

Kommunikationsnetze und -protokolle

Grundlagen

Sommersemester 2025

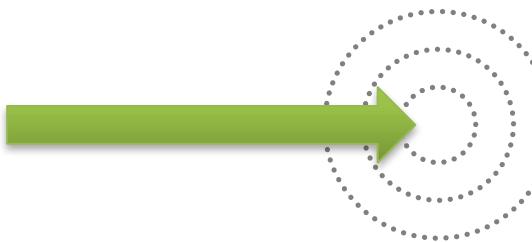
Bachelor AI – Hochschule Fulda

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 Netz kern (Core)
- 1.4 Aktuelle Entwicklung des Internets
- 1.5 Schichten- und Servicemodele
- 1.6 Standardisierungsgremien

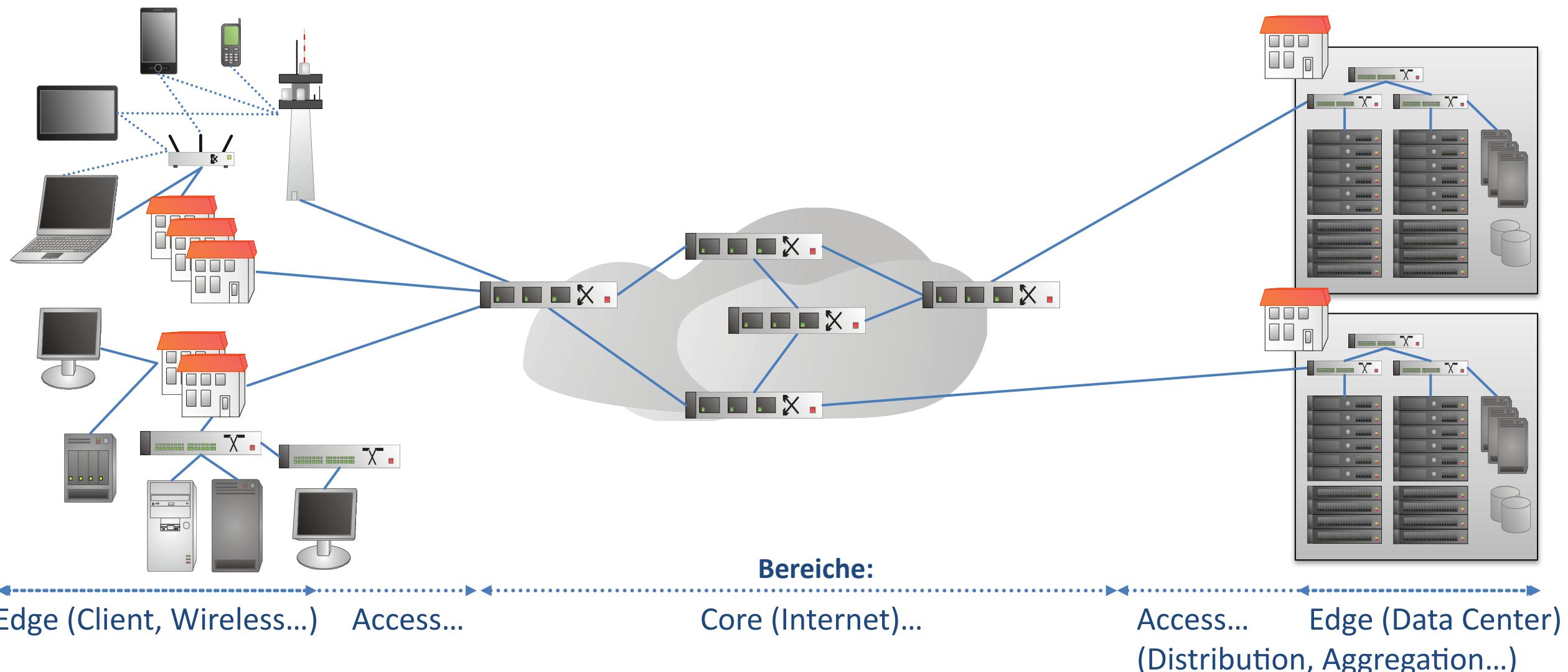
Lernziele



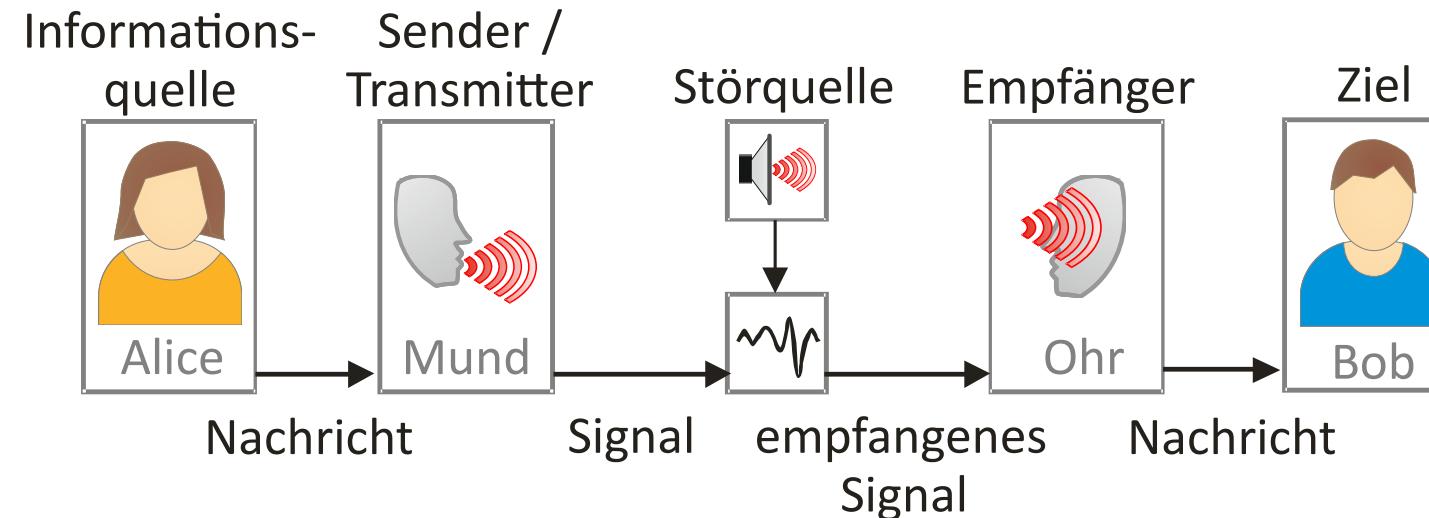
- Ziel
 - Grober Überblick über die Themengebiete und Terminologien im Bereich Computernetzwerke
 - „hands on“ Experimente basierend auf alltäglichen Netzwerkanwendungen (Beispiel: Internet)
- Nach diesem Kapitel sollten Sie wissen...
 - Was ist ein Kommunikationsnetz (am Beispiel Internet)?
 - Was ist 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?



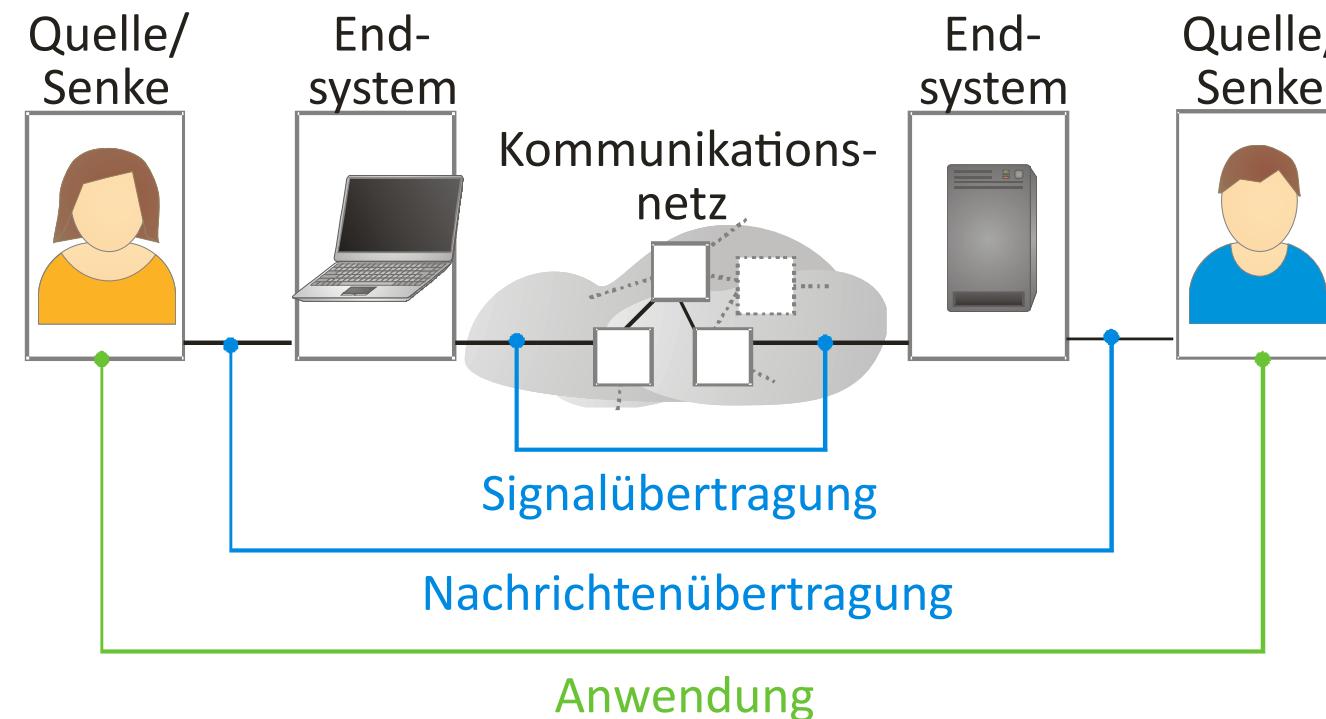
Kommunikation



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

- Kommunikationsmodell nach C. E. Shannon und W. Weaver
 - Übertragung z.B. von A → B (Alice, Bob) → **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
 - Endsysteme, Vermittler, Verbindungsstrecken bilden → **Kommunikationsnetze**
 - Anwendung nutzt Schnittstelle am Endsystem 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



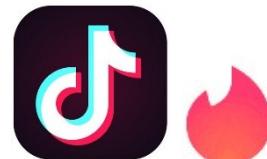
Microsoft 365



Google



WIKIPEDIA



LinkedIn

amazon

zoom

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, ...)
- ...



