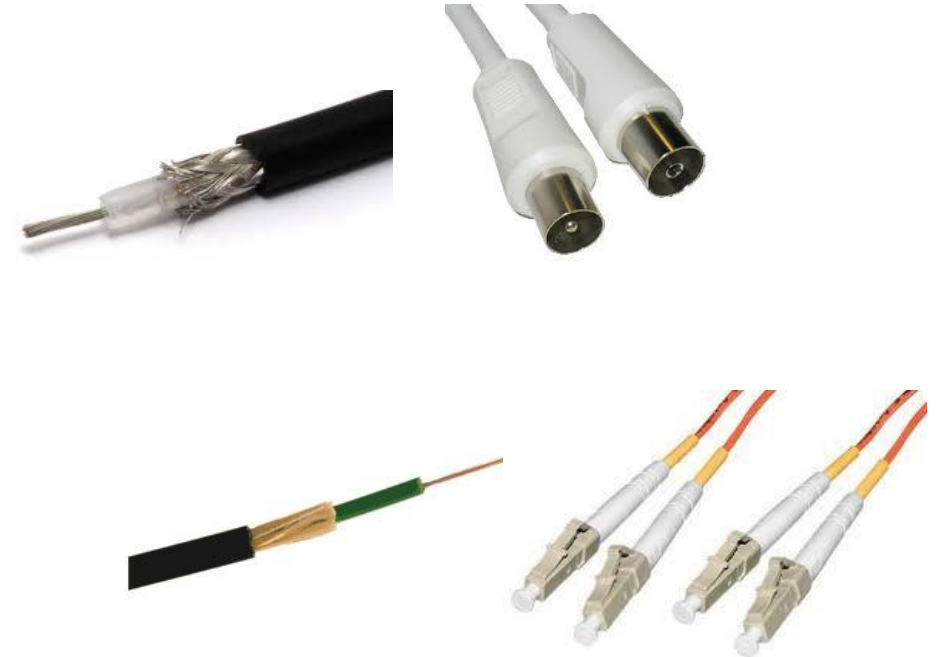
# Übertragungsmedien

- Physikalische Strecke zwischen Sender und Empfänger (zur Signalübertragung, Bitrate)
  - Leitungsgebundene Medien (Signal breitet sich gerichtet über Kabel aus: Kupfer, Koax, Glasfaser...)
  - Leitungsungebundene Medien (Signal breitet sich frei aus z.B. Funk, bzw. „wireless“ ;-)
- Leitungsgebundenes Medium: Twisted Pair (TP) Kabel
  - Verdrillte Kupferaderpaare
    - z.B. Trennung von Sende-, Empfangsrichtung, Bündelung mehrerer Paare etc.
  - Unterschiedliche Qualität (Abschirmung, Verdrillung, ...)
    - CAT(egory) 5 TP-Kabel: 1 Gbit/s
    - CAT 6/7:  $\geq 10$  Gbit/s
    - CAT 8: 25 und 40 Gbit/s – Grenze?



# Weitere leitungsgebundene Medien

- Koax
  - Koaxialkabel mit Innen- und Außenleiter (Kupfer)
  - Bidirektionale Breitbandübertragung
- Glasfaser (Fiber, „LWL“ Lichtwellenleiter)
  - Optische Übertragung (Licht) über LWL Kabel
  - Separate Faser für Senden und Empfangen
  - Im einfachsten Fall: Licht an/aus = 1 Bit
    - in der Regel mehrere „Farben“ parallel (bzw. sog. Wellenlängenmultiplex)
  - Sehr gute Übertragungseigenschaften
    - Extrem hohe Bitrate, typisch  $n \cdot 100$  Gbit/s, z.B.: [319 Tb/s: Japanische Forscher erreichen Rekordgeschwindigkeit im Internet](#) (Heise 7/2021) [290 Gbaud über eine Farbe](#) (Heise 10/2022)
    - Geringe Verzögerung (Latenz)
    - Geringe Bitfehlerrate, zusätzlich unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen





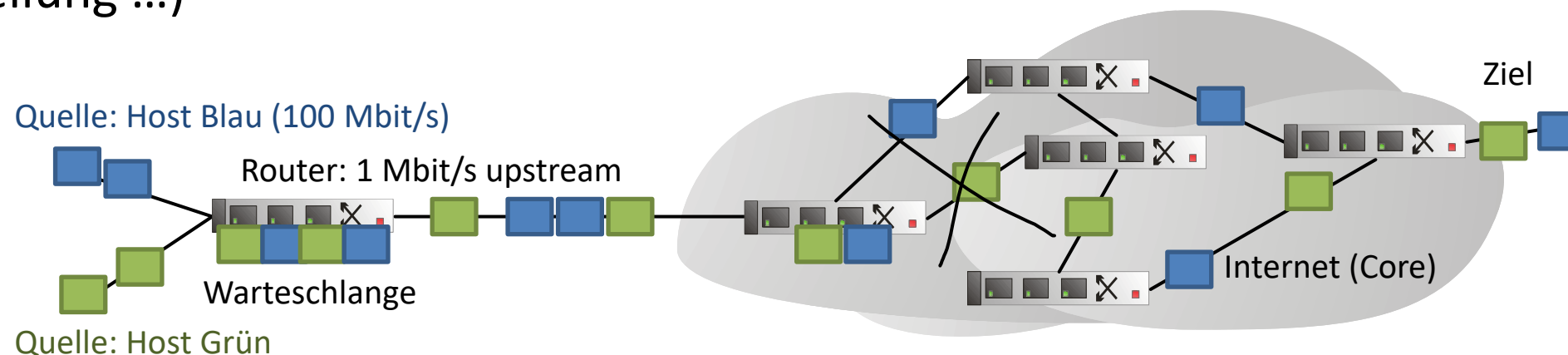
# Leitungsungebundene Medien

- Signal wird über (z.B. elektromagnetische) Wellen über „Luft“ übertragen
- Bidirektionale Verwendung
- Unterschiedliche Störeinflüsse:
  - Reflexion, Interferenzen, Dämpfung (Wände etc.), ...
  - Hohe Verzögerungen (Signallaufzeiten), höhere „Bitfehlerrate“ im Vergleich zu Kabel
- WLAN (WiFi, „wireless“)
  - Z.B. häufig max.  $n \cdot 100$  Mbit/s brutto
- Mobilfunk
  - Z.B. häufig wenige Mbit/s bei UMTS (3G),  $<100$  Mbit/s bei LTE (4G), 5G wenige Gbit/s?
- Weitere drahtlose Übertragungsformen:
  - Satelliten, Mikrowellen, optischer Richtfunk...

# Wie werden die Daten über Links übertragen?

## Paketvermittlung im Internet (Netzkern/Core)

- Verbund aus Routern z.B. über ISPs, Städte, Länder, Kontinente...
- Pakete werden im Core mit max. Bitrate des jeweiligen Links versendet
  - Verzögerung durch Verarbeitung, Versand, Stau...
  - Wenn Warteschlangen voll, werden Pakete verworfen (mehr dazu z.B. in LVA „Multimedia-Kommunikation“)
- Router haben als Vermittler insbesondere zwei Aufgaben
  - Routing: Entscheidung auf welche ausgehenden Verbindung (Link) das Paket weitergeleitet werden soll (z.B. durch Ziel-Adresse)
  - Forwarding: Weiterleitung des Pakets bzw. Versand auf Ausgangslink (Port)
- Pakete einer Quelle können über unterschiedliche Pfade zum Ziel laufen (Fehlertoleranz, Lastverteilung ...)



# Klassifizierung von Netzen nach Ausdehnungsgebiet

- Wide Area Network (WAN) > 100 km Ausdehnung
  - Technologien: WDM, Ethernet, SDH ...
  - Sonderform: Global Area Network (GAN), weltweit/global, vgl. Internet
- Metropolitan Area Network (MAN) ca. 10 - 100 km Ausdehnung
  - auch City-Netze bzw. Metro-Netze genannt
  - Technologien: Ethernet ...
- Local Area Network (LAN) ca. 10m - 10km
  - Technologien: Ethernet, WLAN ...

(Storage Area Network (SAN) häufig wenige 100 Meter

- In Rechenzentren für Storage-Anbindung

Personal Area Network (PAN) <10 m

- Koppelung von Geräten per Bluetooth usw.)

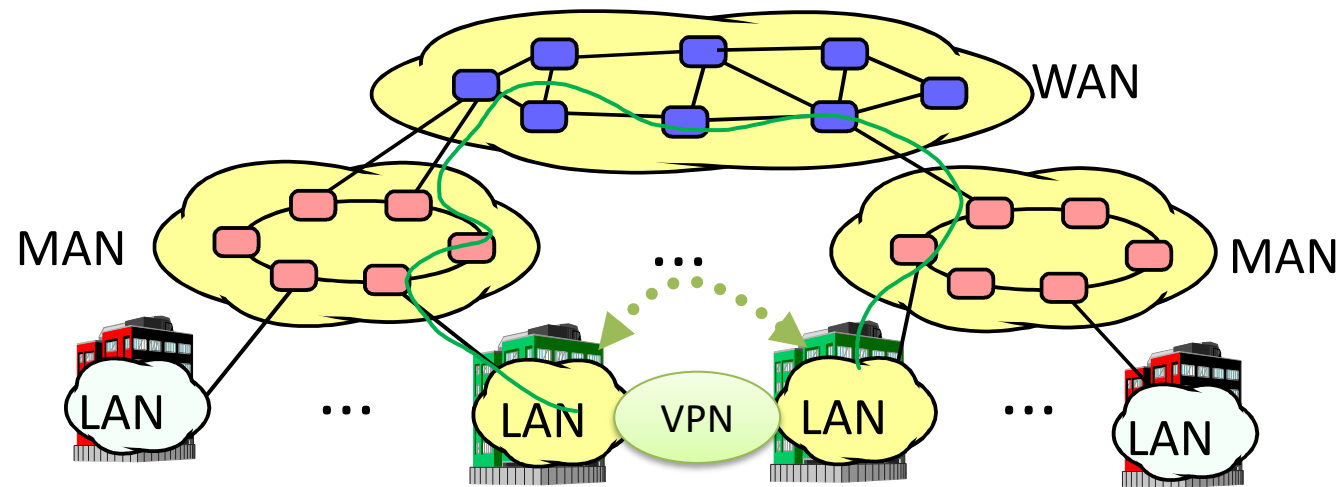
# WAN Netze – real und virtuell

- WAN und MAN bilden digitale Hochgeschwindigkeitsnetze, z.B. für Stadt, Region, Land
  - Hohe Kosten für die Realisierung durch erforderliche Ausdehnung und Geschwindigkeit
  - Häufig werden diese Netze daher für eine Vielzahl von (Internet-)Diensten verwendet: Telefonie, Datenübertragung, ...
- Wenn Unternehmen Stadtnetze oder WAN Verbindungen anmieten ist deren öffentliche Verfügbarkeit (public network) hinderlich, ein separates eigenes Netz (eigene Vermittler, Linkstrecken) (private network) jedoch zu kostenintensiv
- **Lösung z.B.:** Virtual Private Networks (VPN)
  - Virtuelle (logische) Netze über öffentliche Netze (insb. Internet), vgl. virtuelle Verbindung bei Paketvermittlung
  - Feste Wegewahl (Routing) mit einzelnen Technologien möglich
  - Verschlüsselung der übermittelten Daten (dadurch private)
  - Technologien: Transport Layer Security (TLS), WireGuard, IPsec, MPLS, ...

# Beispiele für Virtual Private Networks (VPN)

- „Firmen-VPN“: <https://doku.rz.hs-fulda.de/doku.php/docs:vpn>
  - [Homeoffice dank Corona: VPN-Nachfrage steigt massiv an](#) (Heise 4/2020)
- „self hosted“ VPN z.B. auf Router oder Server@home:
  - WireGuard, OpenVPN, ...
- Anonymisierung
  - CyberGhost, NordVPN, ...
- Peer2Peer-VPN
  - TailScale, ZeroTier, ...
- Overlaynetze für Container/Kubernetes etc.

# Typische Netzstruktur WAN, MAN, LAN

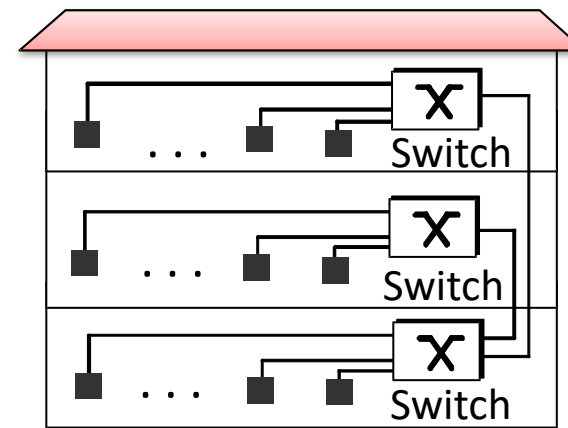


- Darüber hinaus sind virtuelle Netze (Overlays) möglich
  - Logische Netze oberhalb von physikalischen Netzkomponenten
  - z.B. Virtual Private Network (VPN) (End-to-End, Site-to-Site, Remote-Access)
- Wie würden Sie die Form der Netzstruktur von WAN und MAN im Beispiel beschreiben?

# Aufbau von LANs

- LANs sind lokale Netze z.B. eines Unternehmens etc., lassen sich unterscheiden in:
  - Kabelgebundenem LAN und drahtlosem „Wireless LAN“ (WLAN), sowie
  - Shared-Medium-LANs und Switched-LANs (typischerweise Ethernet)
- Shared-Medium heute praktisch nur bei „WLAN“
- Switched-LAN enthält einen oder mehrere Knoten (sogenannte Switches), die Hosts (z.B. Client/Server) nach Bedarf miteinander verbinden

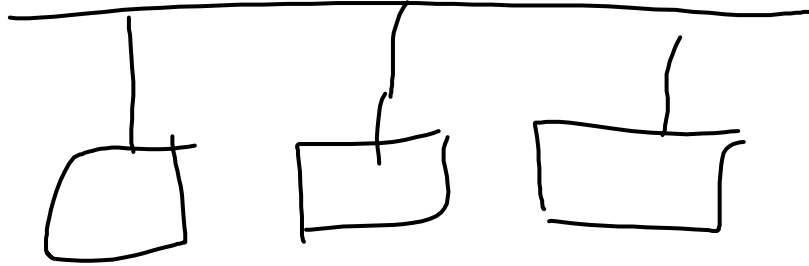
Beispiel: Aufbau eines Switched-LAN



■ LAN-Arbeitsplatz (Client) bzw. -Server

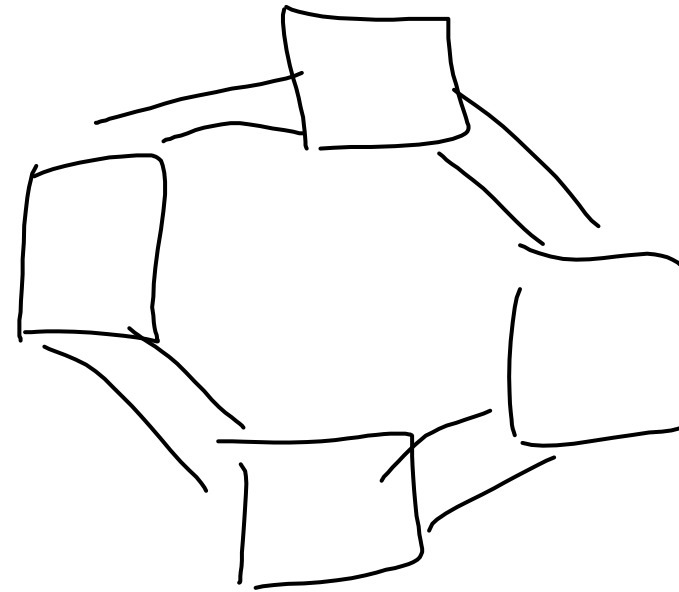
Quelle: Badach, Skript Kommunikationsnetze

# Netztopologien



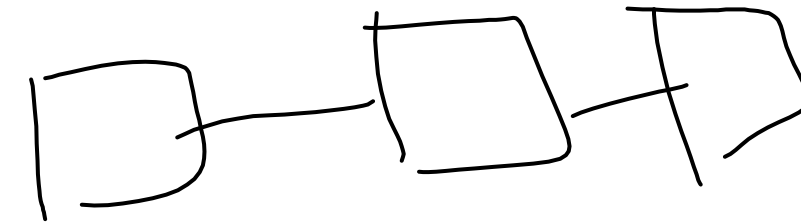
Bus

- Shared Medium
- Früher in kabelgebundenen LANs eingesetzt
- Vergleichbar heute: WLAN



Ring

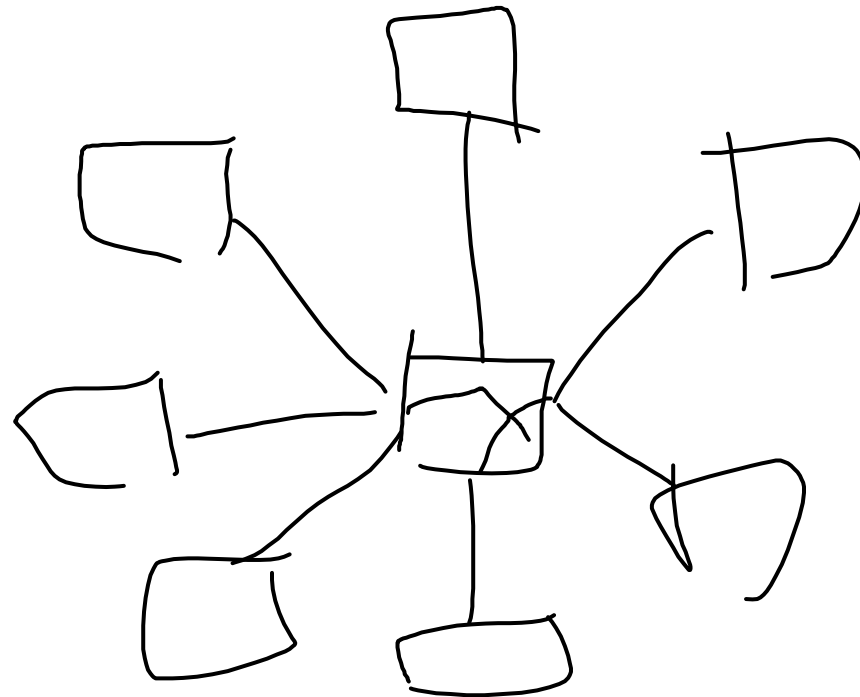
- Früher in kabelgebundenen LANs eingesetzt
- Heute teilweise in MANs etc., in aller Regel werden dann zwei oder mehr Ringe für Fehlertoleranz verwendet



Linear

- Praktisch keine Bedeutung

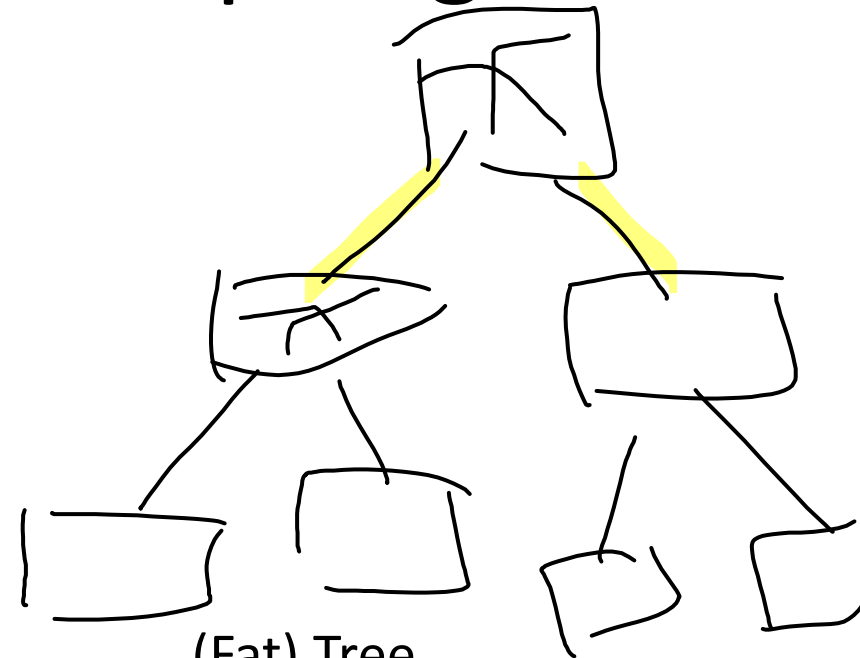




Stern

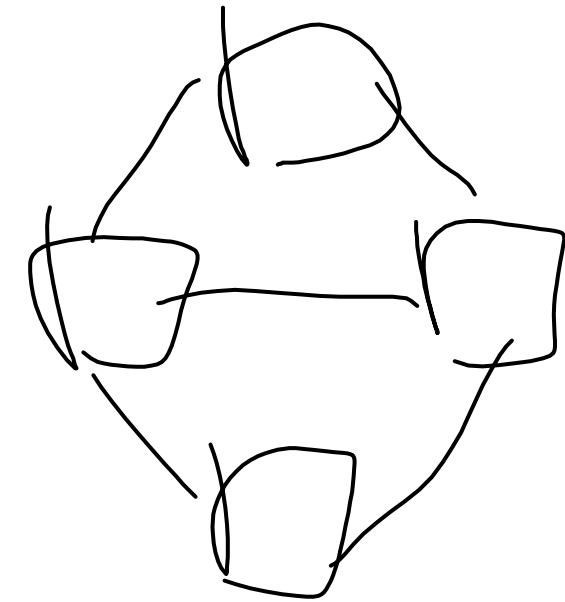
- Typische Struktur in aktuellen LANs
- Früher shared medium (Hub vgl. „Radnarbe“ in der Mitte) heute Switch im Zentrum

# Netztopologien



(Fat) Tree

- Sonderform des Sterns
- De-facto-Standard für alle größeren LAN Strukturen
- Hierarchischer Aufbau z.B. zunehmende Bitrate (Linkkapazität) zur Wurzel hin (fat tree), da diese als „Umschlagplatz“ fungieren



(Partial) Mesh

- Aktuell und zukünftig zunehmende Bedeutung in LANs
- Herausforderung: Verhinderung von Schleifen (sind in Tree nicht möglich)
- Bessere Lastverteilung bzw. Auslastung aller Links

# Die Hochschule als Teil des Deutschen Forschungsnetzes (DFN) als Teil des Internets ...

## Anbindung HS-Fulda (Quelle DVZ 3/2021):

- zwei redundante Leitungen
- Gebäude E (→ Kassel), M (→ Gießen)
- jeweils 1500 Mbit/s (symmetrisch)

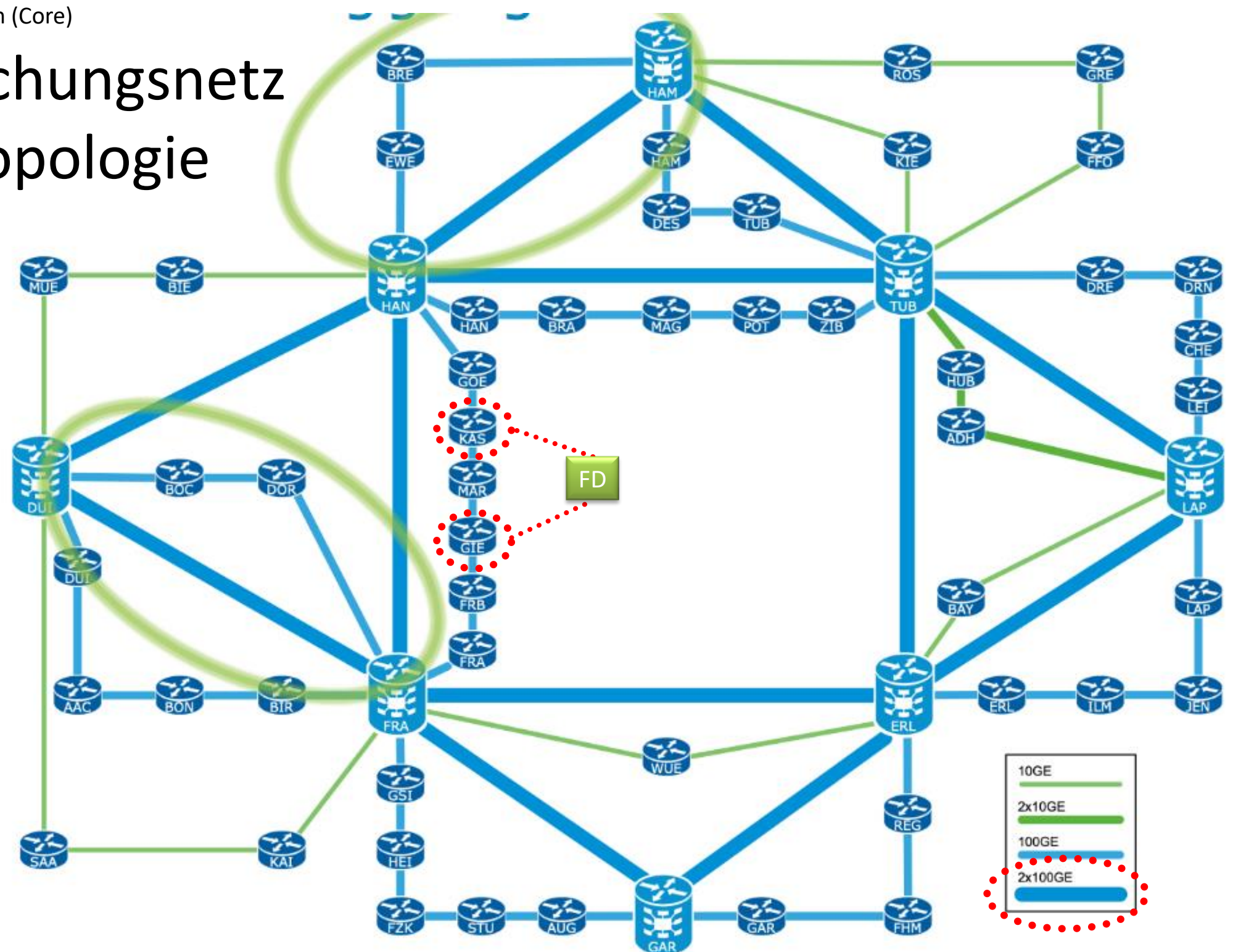


Quelle: DFN-Verein, [Stand 9/2018](#)