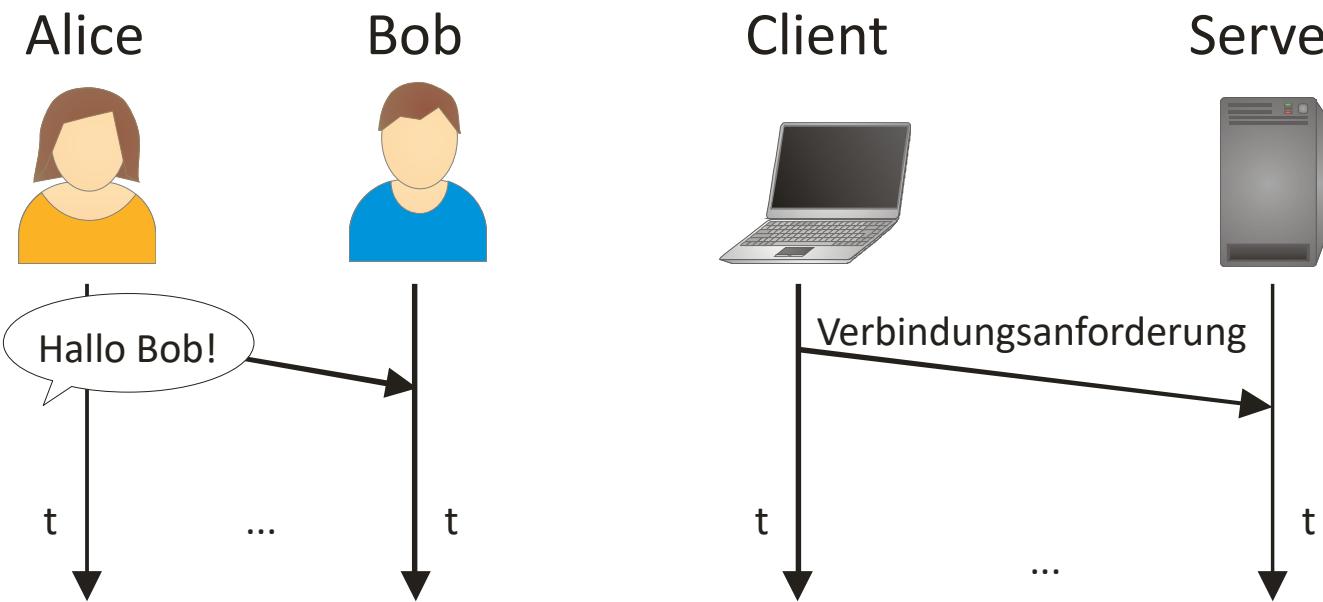
Dropbox

YouTube

NETFLIX



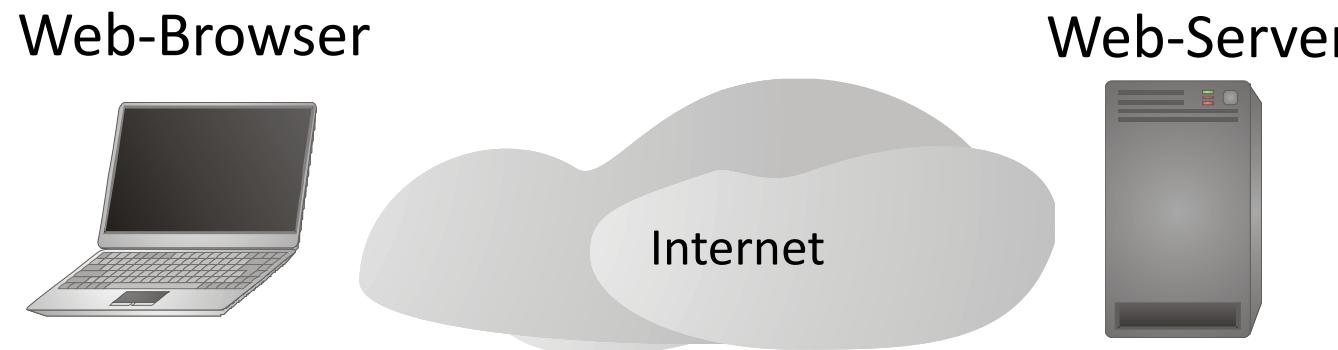
Kommunikationsprotokolle



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)

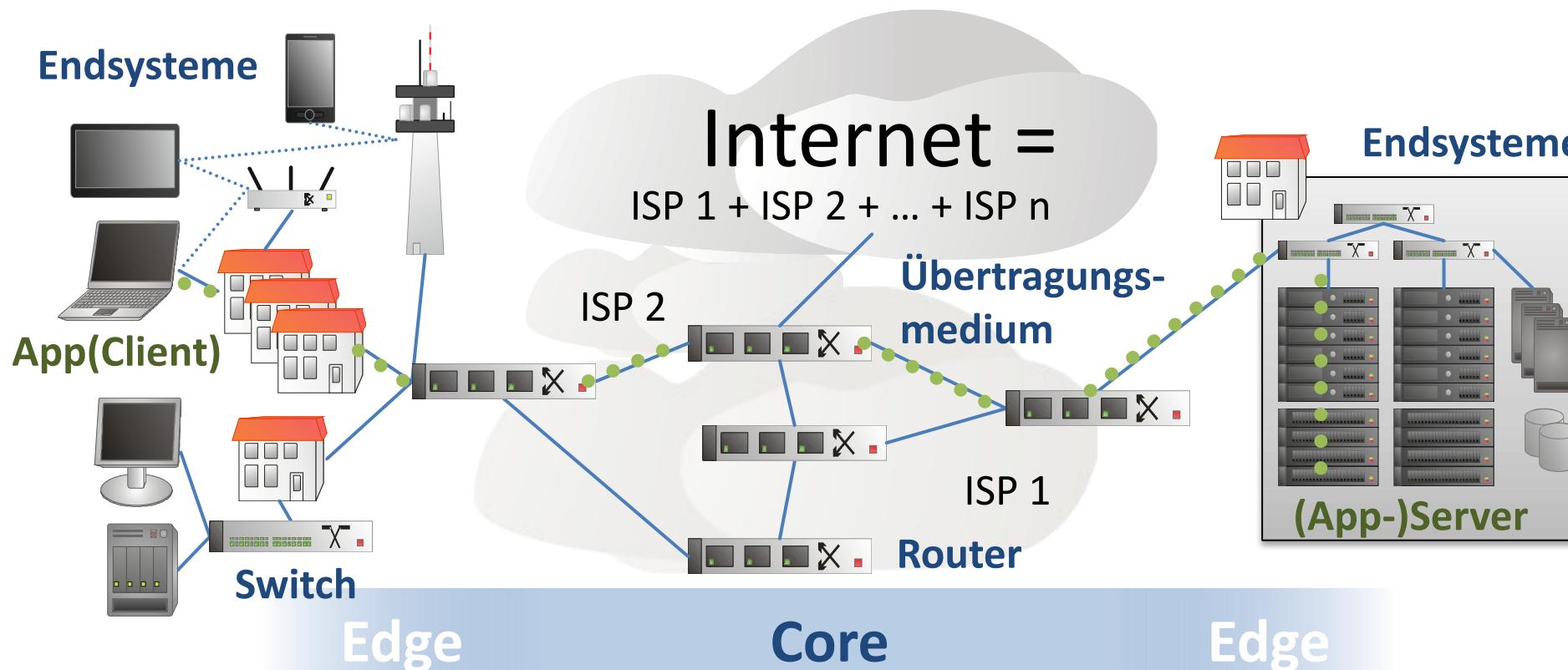


- HyperText Transfer Protokoll (HTTP)
 - Wie läuft ein Nachrichtenaustausch ab?
 - Was bedeutet Hypertext und Hypermedia in diesem Fall?
 - Wie wirkt sich dies auf den Nachrichtenaustausch aus?

Das Internet als „Kommunikationsnetz“?

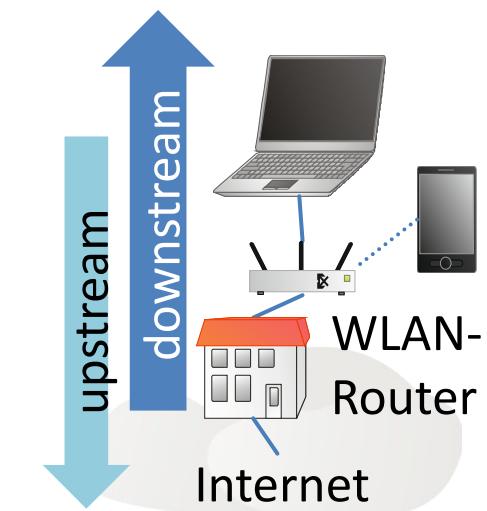
Vielzahl von über Internet Service Provider (ISPs) angebundenen Netzen → **nicht ein einzelnes Netz!**

- Hosts (Clients, Server), Server häufig in großen Rechenzentren (Data Center)
 - Stellen Netzwerkanwendungen bereit: Verwendung weltweit standardisierter Kommunikationsprotokolle
- 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“)



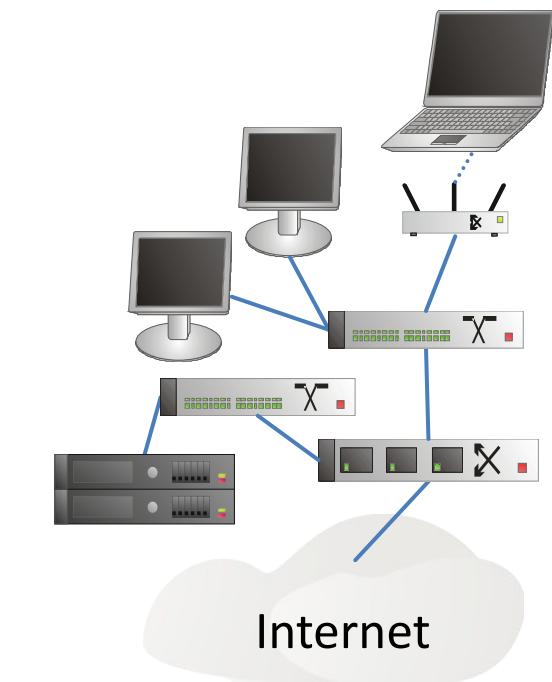
Access am Edge: Beispiel Heimnetz

- Internetzugang (inkl. „Telefon“, „Fernsehen“ ... bzw. was ist das? Streaming? ;)):
 - DSL (Telefonkabel, verdrilltes Adernpaar) z.B. bis zu „250“ Mbit/s Empfangsrichtung (downstream), 40 Mbit/s senden (upstream)
 - 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



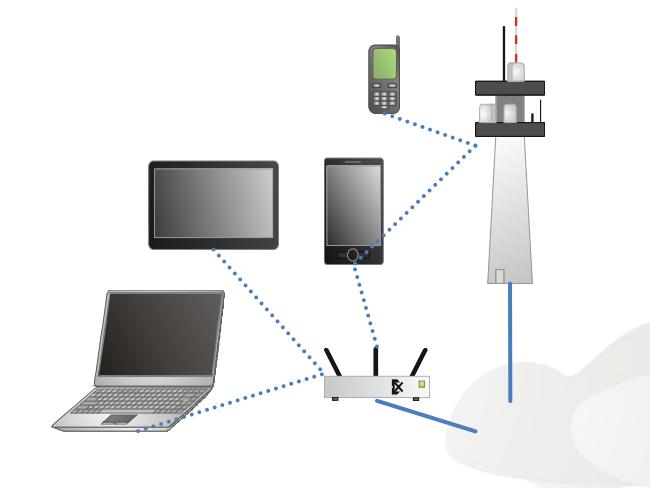
Access: Unternehmen, Hochschule, ...

- 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,
>= 1,6 Tbit/s am [Horizont](#)
- Router für Internetzugang über ISP
- Viele weitere Netzkomponenten
 - z.B. Firewalls, VPN ... behandeln wir wie gesagt später ;)



Access: Wireless als „de facto“ Standard 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 ~5 Gbit/s brutto (Wi-Fi 7), aber „shared medium“ und Realität auch für einzelnen Empfänger weit darunter (~1 Gbit/s netto, +/-)
- Mobilfunk
 - „Wide Area“ Netz, mehrere „Funkzellen“ mit Sendemasten
 - (GSM), EDGE, UMTS (3G), LTE (4G), 5G in Entwicklung...
 - z.B. max. Bitrate ~1 Gbit/s brutto (LTE-AP Cat 16)
 - 5G bis zu 20 Gbit/s ...was werden 5GB und 6G wirklich bringen?
 - Realität weit darunter, „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, „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: ≥ 10 Gbit/s
 - CAT 8: 25 und 40 Gbit/s – Grenze erreicht?