# Deutsches Forschungsnetz (DFN): X-WiN Topologie

**Quelle:** DFN-Verein, [Stand 9/2020](#)

...gerade ist die neue Core-Netz  
Technologie im Aufbau...  
Betriebstagung 3/2023



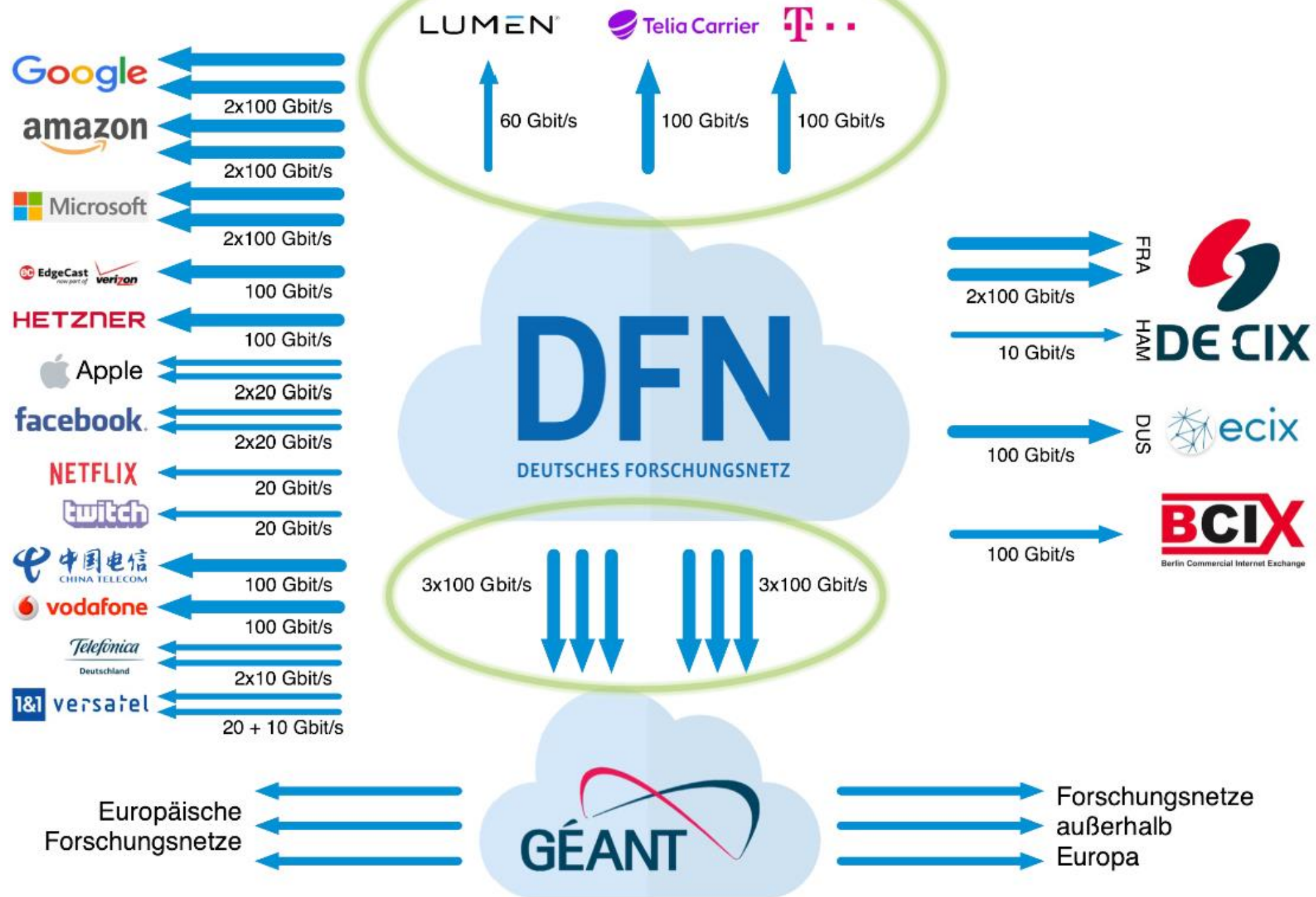


# Außenanbindungen des X-WiN – aktueller Stand

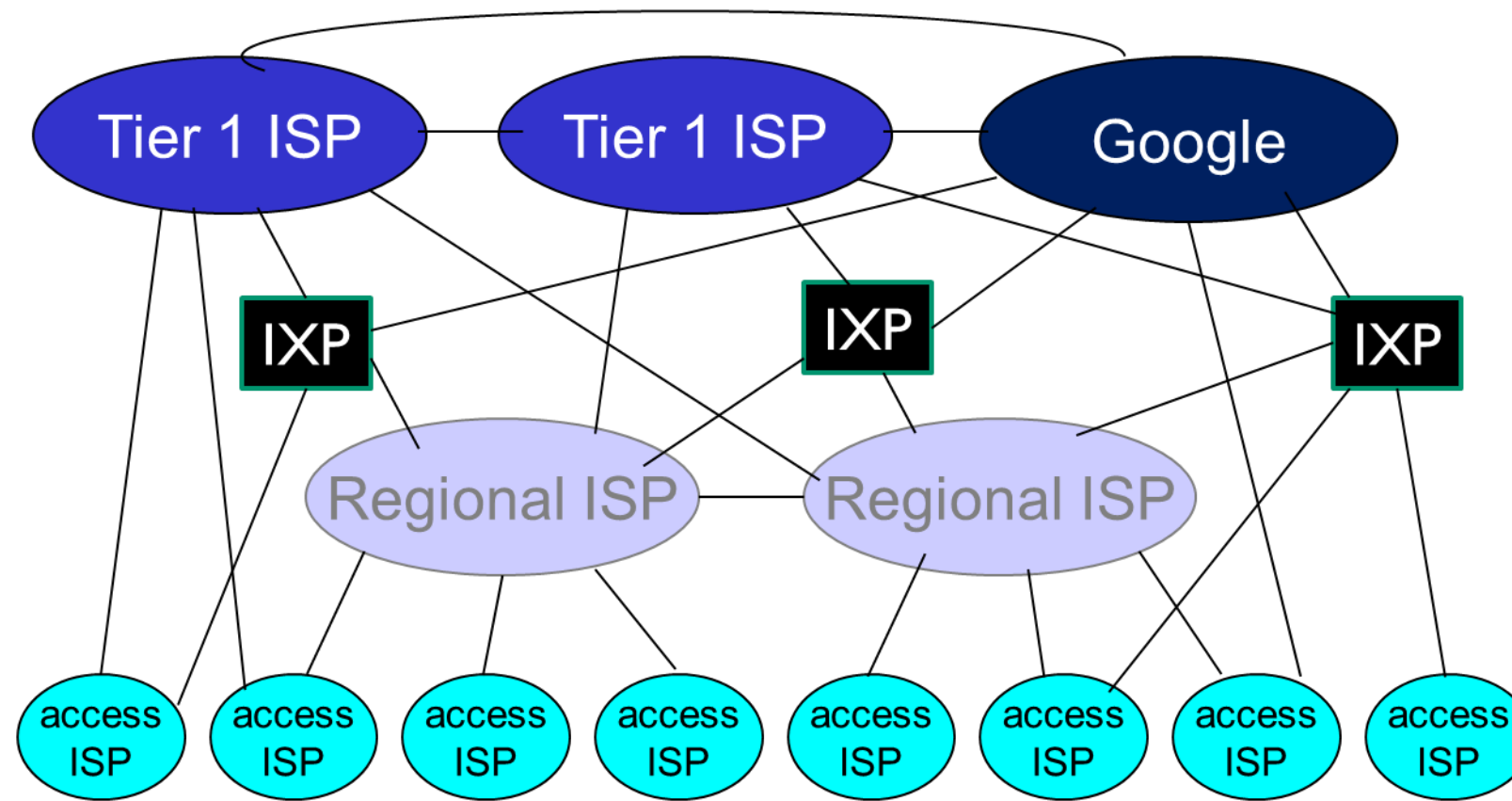
Deutsches  
Forschungsnetz  
(DFN): Anbindung an  
das restliche Internet

Quelle: DFN-Verein, [Stand 3/2022](#)

...Peering mit privaten  
Internetanbietern 2020  
ausgebaut bedingt  
durch Bedarf für  
Home Office...



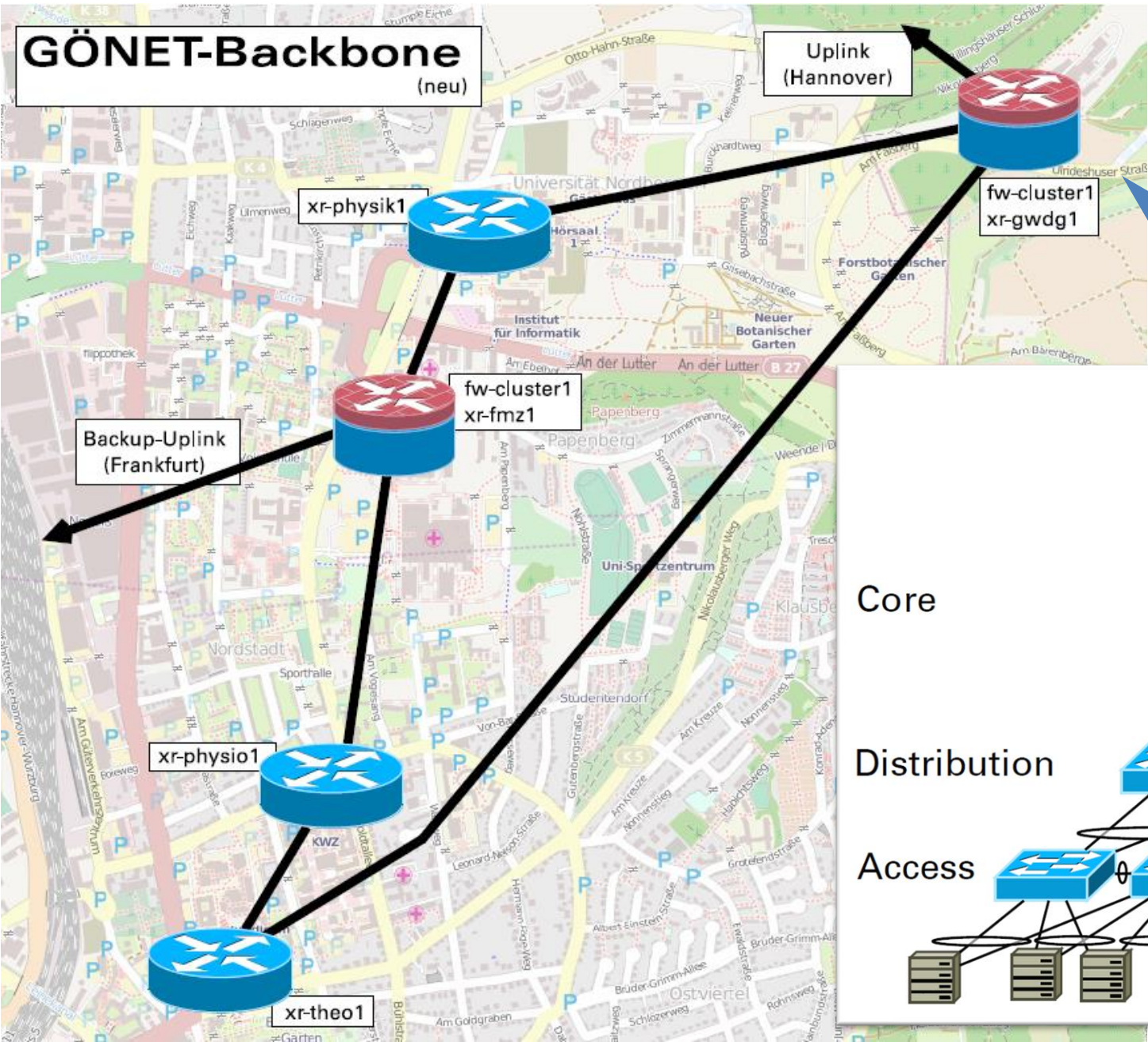
# Das Internet als Netz der Netze



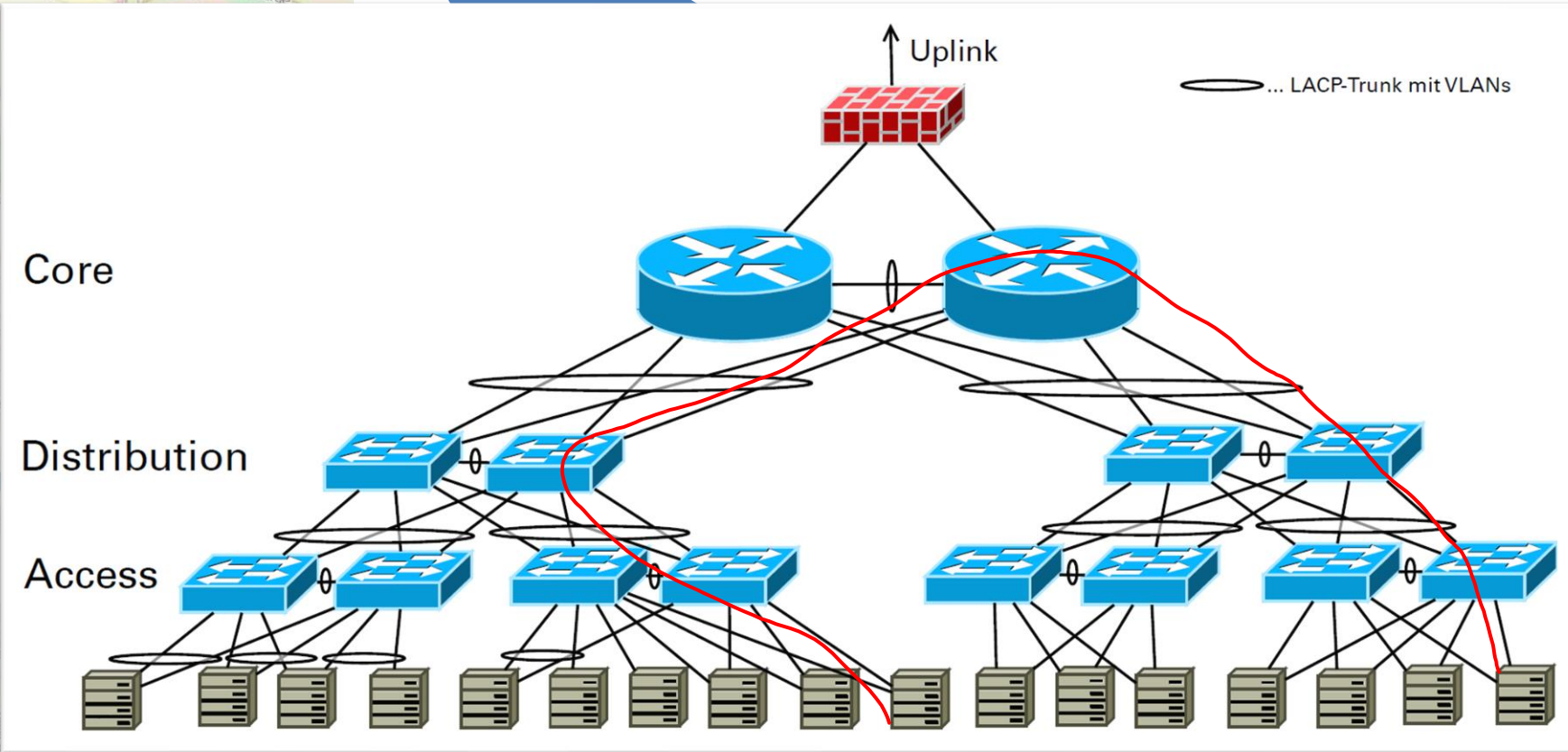
- Im Zentrum: geringe Anzahl von gut vermaschten Netzen
- Tier-1: sog. kommerzielle ISPs (z.B. Level 3, Sprint, AT&T, NTT), nationale und internationale Abdeckung
- Internet eXchange Points (IXP) (auch „Peering“ genannt) als Umschlagplatz, Beispiel: [www.de-cix.de](http://www.de-cix.de)
- Content Provider (z.B. Google, Akamai): private Netze, die die Rechenzentren der großen Player an das Internet anbinden (häufig bypass zu Regional- und Access-ISPs...)



# Beispiel für Campus/Metro-Network (LAN/MAN) GÖNET

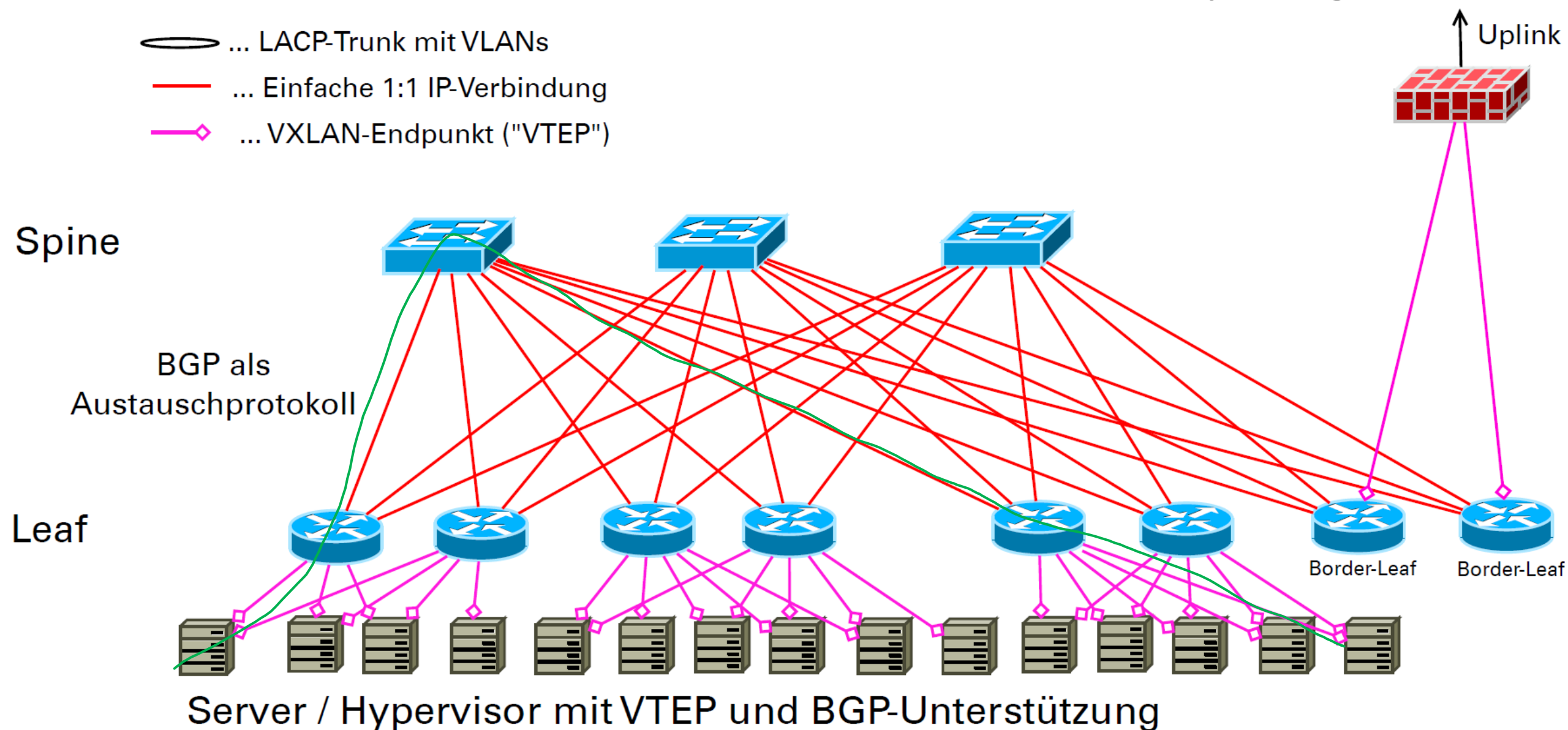


Data Center (Rechenzentrum) Netz  
GWDG alt:



Quelle: GWDG

# GWDG Data Center Netz neu (neue Struktur an HS-Fulda ähnliche Topologie)





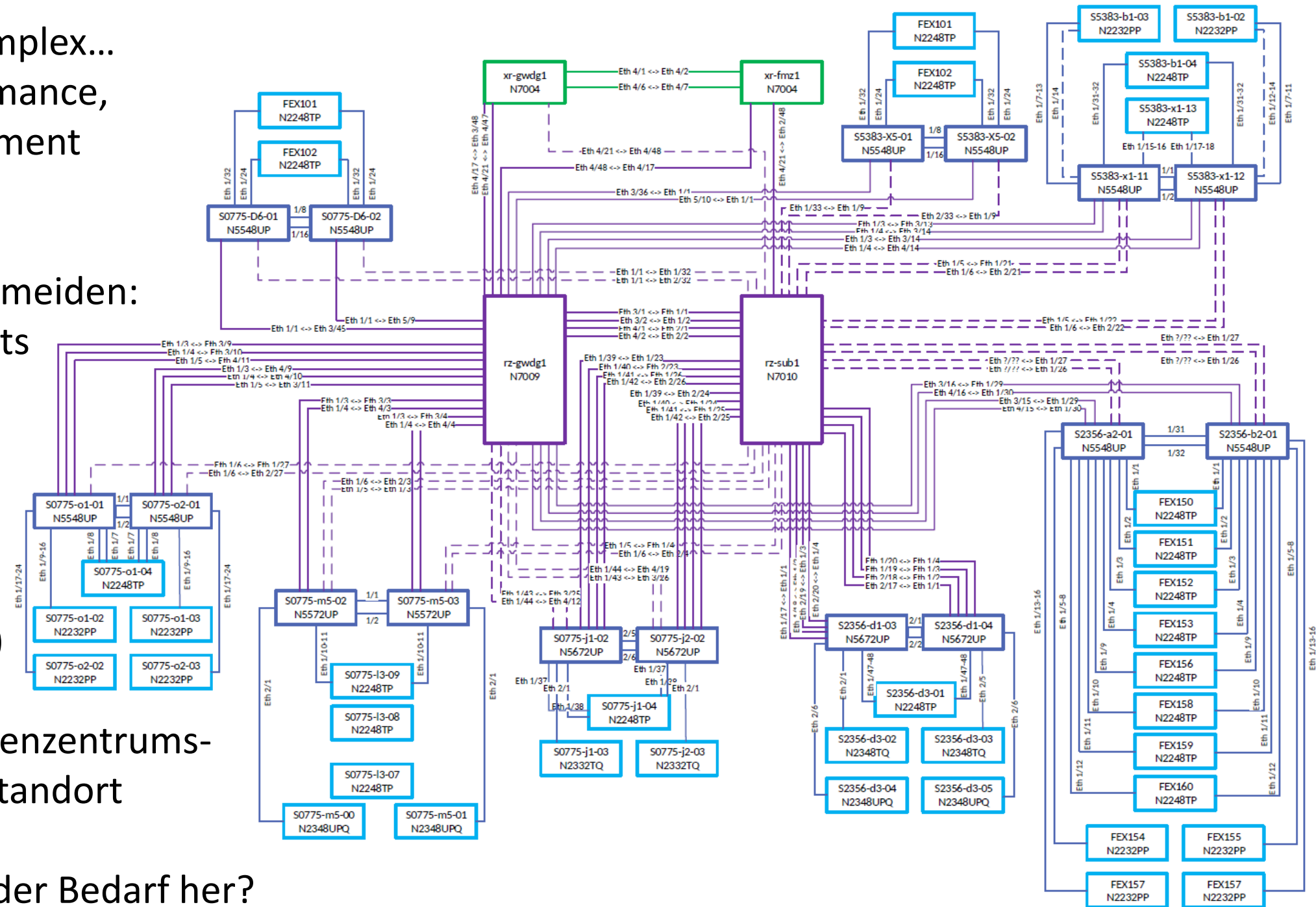
Im Detail wird es schnell komplex...  
Herausforderung für Performance,  
Fehlertoleranz und Management  
von Netzen!

Aber das lässt sich kaum vermeiden:

- 60 Leaf Switches à 48 Ports  
(je 25 Gbit/s, 100 Gbit/s  
zu Spines)
- heißt max. ~2880 Ports,  
z.B. Server, darauf dann  
mehrere Dienste  
(virtuelle Maschinen etc.)