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 Realität mehrere „Farben“ parallel („dense“ Wellenlängenmultiplex DWDM)
 - Sehr gute Übertragungseigenschaften
 - Extrem hohe Bitrate, z.B. $n \cdot 100$ Gbit/s: Rekorde [22,9 Pbit/s](#) (2023 multi), [1,7 Pbit/s](#) (single fiber)
 - Geringe Verzögerung (Latenz)
 - Geringe Bitfehlerrate, zusätzlich unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen

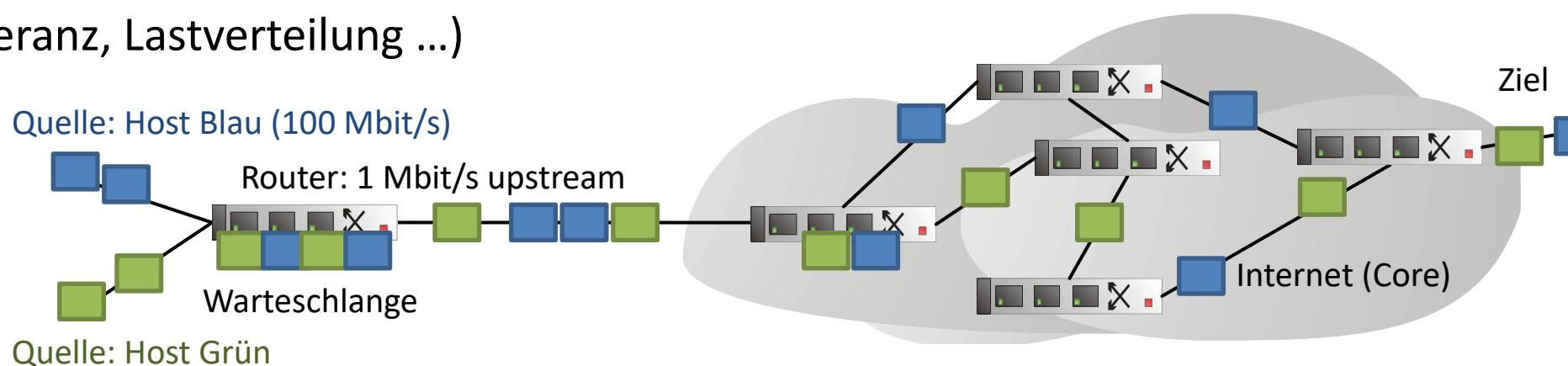


Leitungsungebundene Medien

- Signal wird über (z.B. elektromagnetische) Wellen über „Luft“ übertragen
- Bidirektionale Verwendung
- Unterschiedliche Störeinflüsse:
 - Reflexion, Interferenzen, Dämpfung, Reflektion (Wände, Metall etc.), ...
 - Hohe Verzögerungen (Signallaufzeiten), höhere „Bitfehlerrate“ im Vergleich zu Kabel
- WLAN (WiFi, „wireless“)
 - Z.B. häufig max. $n \cdot 100$ Mbit/s bis zu „ein paar“ Gbit/s brutto (!)
- Mobilfunk
 - z.B. wenige Mbit/s bei UMTS (3G), <100 Mbit/s bei LTE (4G), 5G wenige Gbit/s?
- Weitere drahtlose Übertragungsformen:
 - Satelliten, Mikrowellen, optischer Richtfunk (z.B. per Drohne 2/2025)...

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 ausgehende Verbindung (Link) 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.)

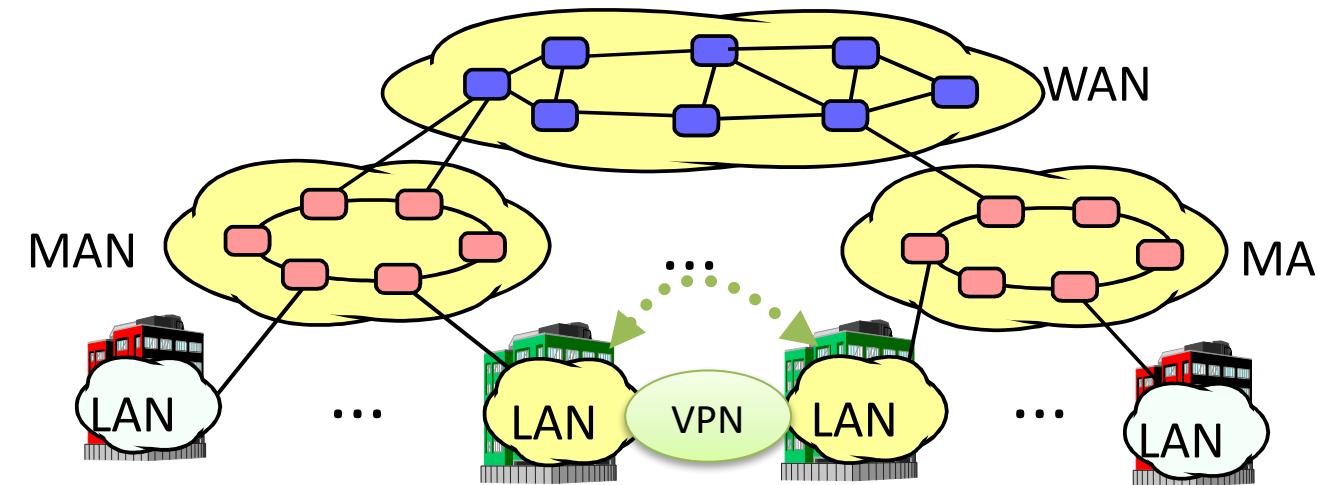
WAN-Netze – real und virtuell

- WAN und MAN bilden digitale High-Speed-Netze, 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 Kunden und 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 virtuelle Netze, z.B.:** Virtual Private Networks (VPN)
 - Virtuelle (logisch getrennte) Netze über physische öffentliche Netze (insb. Internet), vgl. virtuelle Verbindung bei Paketvermittlung
 - Feste Wegewahl (Routing) mit einzelnen Technologien möglich
 - Verschlüsselung der übermittelten Daten (dadurch private)
 - Technologien z.B.: Transport Layer Security (TLS), WireGuard, IPsec, MPLS, ...

Beispiele für Virtual Private Networks (VPN)

- unser „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, Mullvad, ...
- „Peer2Peer“/“coordinated“-VPN
 - Tailscale, ZeroTier, ...
- Overlaynetze für Container/Kubernetes etc.

Typische Netzstruktur WAN, MAN, LAN



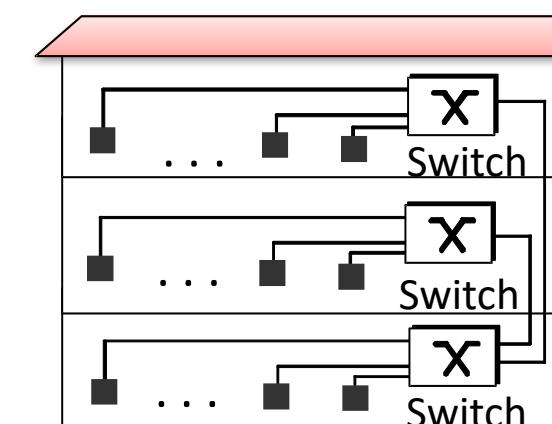
- Darüber hinaus sind virtuelle Netze (Overlays) möglich
 - Logische Netze oberhalb von physikalischen Netzkomponenten
 - z.B. Virtual Private Network (VPN) (End-to-End, Site-to-Site, Remote-Access)
- Wie würden Sie die Form der Netzstruktur von WAN und MAN im Beispiel beschreiben?

Quelle: Badach, Skript Kommunikationsnetze

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

Netztopologien

Stern

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

(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

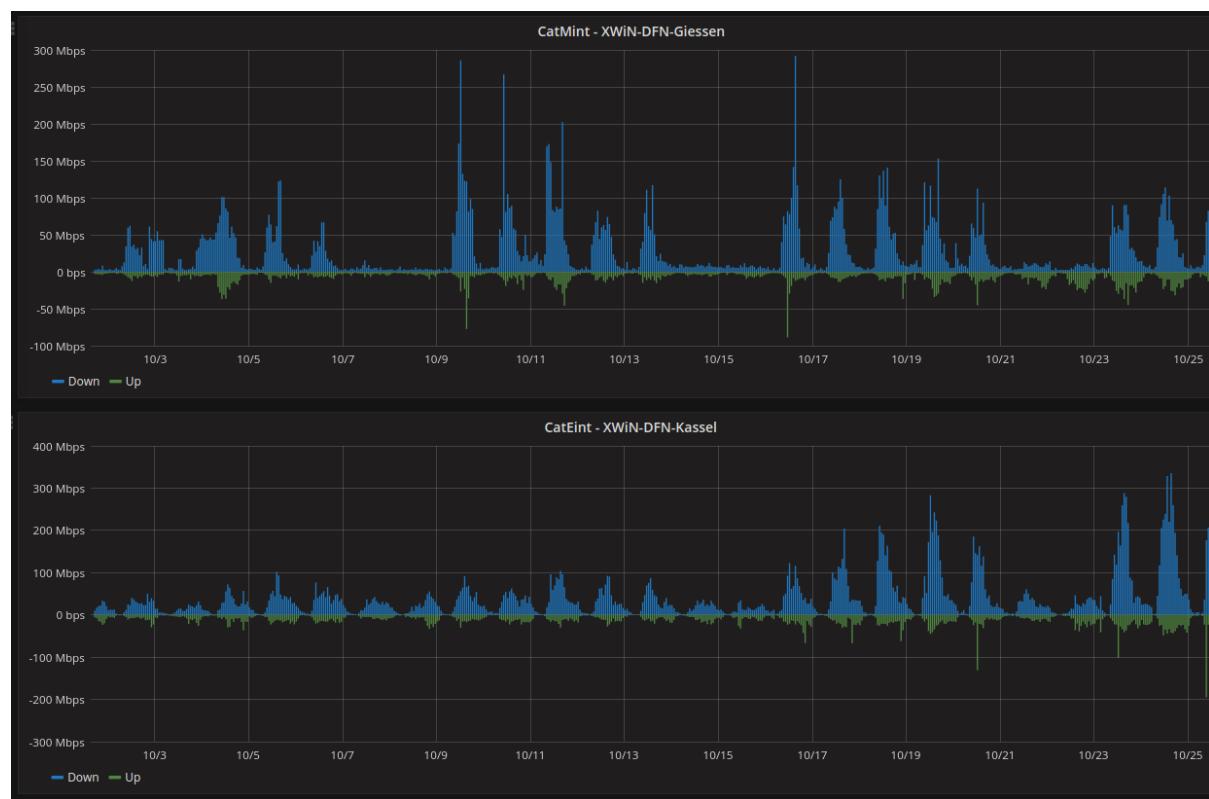
(Partial) Mesh

- Vgl. WAN, aktuell und zukünftig auch 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 RZ):