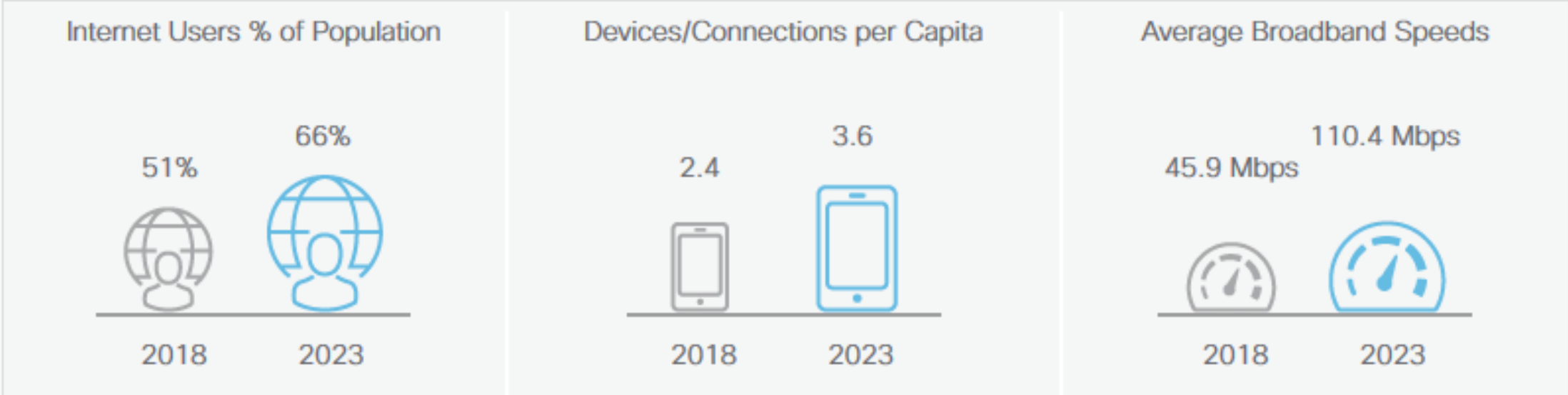
...und das ist „nur“ das Rechenzentrums-  
netz, und nur an einem (!) Standort

Warum so viel? Wo kommt der Bedarf her?





CATEGORY TRAFFIC SHARE		
TOTAL TRAFFIC		
	Category	Total Volume
1	Video	53.72%
2	Social	12.69%
3	Web	9.86%
4	Gaming	5.67%
5	Messaging	5.35%
6	Marketplace	4.54%
7	File Sharing	3.74%
8	Cloud	2.73%
9	VPN	1.39%
10	Audio	0.31%
	Category	Total Volume
1	YouTube	14.61%
2	Netflix	9.39%
3	Facebook	7.39%
4	Facebook video	4.20%
5	Tik Tok	4.00%
6	QUIC	3.98%
7	HTTP	3.58%
8	HTTP Media Stream	3.57%
9	BitTorrent	2.91%
10	Google	2.79%



Schnelles Internet, zunehmende Anwendung, Video, Wireless, überall?

- [Sandvine Global Internet Phenomena](#) 1/2022 (1/2023 leider noch nicht kostenfrei ;)
- [Cisco Annual Internet Report](#)
- [ARD/ZDF-Onlinestudie: Fast alle Deutschen im Netz, Mediatheken immer beliebter](#) (Heise 11/2021)
- <https://breitbandmessung.de> ([Recht auf "schnelles" Internet: Regulierer setzt mindestens 10 Mbit/s an](#), Heise 3/2022)
- [Umfrage: 38 Prozent der Deutschen beklagen häufiger Internetprobleme](#) (6/2022)
- [Netze: Bund will "Gigabit-Strategie" für FTTH und 5G überall](#) (Heise 3/2022)
- [Datenvolumen im Mobilfunk verdoppelt sich](#) (Heise 10/2022)
- [Google Dunant: Unterseekabel mit 250 Tbit/s](#) (Heise 2/2021)

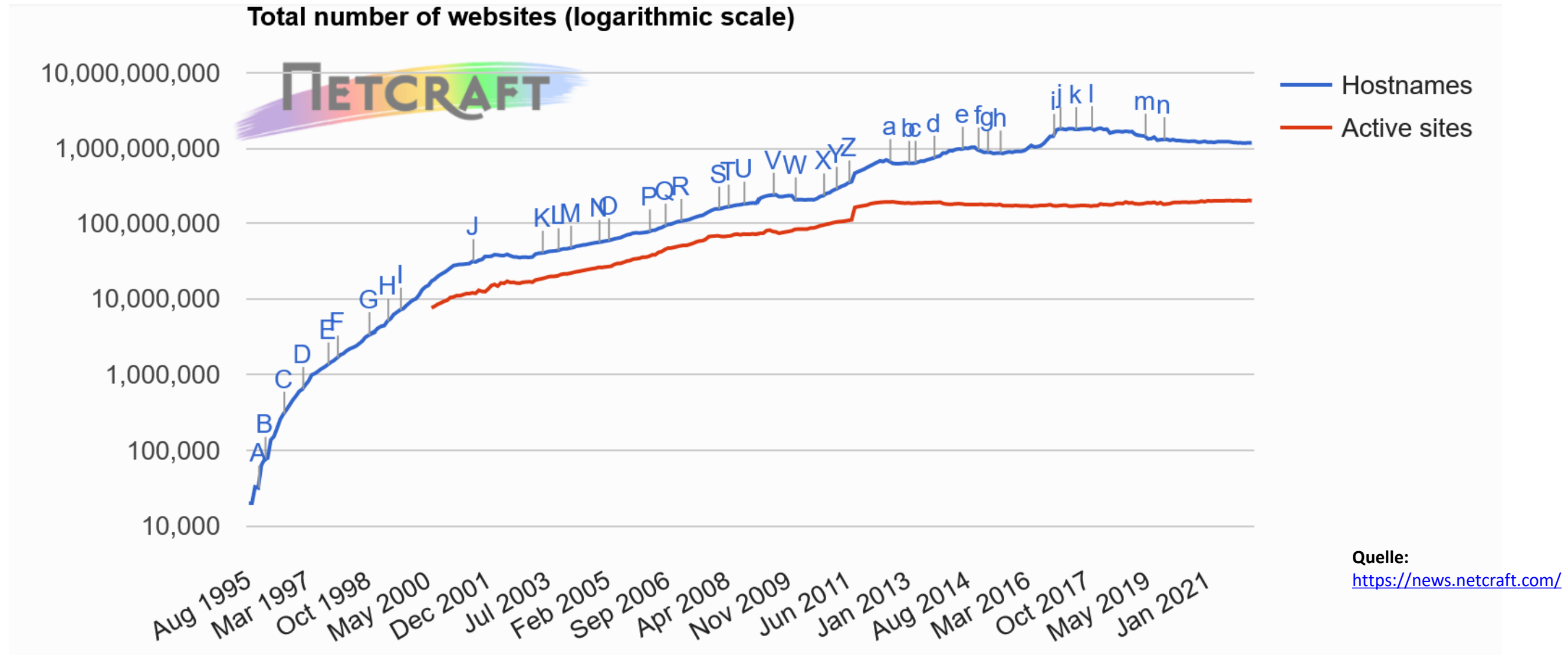
# Wert und Last der Netzinfrastruktur „nach Corona“



Quelle: [DE-CIX](#)

- Wie wäre die Kommunikation in Zeiten von Corona ohne Netze erfolgt?
  - ["Keiner hätte Lockdown ohne Internet überlebt": Pandemie treibt Governance an](#) (Heise 6/2020)
- Welche Auswirkungen hat Corona aber umgekehrt auch auf die Netze?
- [DE-CIX: Wie die "neue Normalität" den Internet-Datentransfer explodieren lässt](#) (6/2022)
- [DE-CIX-Studie: Internetnutzung wuchs kräftig und wächst weiter](#) (Heise 1/2022) ([14 Tbit/s Fußball-WM 12/2022](#))
- [Nur jeder siebte Deutsche will wieder dauerhaft ins Büro – meint Cisco](#) (Heise 3/2022)

# Wachstum World Wide Web (WWW)



Und das Web ist nicht der einzige Dienst im Internet...

- [771 Milliarden Nachrichten: E-Mail-Volumen in Deutschland 2017 auf Rekordwert](#) (Heise 2/2018)

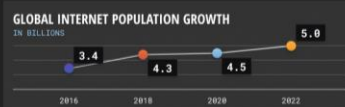
Quelle: <https://www.domo.com/data-never-sleeps>

**DOMO DATA NEVER SLEEPS 10.0**

Over the last ten years, digital engagement through social media, streaming content, online purchasing, peer-to-peer payments and other activities has increased hundreds and even thousands of percentage points. While the world has faced a pandemic, economic ups and downs, and global unrest, there has been one constant in society:

our increasing use of new digital tools to support our personal and business needs, from connecting and communicating to conducting transactions and business. In this 10th annual "Data Never Sleeps" infographic, we share a glimpse at just how much data the Internet produces each minute from some of this activity, marveling at the volume and variety of information that has been generated.

**DATA NEVER SLEEPS 1.0 VS. 10.0**



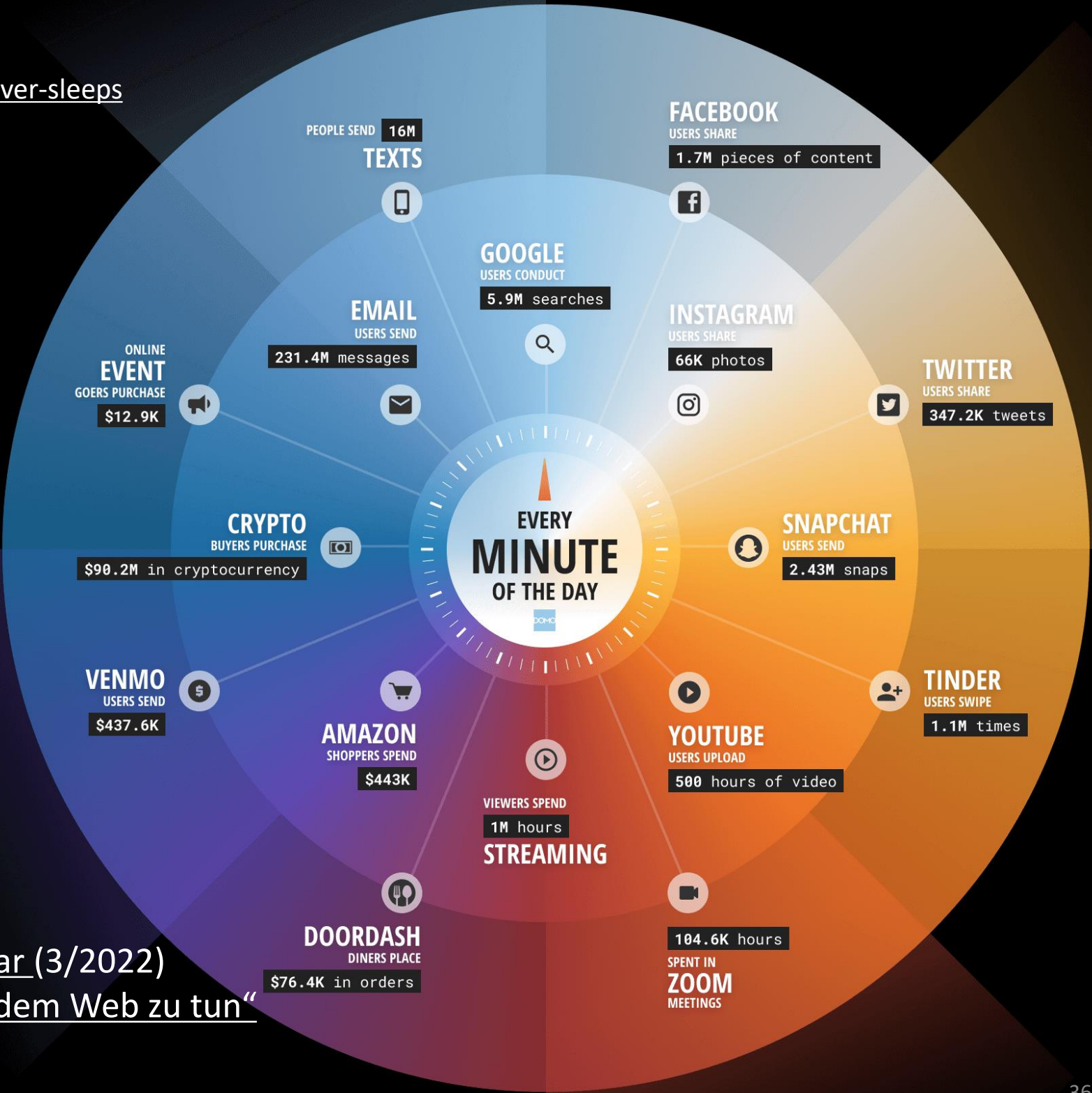
As of April 2022, the internet reaches 63% of the world's population, representing roughly 5 billion people. Of this total, 4.65 billion - over 93 percent - were social media users. According to Statista, the total amount of data predicted to be created, captured, copied and consumed globally in 2022 is 97 zettabytes, a number projected to grow to 181 zettabytes by 2025.

To succeed in an increasingly digital world where the volume of data created keeps accelerating, businesses need the right tools to put that data to work right where work gets done. Domo gives you the power to rapidly unlock value from all your data, regardless of where it lives, and drive actions across your organization that will improve business outcomes. Every click, swipe, share, or like tells a story, and Domo helps you do something powerful with it.