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

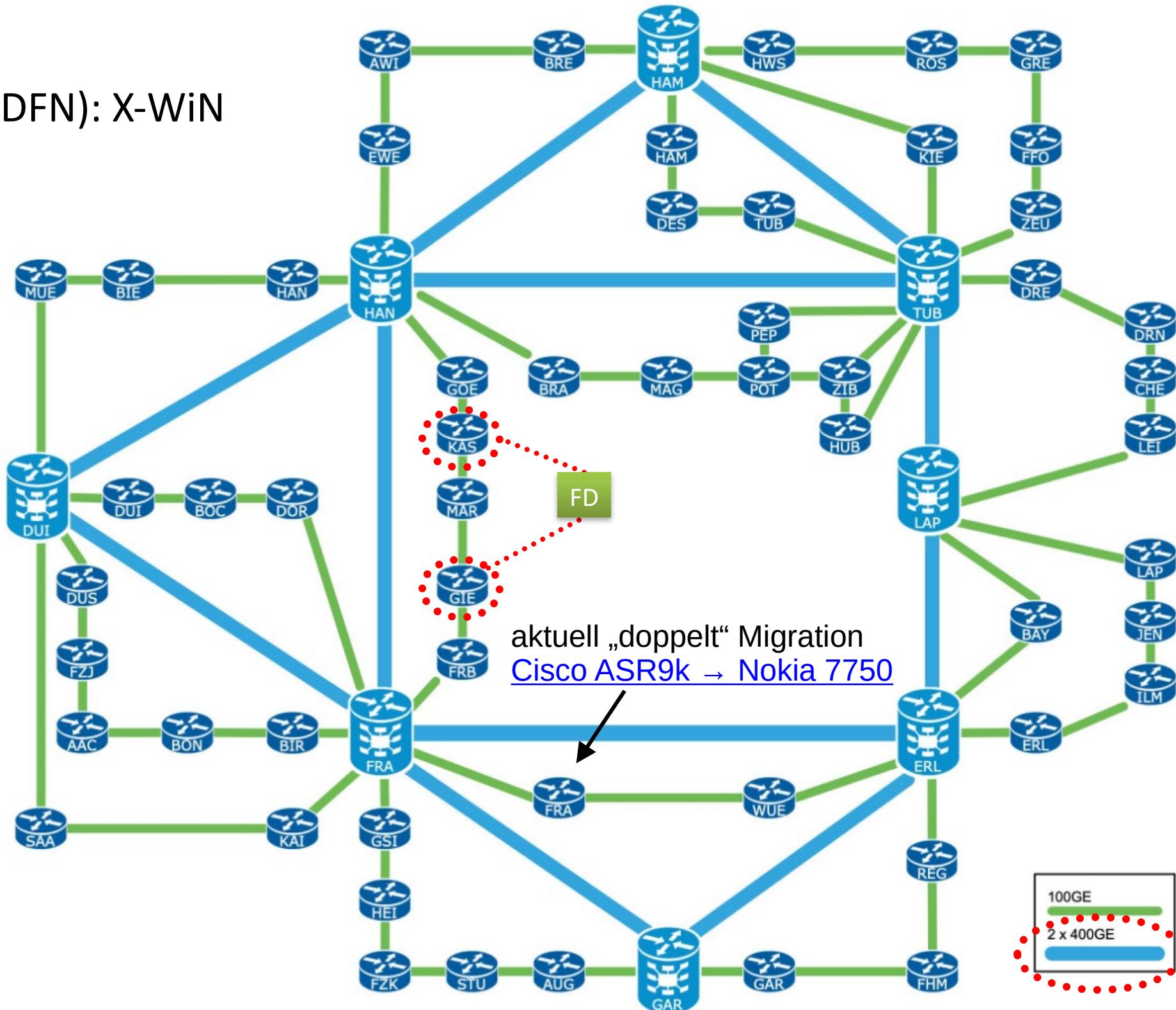


Quelle: DFN-Verein, Stand 9/2018

Deutsches Forschungsnetz (DFN): X-WiN Topologie

Quelle: DFN-Verein, [Stand 3/2025](#)

...neue Core-Netz
Technologie im Aufbau...
vgl. Betriebstagung
Stand 2025

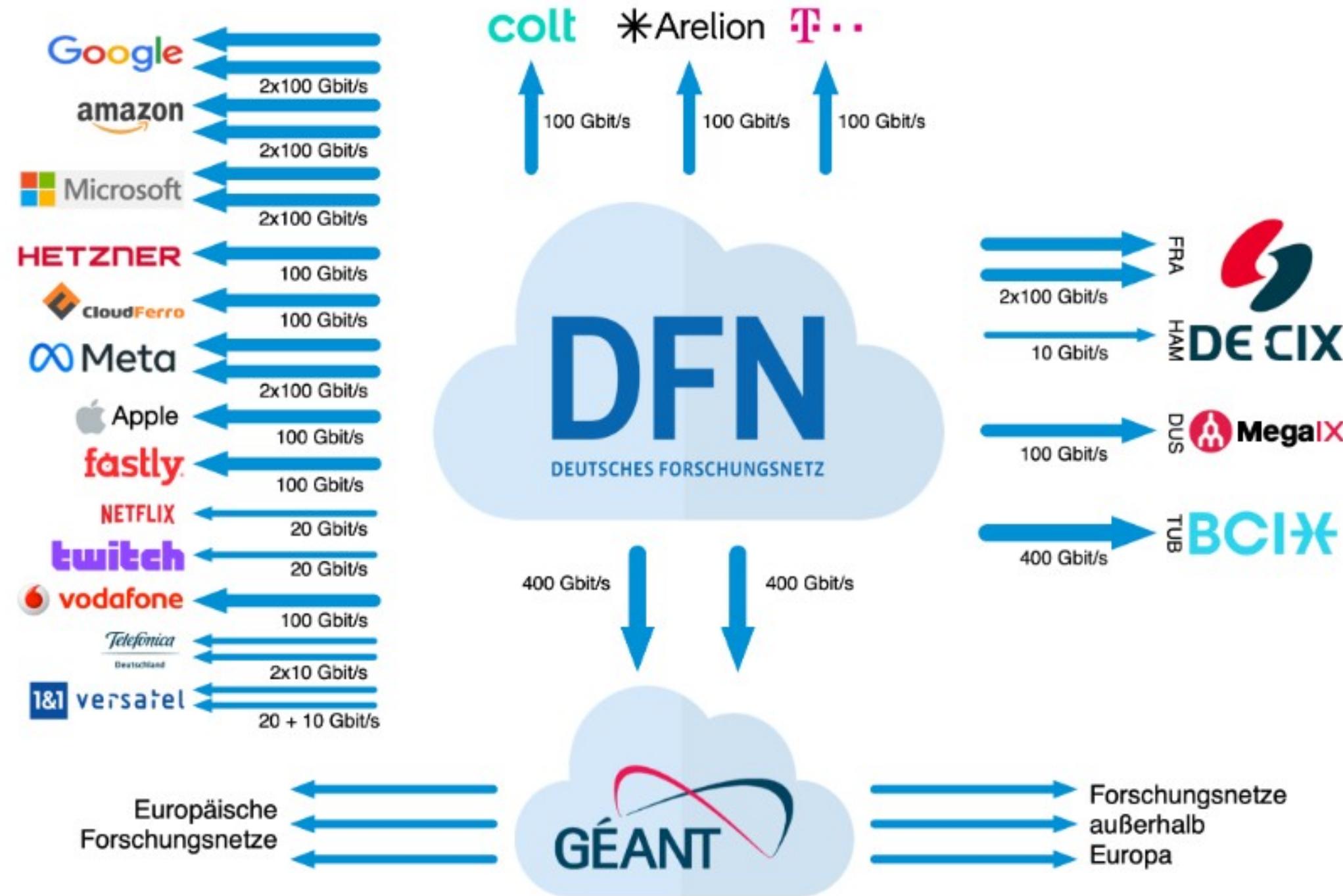


Außenanbindungen des X-WiN – aktueller Stand

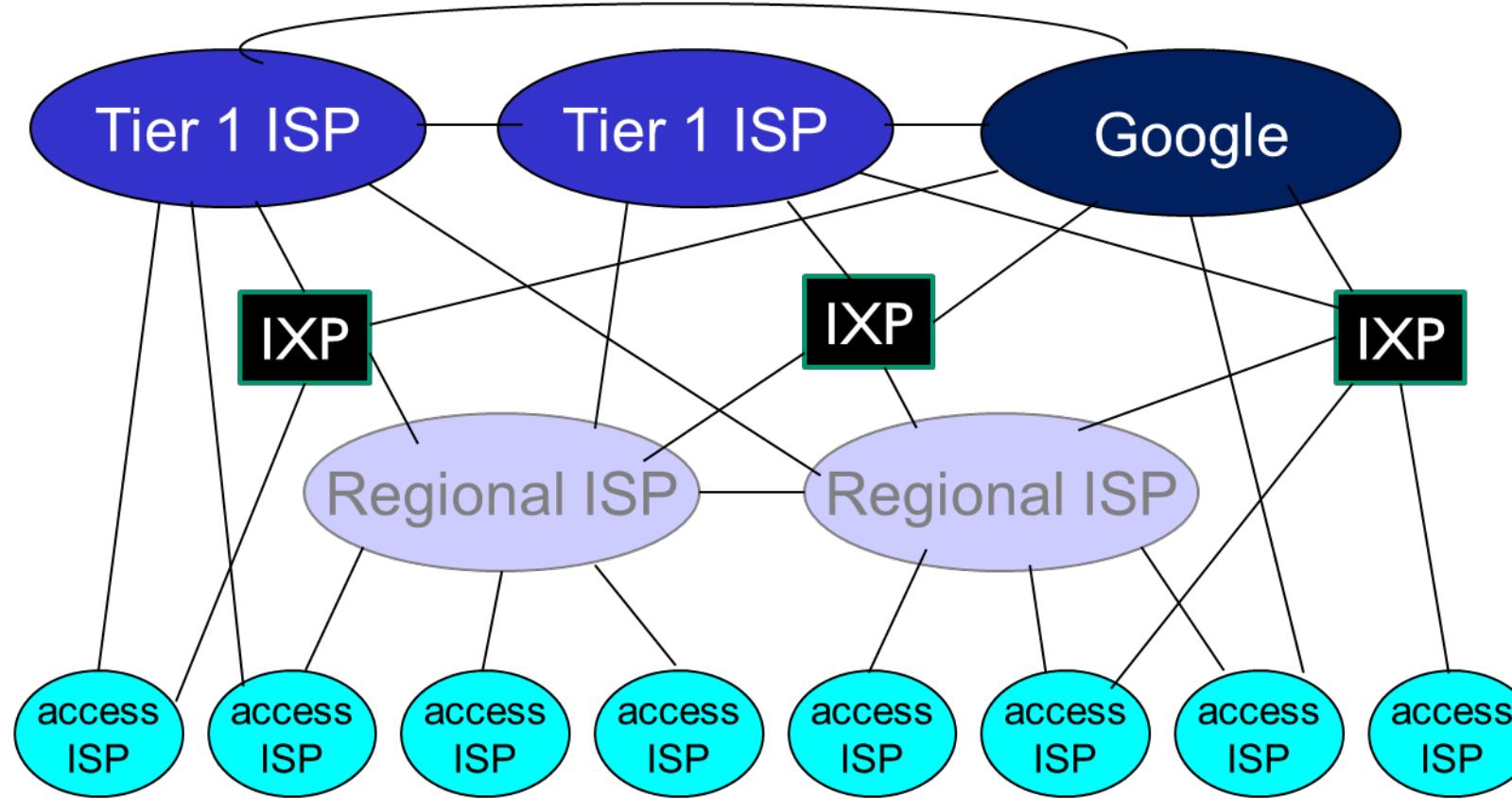
Deutsches
Forschungsnetz
(DFN): Anbindung an das
restliche Internet

Quelle: DFN-Verein, Stand 3/2025

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



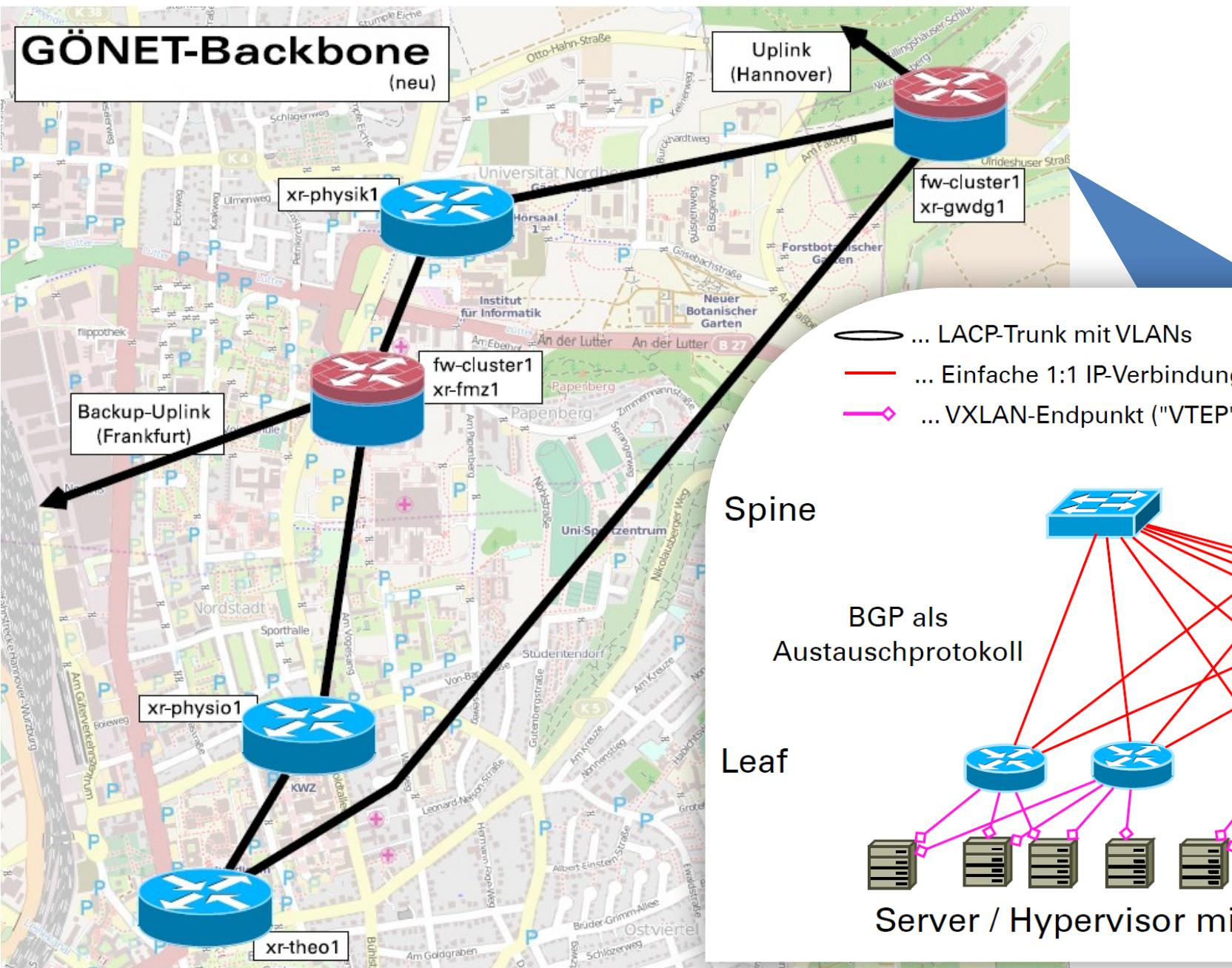
Das Internet als Netz der Netze



- 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
- Access ISPs: Internetanschluss für Endkunden/Unternehmen (DFN, Telekom, 1&1, ...), „Eyeball“ Netze
- 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...)

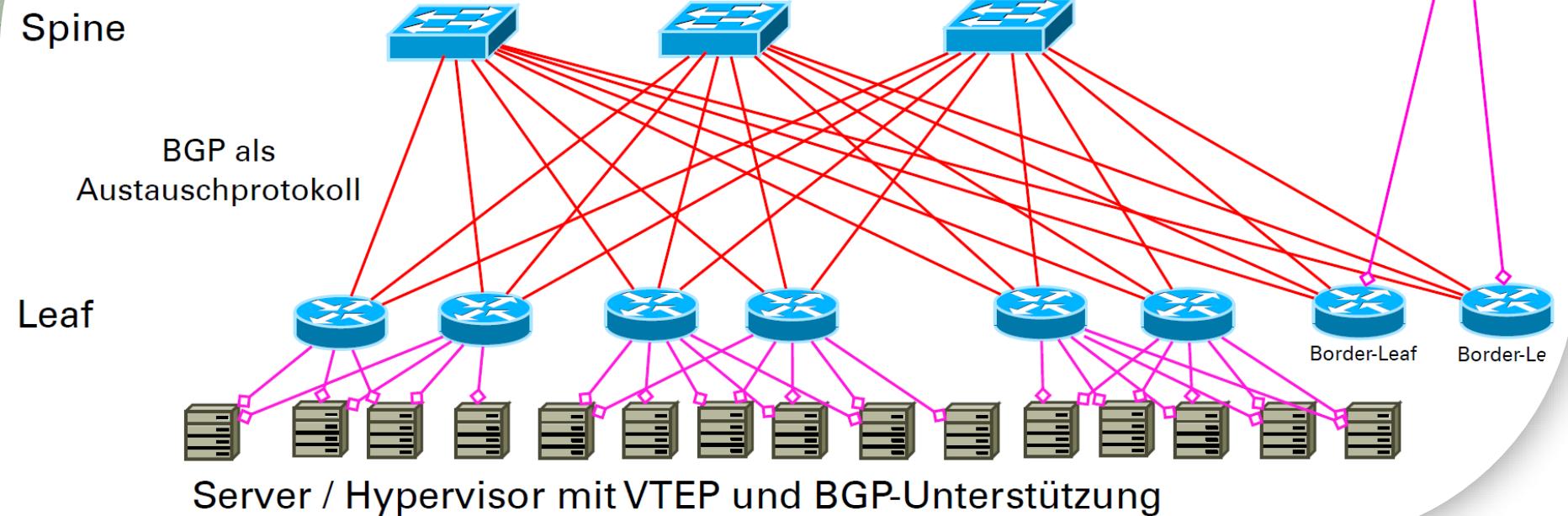
Quelle: Kurose/Ross: Computernetzwerke, 2014

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



GWDG Data Center Netz
Was ist das für eine Topologie?

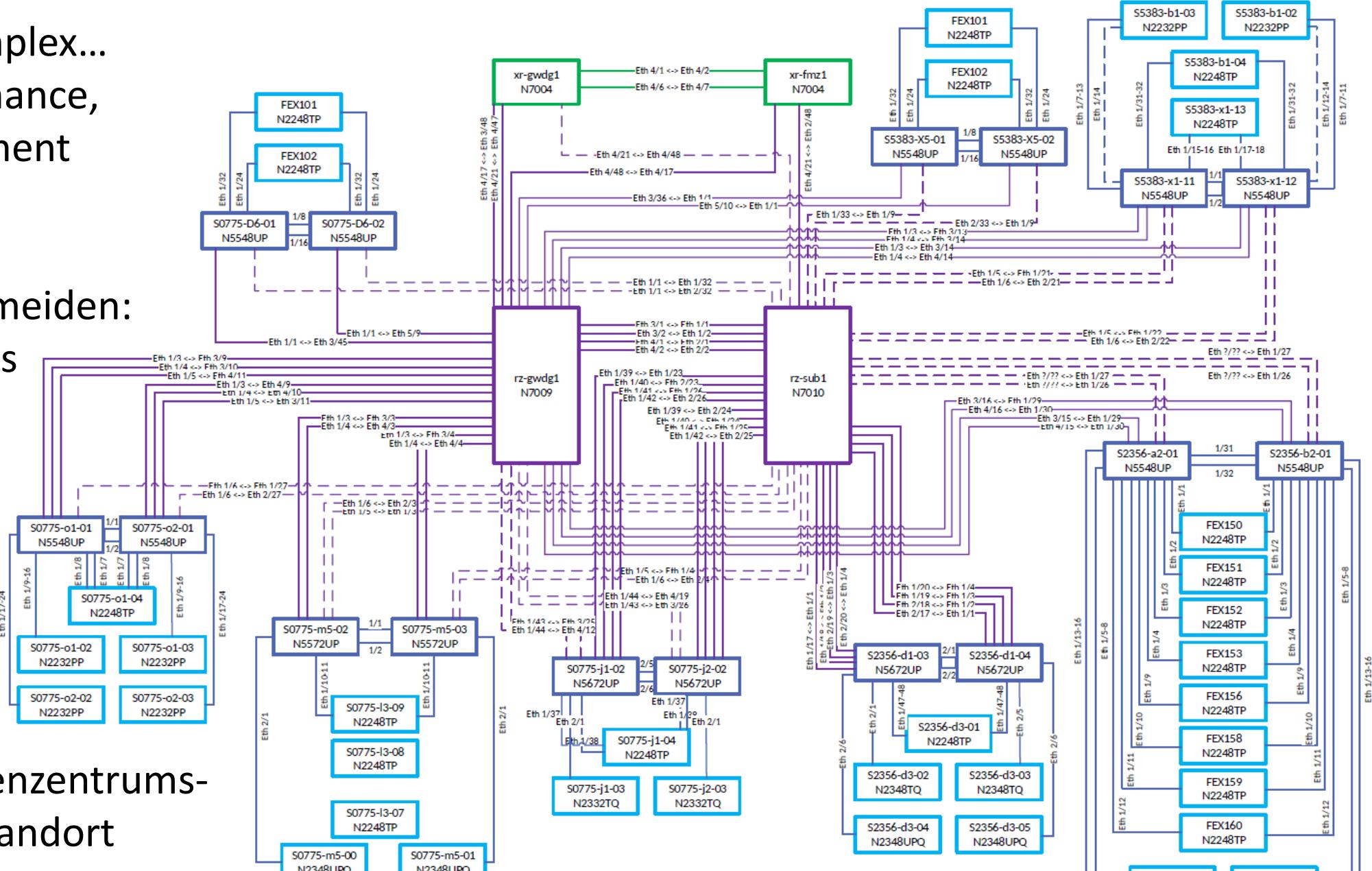
- ... LACP-Trunk mit VLANs
- ... Einfache 1:1 IP-Verbindung
- ... VXLAN-Endpunkt ("VTEP")



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

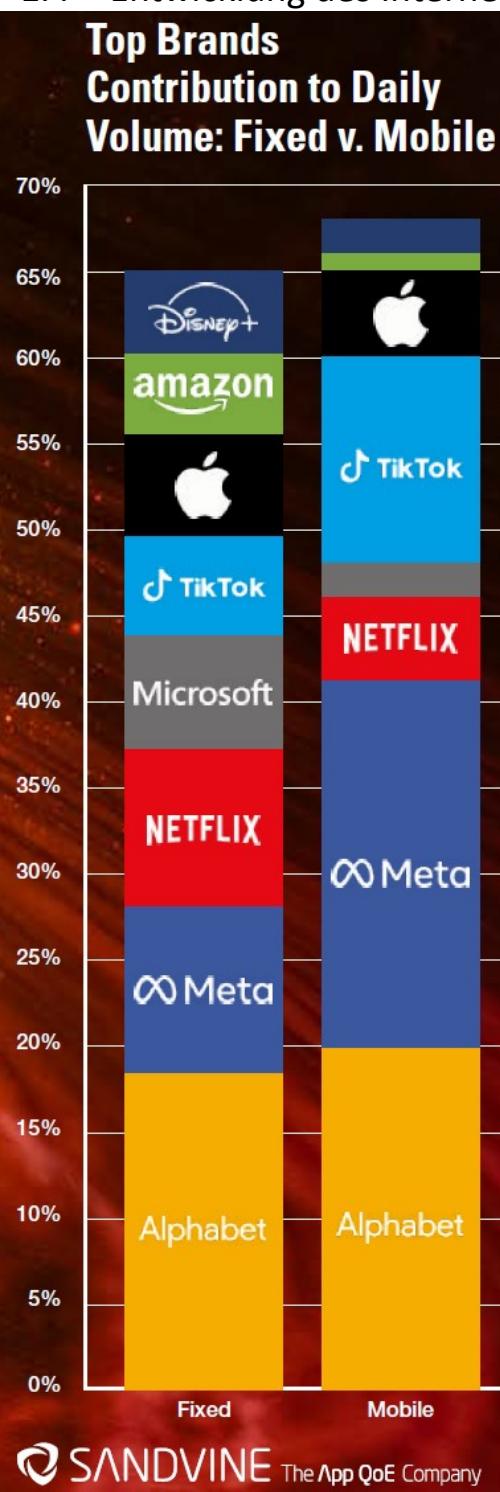
Aber das lässt sich kaum vermeiden:

- 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 Rechenzentrumsnetz, und nur an einem (!) Standort

Warum so viel? Wo kommt der Bedarf her?