LEARN MORE AT DOMO.COM

**SOURCES**

Global Media Insights, Openly, Hootsuite, Earthenly, Matthew Woodward.co.uk, Web Tribunal, Statista.com, Local IQ, Business of Apps, Query Sprawl, Young and Rubicam, Daring Zero, RBS World, DoorDash, TechCrunch, Statista, Data Never Sleeps 1.0

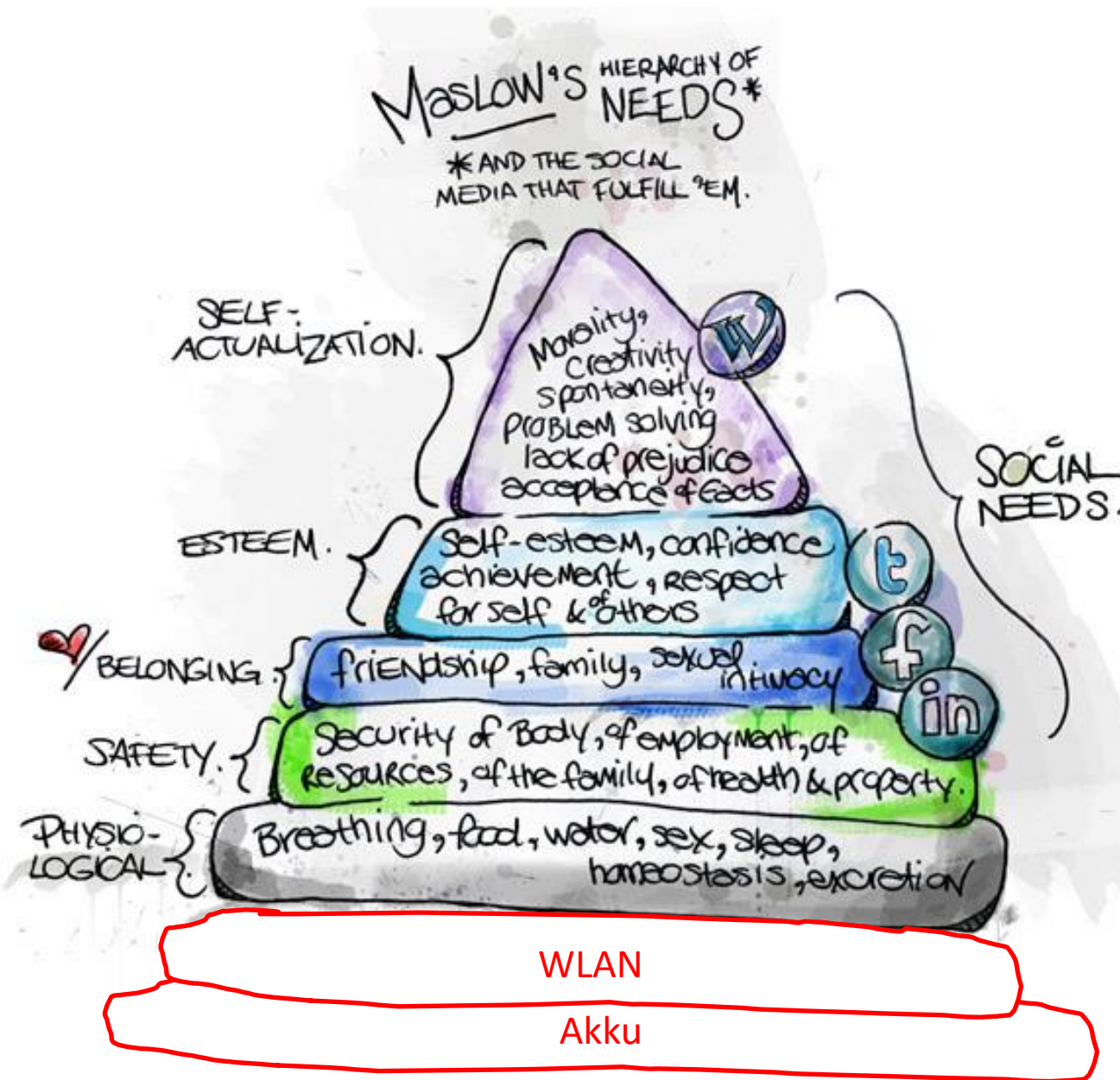


**Zukunft der Internetanwendungen? Web 3.0?**

Web3: Im vollen Galopp vor die Wand – ein Kommentar (3/2022)

Tim Berners-Lee vs. Blockchain: „Web3 hat nichts mit dem Web zu tun“ (11/2022)





Quelle: codinghorror.com

### Aber auch Seiteneffekte...

- Soziokulturelle Einflüsse: Ausfall Internet bei Naturkatastrophen, politische Einflussnahme, Abhörskandale, ... siehe auch z.B. <https://transparencyreport.google.com>, <https://dyn.com/blog/>
- EU-Urheberrechtsreform: "Schwarzer Tag für Europa und das freie Internet" (Heise 3/2019)
- US-Netzneutralität: Befürworter und Gegner bejubeln neues Urteil (Heise 10/2019)
- Studie: Regierungen nutzen Coronakrise als Vorwand für Überwachung und Zensur (Heise 10/2020)
- Internetzugang 2021 weltweit seltener erschwinglich (Heise 3/2022)

...auch in 2022... Zensur, eigene/abgeschottete Netze in EU, US, ...

# Allgemeine Herausforderungen für Kommunikationsnetze (bzw. Computernetzwerke)

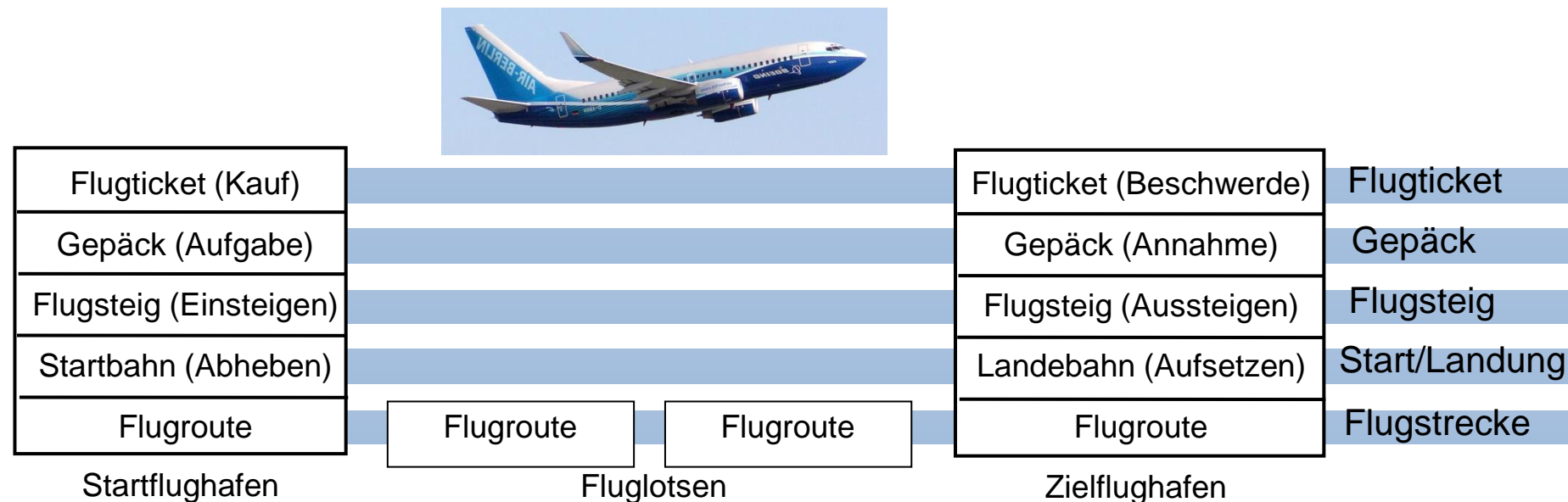
- Performance, Lichtgeschwindigkeit (Latenz)
- Fehlertoleranz (Links und Komponenten), Resilienz
- Effizienz (Lastverteilung, Flusskontrolle, Energie, Betriebskosten, ...)
- Skalierbarkeit für schnelles Wachstum und Evolution
- Einheitliches, verteiltes Management
- Sicherheit (Missbrauch: Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit und Authentizität, ...)
- Globale einheitliche Netze und Standards
  - Mobile/ubiquitäre Nutzung („Pervasive“)
  - Interoperabilität zwischen unterschiedlichsten Geräten

# Anforderungen an Computernetzwerke

- Quality of Service
  - Jede Teilstrecke und Komponente bestimmt Qualität für Endanwendung mit
  - Faktoren in Computernetzwerken:
    - Bitrate („Übertragungsgeschwindigkeit“, **nicht** Bandbreite ;))
    - Delay (Verzögerung in Routern, Signallaufzeiten, ...)
    - Jitter (Abweichungen der Delays während Übertragung)
    - Bitfehlerrate
  - Delay bestimmt Bitrate: z.B. Senden neuer Anfrage erst nach Erhalt der Antwort ( $2 * \text{Delay} = \text{Round Trip Time}$ ) → siehe Zusatzaufgaben am Ende des Kapitels
- Quality of Experience
  - Ausrichtung auf Anforderungen der Anwendungen/Services, die das Netz verwenden, Optimierung der Wartezeit im Client

# Schichtenmodelle

- Computernetzwerke umfassen komplexe Abläufe und Funktionen
  - Verschiedene Hosts, Router, Switches, Links (Übertragungsmedien), Anwendungen/Protokolle
- Besseres Verständnis und leichtere Diskussion einzelner Aufgaben durch: **Referenzmodell**
- Einzelne Aufgaben werden in Schichten gekapselt
  - Jede Schicht realisiert einen Service, kümmert sich nur um ihre eigenen Aufgaben
  - Verlässt sich auf Services, die von Schichten darunter oder darüber erbracht werden
  - Modularität, leichte Erweiterbarkeit (Änderung an Schichten)/Verwaltbarkeit
- Vergleichbar zu anderen komplexen Anwendungen in der Realität z.B. „Flugreise“



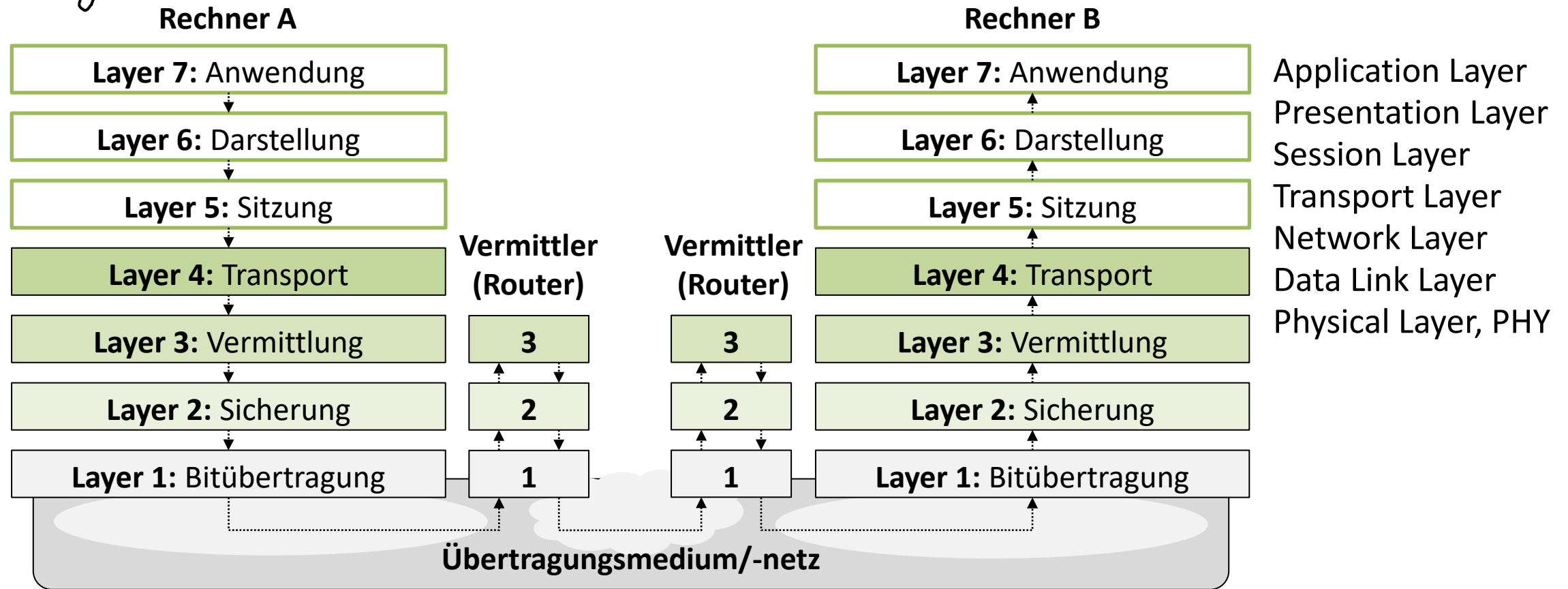
Quelle: Kurose/Ross: Computernetzwerke, 2014