Top Apps in Category by App User Volume – Fixed

Table 9

App Category and App	% of Users	User Volume
Video		
YouTube	35%	2.5 GB
Netflix	30%	4.2 GB
Amazon Prime	26%	2.6 GB
Disney+	21%	2.4 GB
Hulu	6%	3.1 GB
Social Media		
Facebook	52%	1.2 GB
Tik Tok	64%	1.1 GB
Instagram	48%	522 MB
Snapchat	32%	404 MB
X (Twitter)	28%	131 MB
Device Gaming		
Playstation Downloads	9%	11.3 GB
Xbox Live	7%	14.1 GB
Steam	13%	2.5 GB
ROBLOX	8%	856 MB
Xbox Games	15%	1.6 GB
Television		
Operator Content	5%	9.3 GB
Discovery Plus	3%	2.3 GB
Peacock	6%	591 MB
Tubi TV	10%	371 MB
Pluto TV	9%	465 MB
Audio		
Spotify	46%	62 MB
Podcast Services	14%	110 MB
Apple Music	38%	43 MB
Amazon Music	6%	166 MB
SoundCloud	6%	23 MB
Cloud Gaming		
Xbox Cloud Gaming	1%	4.1 GB
GeForce Now	2%	1.0 GB
Playstation Now	6%	10 MB
Garena+	2%	29 MB
Shadow	1%	5.8 GB
Communication		
FaceTime	34%	150 MB
WhatsApp	40%	136 MB
Discord	8%	963 MB
Telegram	10%	245 MB
Facebook Messenger	49%	108 MB
Conferencing		
Microsoft Teams	3%	682 MB
Zoom	6%	253 MB
Google Meet	25%	7 MB

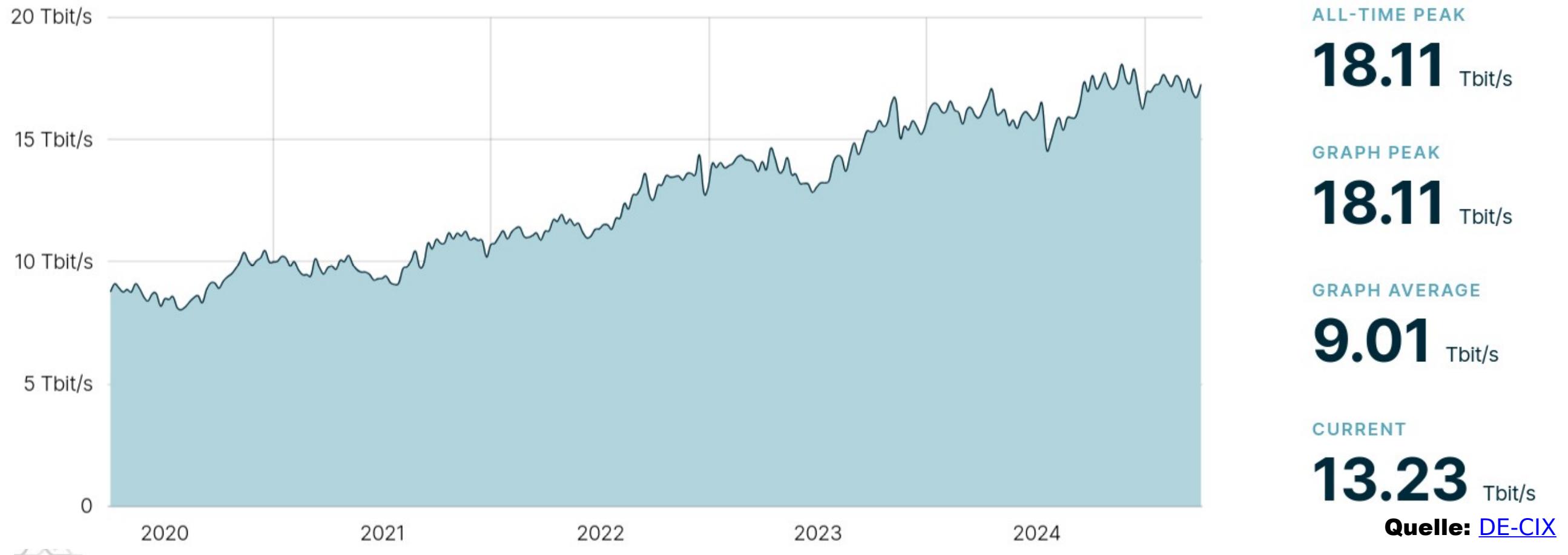
...zunehmende Anwendungen, Video...

- [Sandvine Global Internet Phenomena 3/2024](#)
 - 33 EB/day (22 EB fixed, 11 EB mobile), top brands ~65%, video 54% downstream, upstream growing (file sharing, cloud upload), gaming
- [Cisco Annual Internet Report](#)
 - 2023: 5,3 Mrd. User, 3,6 Devices pro Kopf, avg 110 Mbit/s fixed access
- [Cloudflare Radar](#)
 - Platz 1 „AI ist das neue Streaming / Social Media“, [TOP 10 Services](#)
- [ARD / ZDF Onlinestudie](#)
 - Generelle Internet-Nutzung liegt stabil bei 95%, unter den Älteren weiterhin ca. ein Viertel Offliner

...schneller Internetzugang, ubiquitär? überall? im Flugzeug? ;)

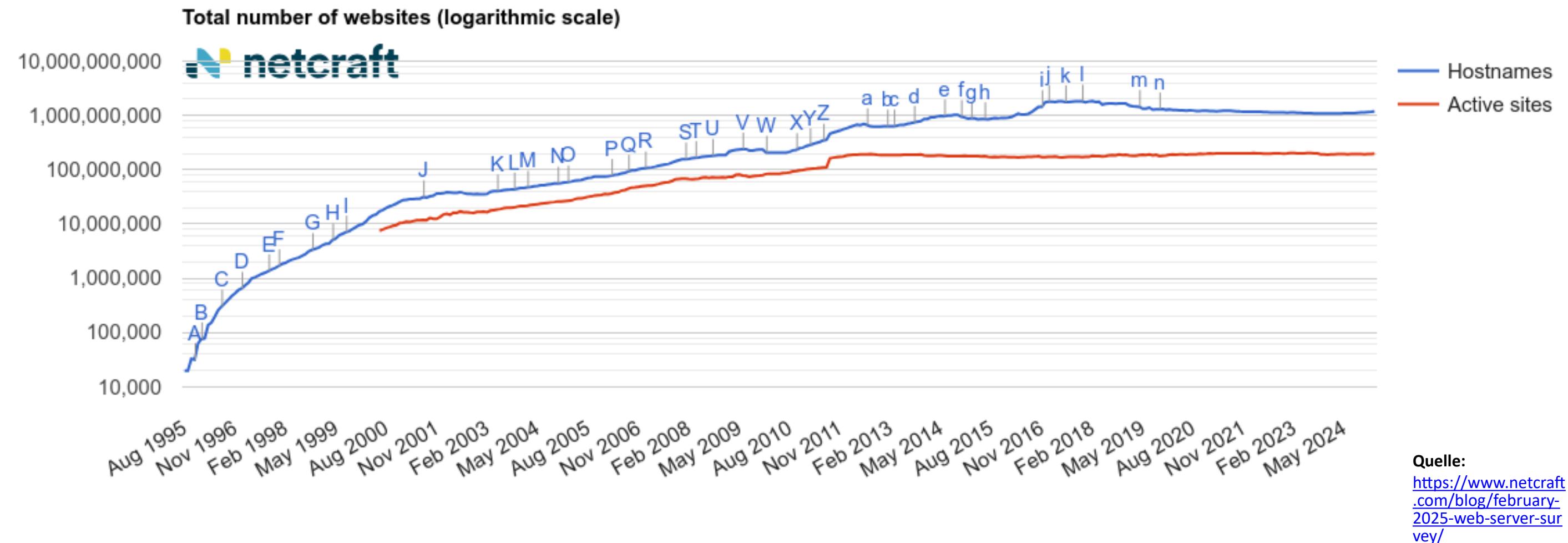
- BNetzA: [Breitband Messung, Daten](#)
 - [Mobilfunk hink hinter Festnetz aber 5G kommt voran](#) (Heise 3/2024)
- [Submarine Cable Map](#)
 - <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/grace-hopper>
 - [Unterseekabel im Pazifik: Google gibt eine Milliarde Dollar für Proa und Taihei](#) (Heise 4/2024)

Wert und Last der Netzinfrastruktur



- [DE-CIX: Wie die "neue Normalität" den Internet-Datentransfer explodieren lässt \(6/2022\)](#)
- [Internetknoten: Mehr als 15 Tbit/s dank Champions League und iOS 17 am DE-CIX \(Heise 9/2023\)](#)
- [Betreiber DE-CIX: Globaler Datenverkehr steigt 2024 deutlich an \(Heise 1/2025\) „Gamer schlagen König Fußball“](#)

Wachstum World Wide Web (WWW)



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

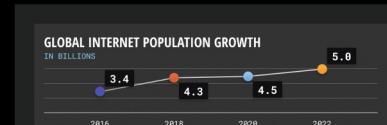
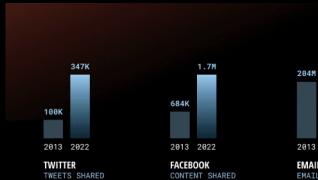
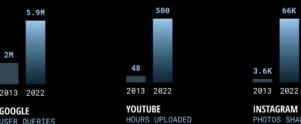
- [771 Milliarden Nachrichten: E-Mail-Volumen in Deutschland 2017 auf Rekordwert \(Heise 2/2018\)](#)

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:

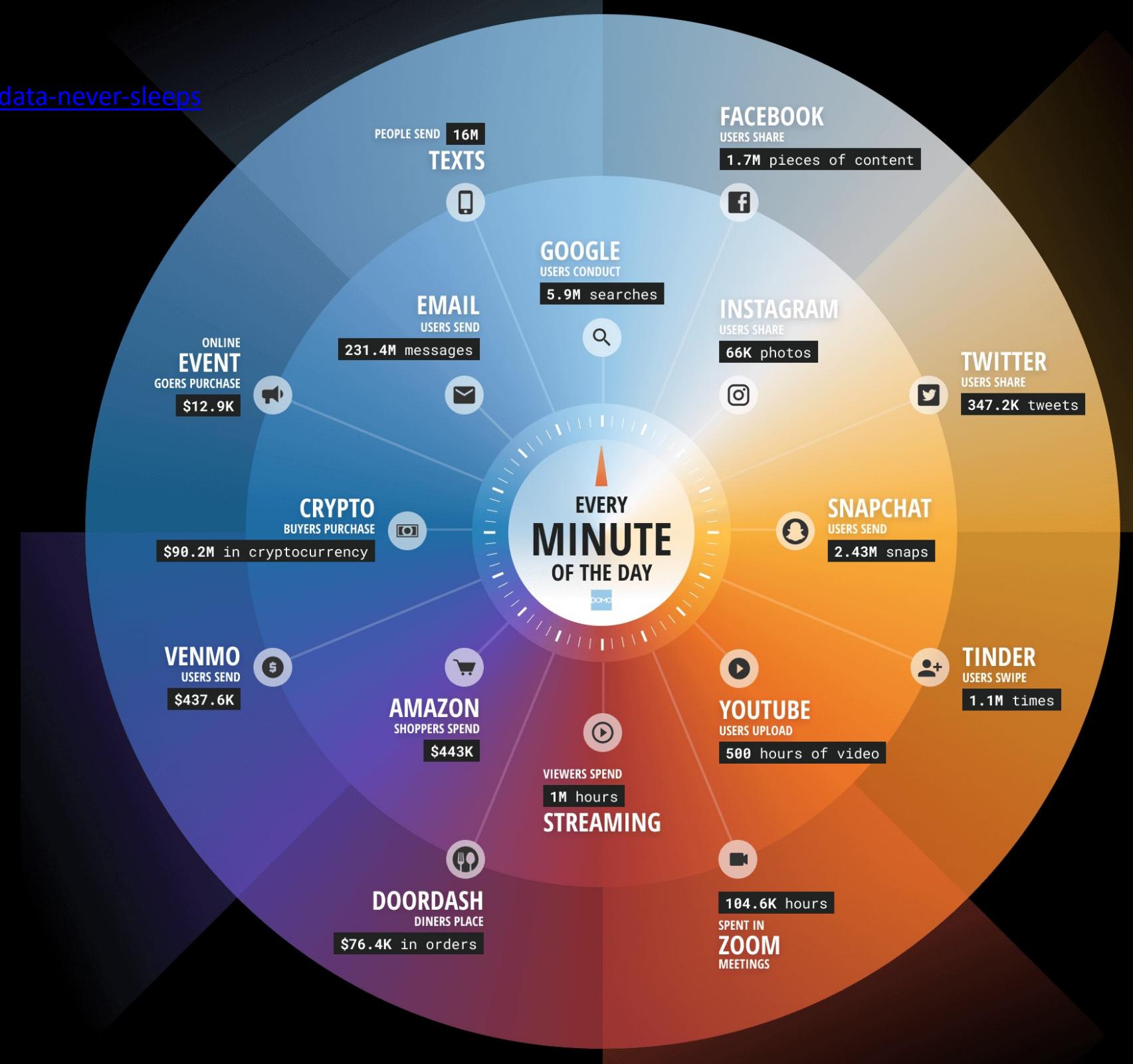
DATA NEVER SLEEPS 1.0 VS. 10.0

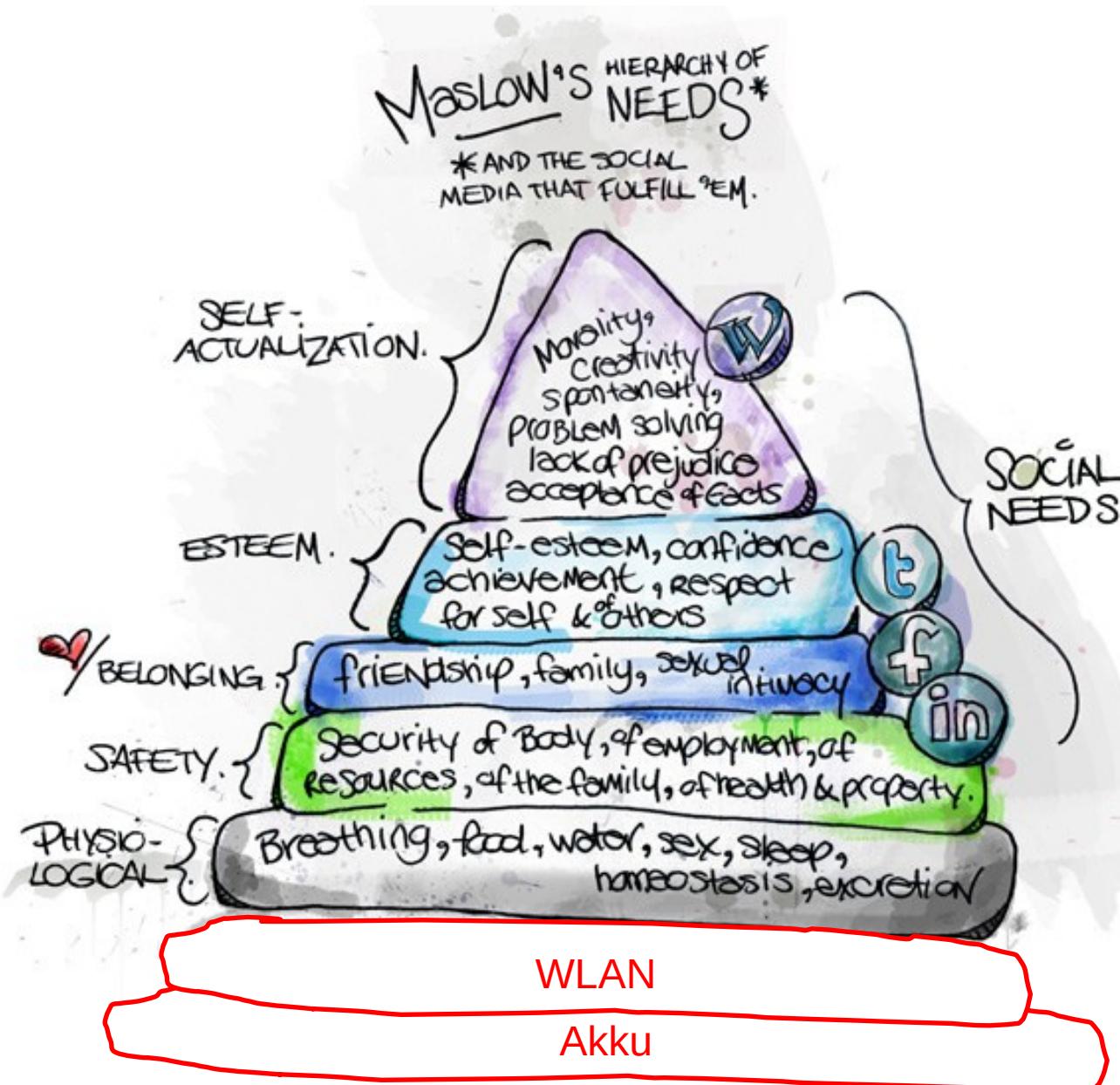


To succeed in an increasingly digital world where the volume of data created keeps accelerating, businesses need the right tools to put that data to work where work gets done. Domo gives you the power to rapidly unlock value from all your data, regardless of where it lives, and drive actions across your 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 Insight, Oberlo, Hootsuite, Earthweb, Matthew Woodward.co.uk, WebTribune, Deadline.com, Local IQ, Business of Apps, Query Sprout, Young and the Invested, Dating Zest, IBIS World, DoorDash, TechCrunch, Statista, Data Never Sleeps 1.0





Quelle:
codinghorror.com

Aber auch Seiteneffekte...

- Soziokulturelle Einflüsse: Ausfall Internet bei Naturkatastrophen, politische Einflussnahme, Abhörskandale, ... siehe auch z.B. <https://transparencyreport.google.com>

...auch in 2024... Zensur, eigene/abgeschottete Netze in EU, US, RU ...

- [Schäden an Internet-Seekabeln: So können sich Europa und die Welt wappnen](#)
(Heise 3/2024)
- [Kurz vor den Wahlen: Iran erklärt auch Nutzung von VPN-Diensten für illegal](#)
(Heise 2/2024)
- [Russland will nur ausgewählte VPN-Dienste sperren, nicht ausnahmslos alle](#)
(Heise 11/2023)
- [Menschenrechte: Rekordzahl an Staaten hat 2022 das Internet gesperrt](#)
(2/2023)

Allgemeine Herausforderungen für Kommunikationsnetze (bzw. Computernetzwerke)

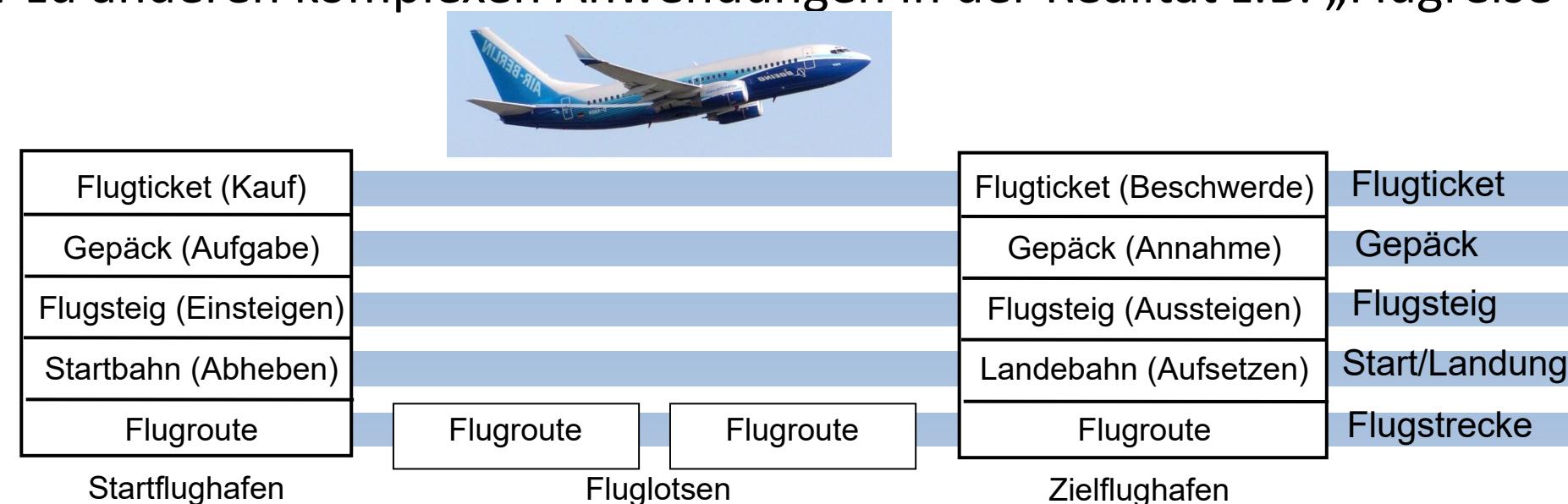
- Performance, Lichtgeschwindigkeit (Latenz)
- Fehlertoleranz (Links und Komponenten), Resilienz
- Effizienz (Lastverteilung, Flusskontrolle, Energie, Betriebskosten, ...)
- Skalierbarkeit für schnelles Wachstum und Evolution
- Einheitliches, verteiltes Management
- Sicherheit (Missbrauch: Vertraulichkeit, 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