b

8

# Schichten im OSI-Referenzmodell



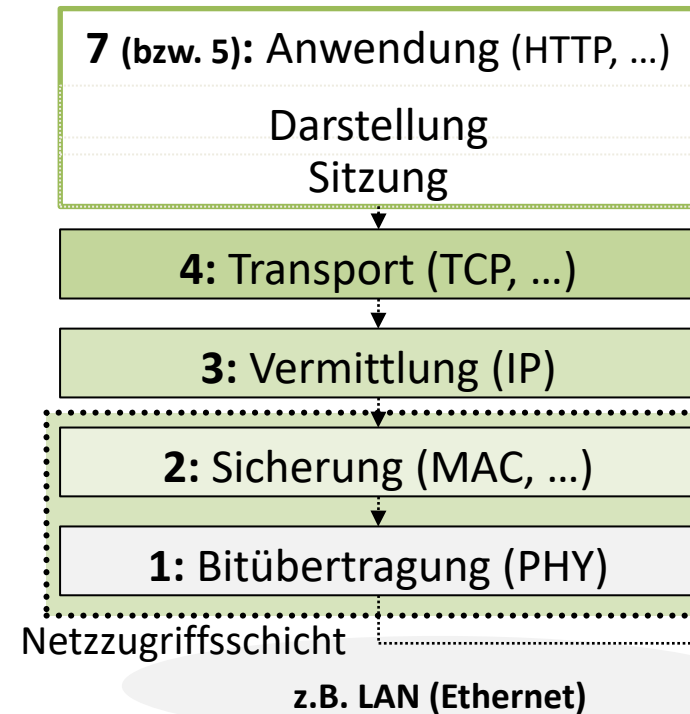
## Open Systems Interconnection (OSI) Referenzmodell:

- 1977 entwickelt von der ISO (International Standardisation Organisation) als Referenzmodell für Kommunikation zwischen „offenen“ Systemen (auch ISO/OSI-Referenzmodell genannt).
- Ziel: komplexe Aufgabe der Kommunikation zwischen verschiedenen Endsystemen in weniger komplexe Teilaufgaben zerlegen, die den einzelnen Schichten des Modells zugeordnet sind (Kapselung, Interoperabilität).

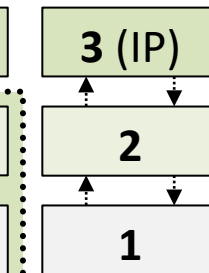
# Schichten im vereinfachten TCP/IP-Referenzmodell

## TCP/IP Stack (Protokollstapel)

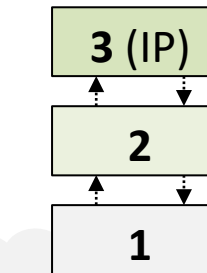
### Rechner A (z.B. Web-Browser von Alice)



### Vermittler/ Router

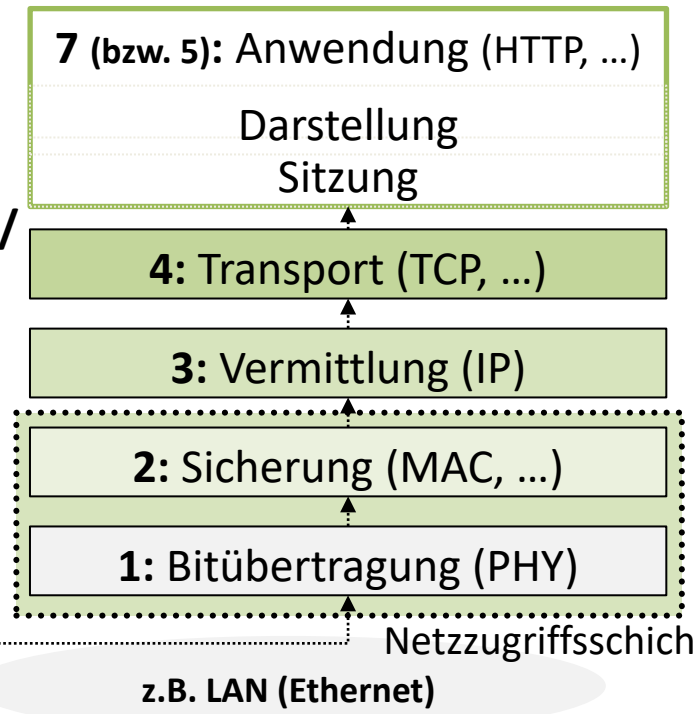


### Vermittler/ Router



z.B. WAN  
(Internet)

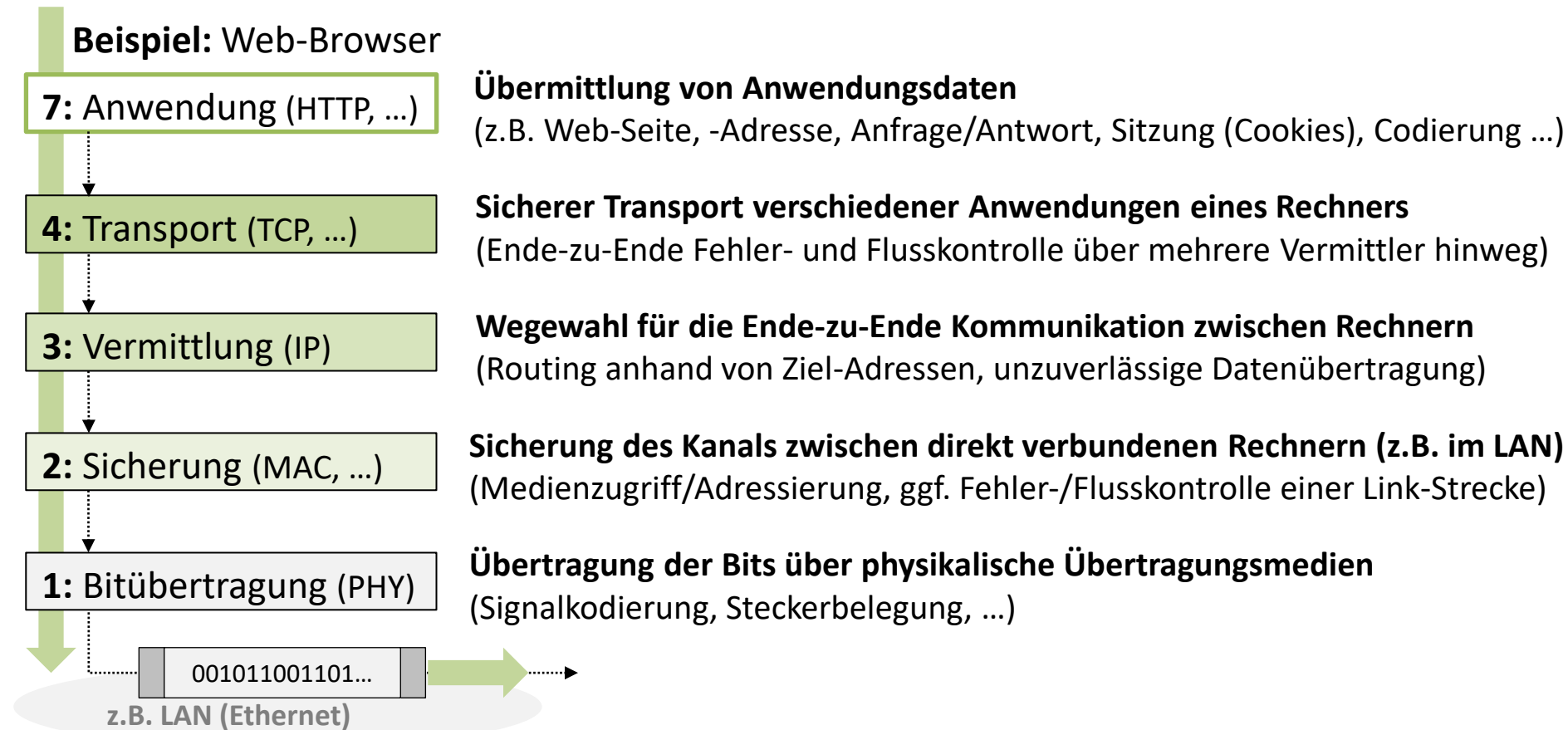
### Rechner B (z.B. Web-Server von Bob)



TCP = Transmission Control Protocol, IP = Internet Protocol, UDP = User Datagram Protocol  
HTTP = Hypertext Transfer Protocol, MAC = Medium Access Control, PHYsikalische Netzschnittstelle

- TCP/IP Referenzmodell (Protokollstapel/Stack), der De-Facto-Internet-Standard
- keine OSI Schicht 5 und 6, deren Aufgaben werden in Anwendungsschicht implementiert und zusammengefasst, in der Regel wird trotzdem auch bei TCP/IP Anwendungen in Anlehnung an OSI von „Layer 7 Anwendungen“ gesprochen
- Im Internetmodell des Department of Defense (DoD) werden Schicht 1 und 2 zusätzlich zusammengefasst zur „Netzzugriffsschicht“

# Aufgaben der Schichten TCP/IP Referenzmodell

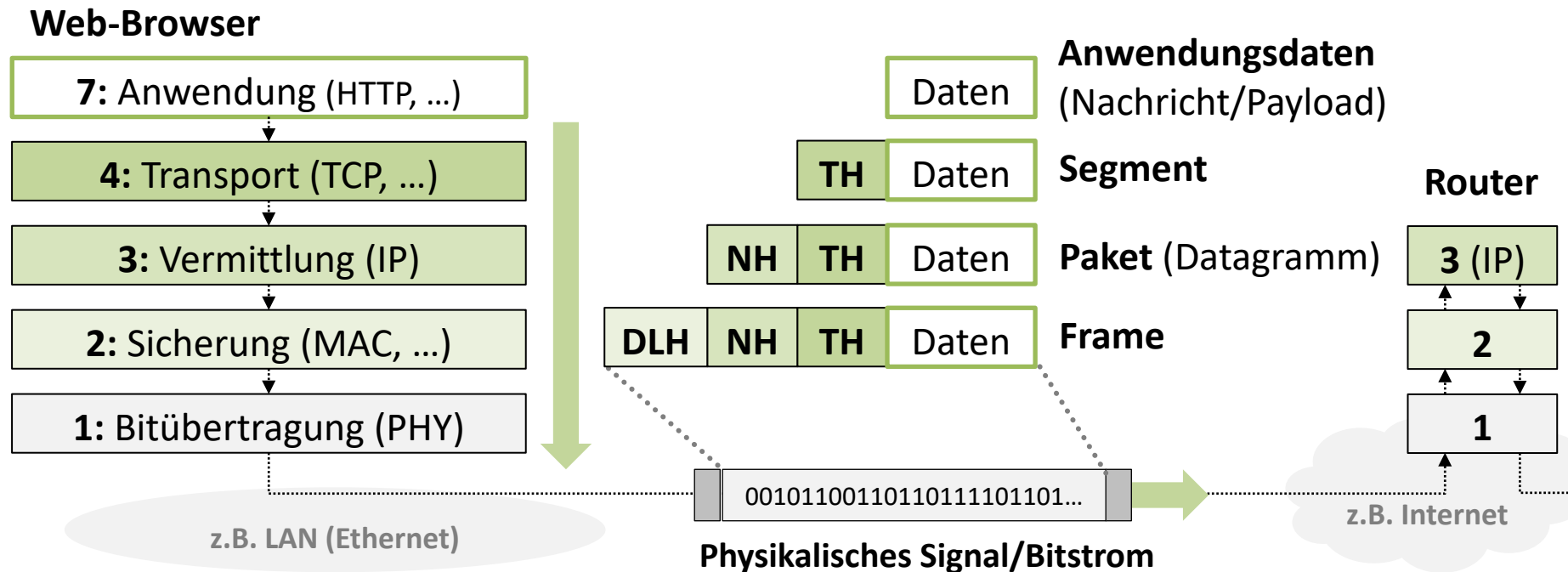


- TCP/IP Referenzmodell häufig in der Lehre verwendet, näher an der Realität als OSI

## Verschiedene Lehransätze: Top-Down/Bottom-Up

- Bottom-Up Vorgehen ist in der Regel fundierter und baut logisch aufeinander auf
- Top-Down Vorgehensweise erleichtert den Einstieg, da mit Anwendungen aus der Praxis begonnen wird (ein paar kleine Nachteile entstehen bzgl. des Aufbaus)

# Kapselung der Daten, Header und PDU



TH: Transport Header, NH: Network Header, DLH: Data Link Header

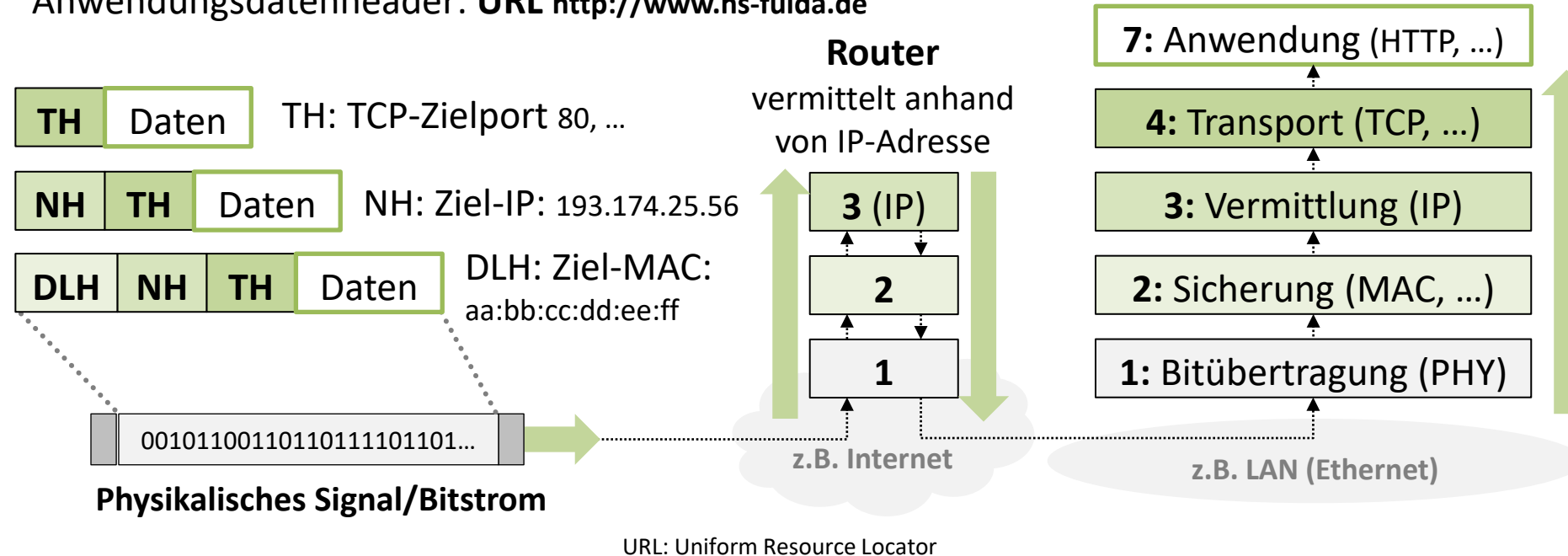
- **Ziel:** einfacher, einheitlicher Austausch zwischen Anwendungen im Netz
- Jede Schicht fügt eigenen Header hinzu
  - Die Anwendungsdaten (Payload) werden verpackt (vgl. Postpaket)
  - Jeder Header enthält für die Aufgaben der Schicht erforderliche Informationen z.B. Quell- und Zieladressen (vgl. Adressaufkleber), IP-, MAC-Adresse, ...
- Ergebnis wird Protokolldateneinheit (PDU) genannt, z.B. Network-PDU = NH+TH+Daten
- Für die Anwendung sind die darunter liegenden Schichten „transparent“ Kapselung in Schnittstellen der Layer (auch sog. Service Access Point)

# Aufgaben von Headern

**Web-Browser** Zugriff auf: <http://www.hs-fulda.de>

Anwendungsdatenheader: **URL** <http://www.hs-fulda.de>

**Web-Server** <http://www.hs-fulda.de>



- Header beinhalten alle Angaben für Funktionen/Aufgaben des Protokolls auf der jeweiligen Schicht
  - Ziel- und Quell-Adressen bilden wesentliche Angaben in den Headern (vgl. auch Adressaufkleber von Paketen)
  - Details werden in nachfolgenden Kapiteln behandelt...
- Vorab einige Beispiele, die Sie ggf. schon kennen...
  - Web-Adresse (Anwendungsdaten eines Web-Browsers): URL
  - TH: Anwendungen haben einen Standard-Port, der sie identifiziert, HTTP = 80
  - NH: Jeder Rechner am Internet hat eine IP-Adresse
  - DLH: Jeder Rechner in lokalen Netzen (Ethernet) hat eine MAC-Adresse

# Weiterentwicklung des Internets und Standardisierung

IETF: Internet Engineering Task Force

<http://www.ietf.org>



ITU-T: International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector

<http://www.itu.int/ITU-T>



ETSI: European Telecommunication Standards Institute

<http://www.etsi.org>

Beispiele für Standards der ETSI:

**GSM** (Global System for Mobile Communications) als Basis für bereits existierende Mobilfunknetze,

**UMTS** (Universal Mobile Telecommunications System) für das universelle Mobilfunknetz



# Weiterentwicklung und Standardisierung

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

**<http://www.ieee.org>**

**<http://www.ieee802.org>**

Beispiele für Standards der IEEE:

**802.3** Ethernet

**802.11** Wireless LAN

**802.15** Wireless PAN (Personal Area Network, Bluetooth)



# IETF: Internet Engineering Task Force Internet Standardisierungsgremium

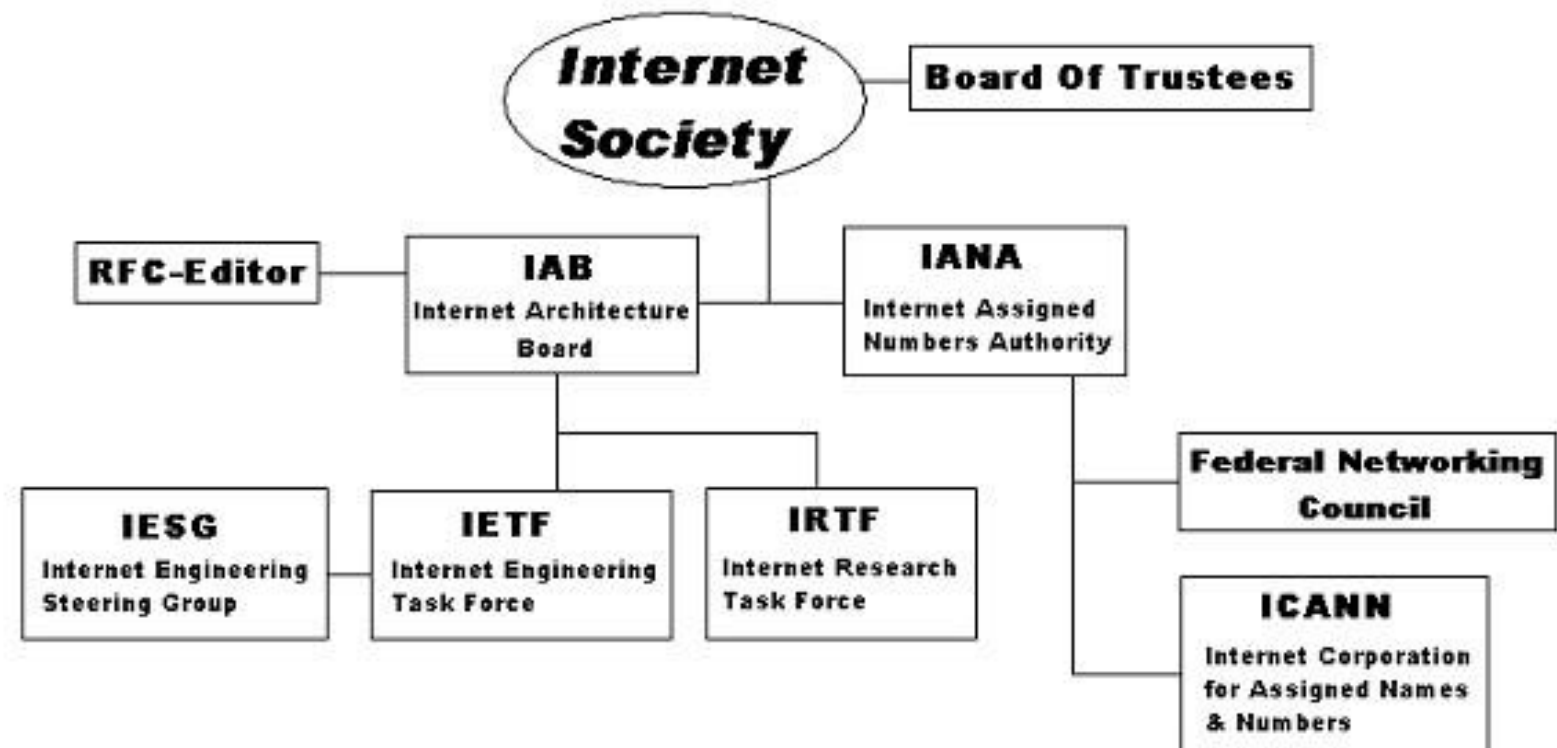
Die IETF-Dokumente werden als sog. **RFCs** (*Requests for Comments*) im Internet veröffentlicht.

Eine Datenbank mit RFCs wird vom sog. **RFC Editor** verwaltet und ist zu finden unter <http://www.rfc-editor.org/rfcsearch.html>

TCP/IP als Referenzstandard für Netze, das war nicht immer so:

[Das Internet feiert 50. Geburtstag: ein Blick auf Anfänge und Weiterentwicklungen](#) (Heise 10/2019)

[Zahlen, Bitte! Mit dem RFC 1 begann eine Erfolgsgeschichte](#) (Heise 4/2020)



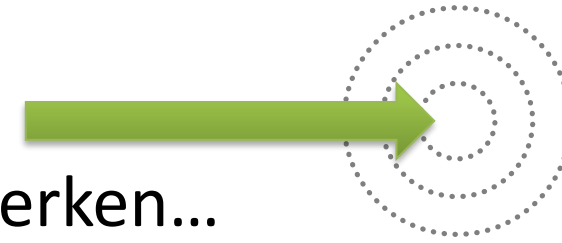
Quelle: Wikipedia

Eine besondere Rolle spielt die **Internet Assigned Numbers Authority (IANA)**. Sie dient als eine zentrale Stelle für die Registrierung von Internet-Namen, Protokollnummern und anderen Parametern, die weltweit eindeutig sein müssen. Domains spezifiziert **Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN)**



# Lernzielkontrolle

Ziel: ...ein erster grober Überblick zu Computernetzwerken...



- Was ist ein Kommunikationsnetz (am Beispiel Internet)?
- Was ist ein Kommunikationsprotokoll?
- Grundlegende Systeme, Aufbau Netzzugang (Edge) und Netzkern (Core)
  - Welche Lösungen gibt es für den Internetzugang in Heimnetzen?
  - Welche Komponenten kommen in Unternehmensnetzen hinzu?
  - Welche Übertragungsmedien kennen Sie?
  - Was bedeutet Paketvermittlung? Welche Vor- und Nachteile hat sie?
  - Was bedeutet WAN, LAN, MAN und wozu braucht man VPN?
  - Welche Netztopologien kennen Sie?
  - Woraus setzt sich das Internet zusammen?
- Welche allgemeinen Anforderungen werden aktuell an Computernetzwerke gestellt?
- Welche Schichtenmodelle kennen Sie?
  - Welche Aufgaben haben die Schichten hierbei?
  - Was sind Header und was ist z.B. deren Inhalt?
- Welche Standardisierungsgremien haben Einfluss auf Computernetzwerke?

# Zusatzaufgaben „hands-on experience“

- Als praktische Übung zu diesem Kapitel sollten Sie:
  - mit dem Programm „ping“ auf [www.google.de](http://www.google.de), [www.fulda.de](http://www.fulda.de), [www.hs-fulda.de](http://www.hs-fulda.de), [mail.hs-fulda.de](mailto:mail.hs-fulda.de) das durchschnittliche Delay (Round Trip Time) zwischen Ihrem Rechner und den o.g. Hosts ermitteln und notieren
  - die Route der Paketvermittlung und die Zusammensetzung des Delay mit dem Programm „tracert“ (unter Windows: `tracert`) zwischen Ihnen und den o.g. Hosts ermitteln (ggf. Screenshot bzw. Ausgabe speichern)
  - ermitteln welchen Internetzugang Sie verwenden. Verwenden Sie z.B. [www.speedtest.net](http://www.speedtest.net) (Your ISP). Welchen Upload und Download Speed und Ping-Wert haben Sie erreicht?
    - [Zu langsames Internet: Breitbandmessungen belegen Defizite im heimischen Netz](#) (Heise 3/2022)
  - Sie können auch <https://mmnet.informatik.hs-fulda.de/speedtest/> testen
  - Wieviel Bits werden aktuell pro Sekunde über den DE-CIX in Frankfurt übermittelt?
  - Wie sieht die „Netztopologie“ bei Ihnen zu Hause aus? Zeichnen Sie eine Übersicht.
  - Nennen Sie ein Beispiel für einen RFC zu einem Internetprotokoll, das Sie verwenden.
- Ergebnisse werden teils als Aufgaben in der Lehrveranstaltung abgegeben und diskutiert