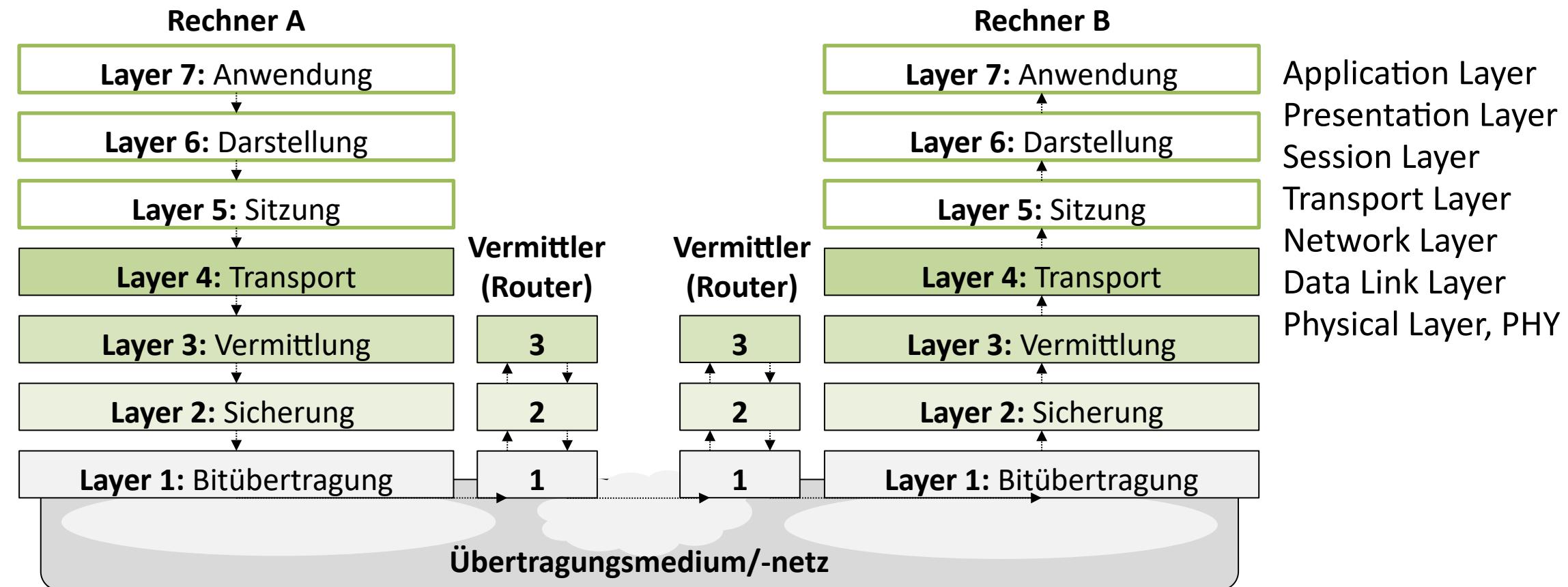
Schichtenmodelle

- 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

Schichten im OSI-Referenzmodell

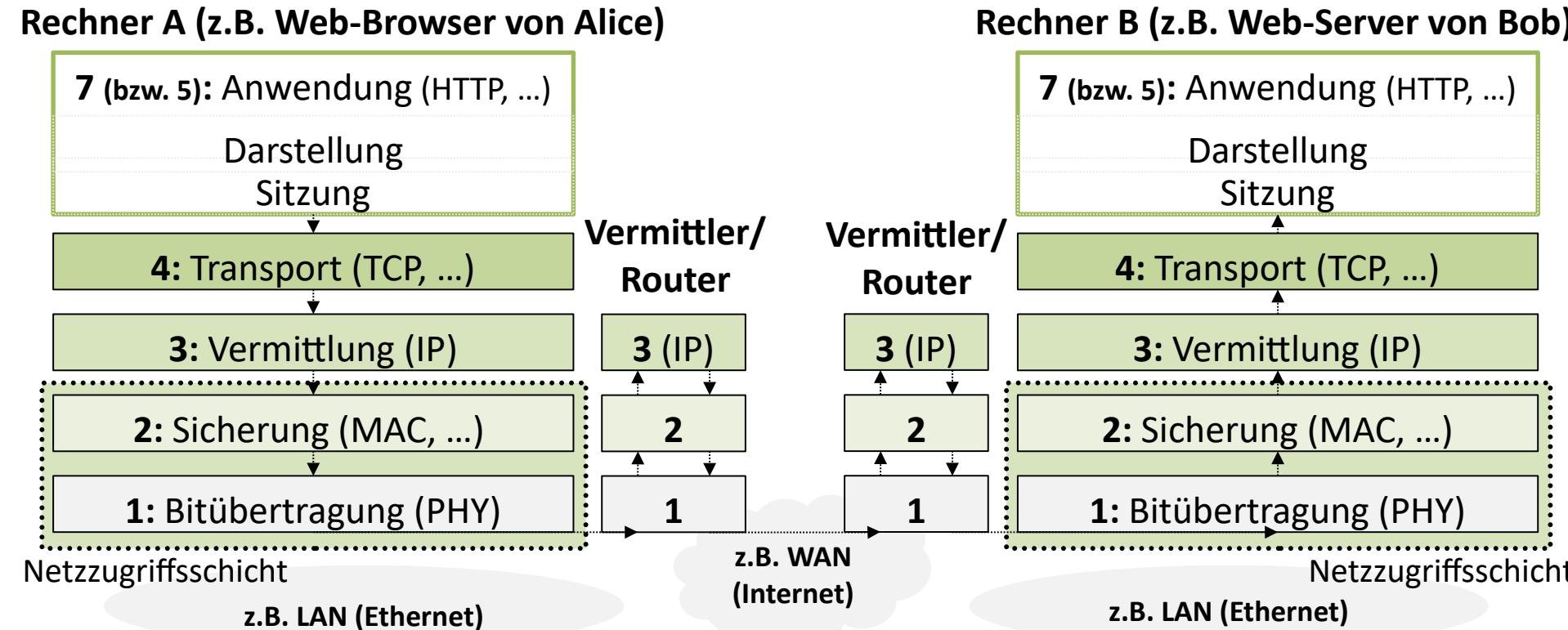


Open Systems Interconnection (OSI) Referenzmodell:

- 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)

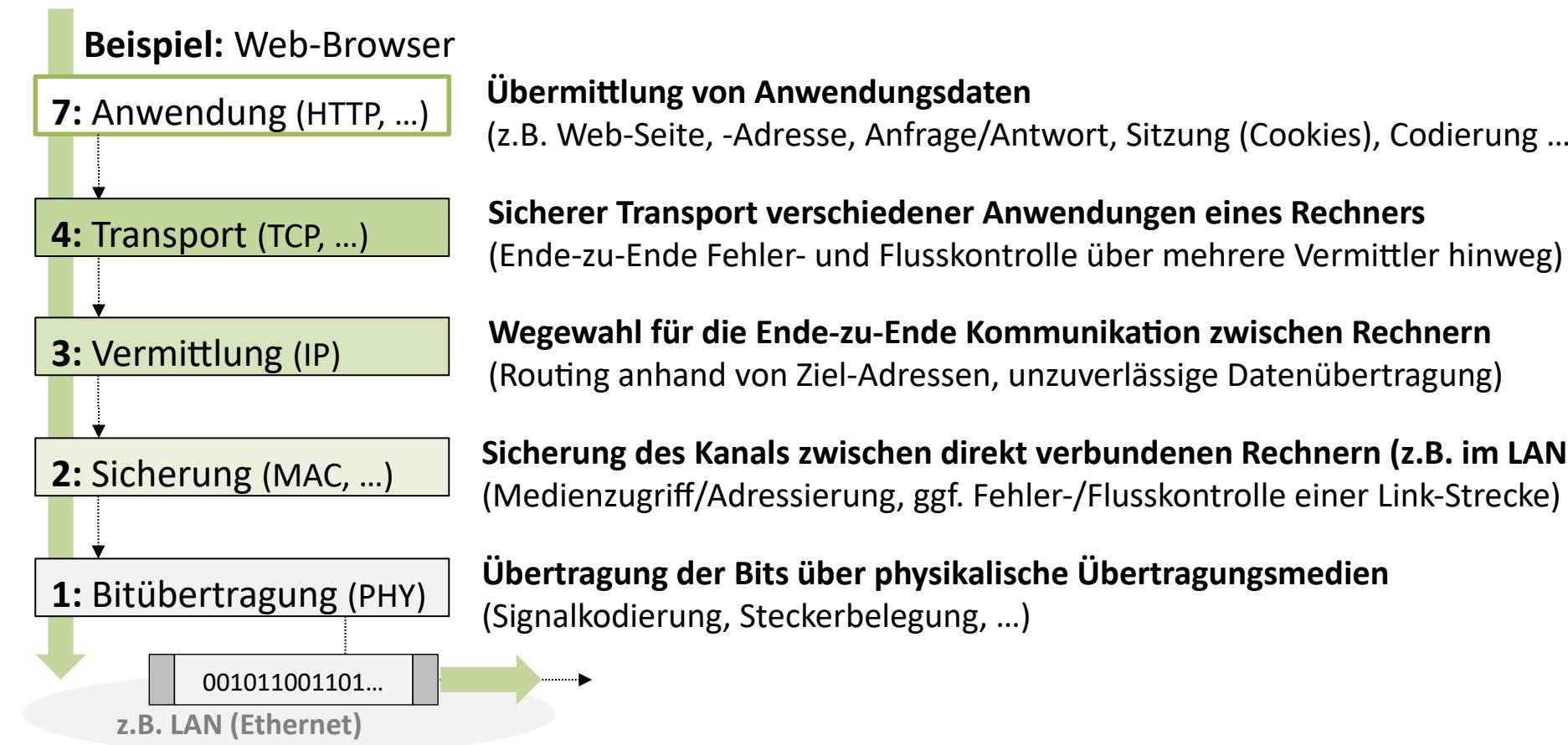


TCP = Transmission Control Protocol, IP = Internet Protocol, UDP = User Datagram Protocol

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

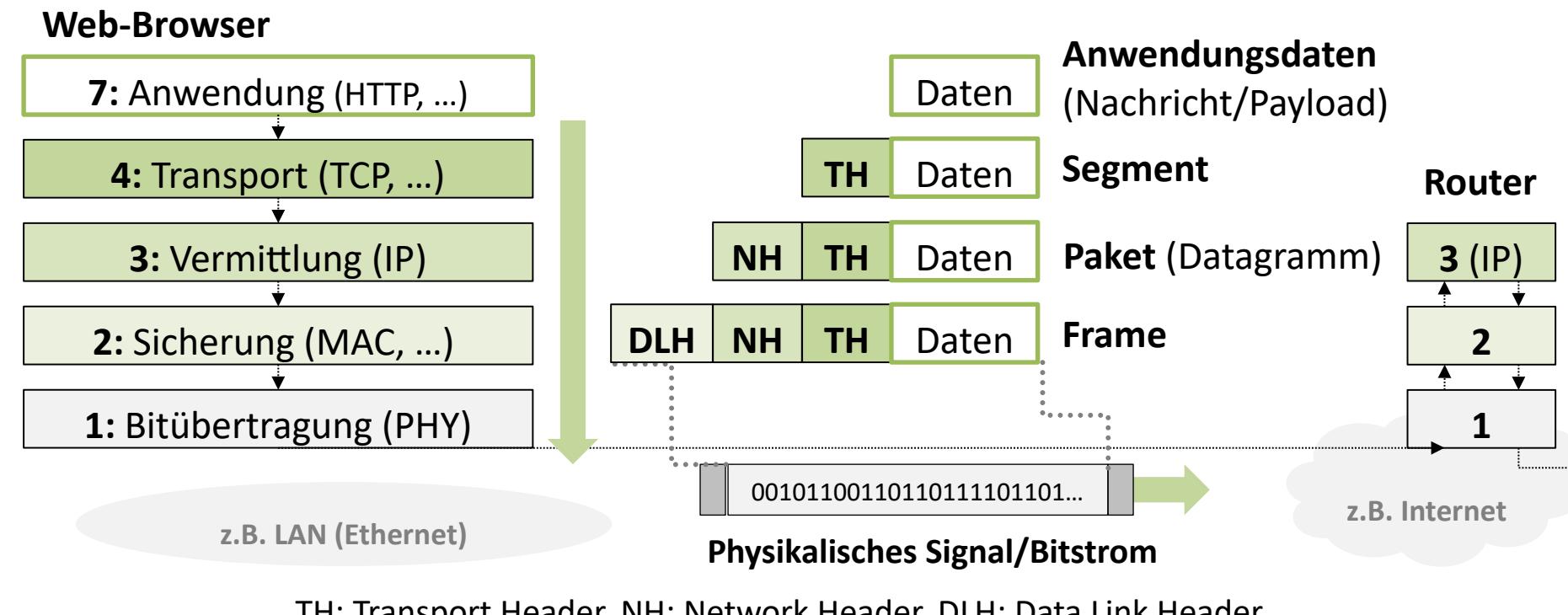


- TCP/IP Referenzmodell häufig in der Lehre verwendet, näher an der Realität als OSI

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



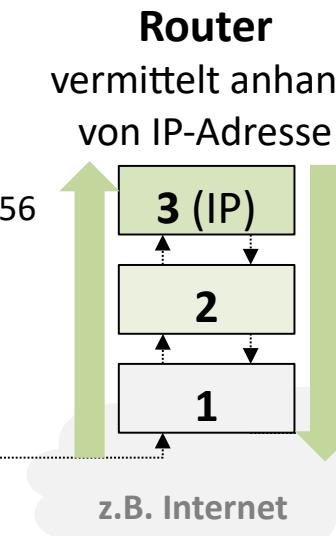
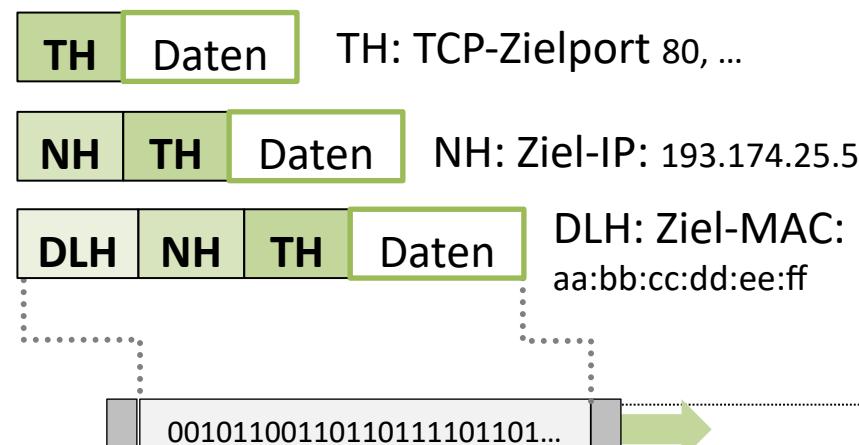
- **Ziel:** einfacher, einheitlicher Austausch zwischen Anwendungen im Netz
- Jede Schicht fügt eigenen Header hinzu
 - Die Anwendungsdaten (Payload) werden verpackt (vgl. Postpaket)
 - Jeder Header enthält für die Aufgaben der Schicht erforderliche Informationen z.B. Quell- und Zieladressen (vgl. Adressaufkleber), 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>

7: Anwendung (HTTP, ...)

4: Transport (TCP, ...)

3: Vermittlung (IP)

2: Sicherung (MAC, ...)

1: Bitübertragung (PHY)

z.B. LAN (Ethernet)

URL: Uniform Resource Locator

- 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

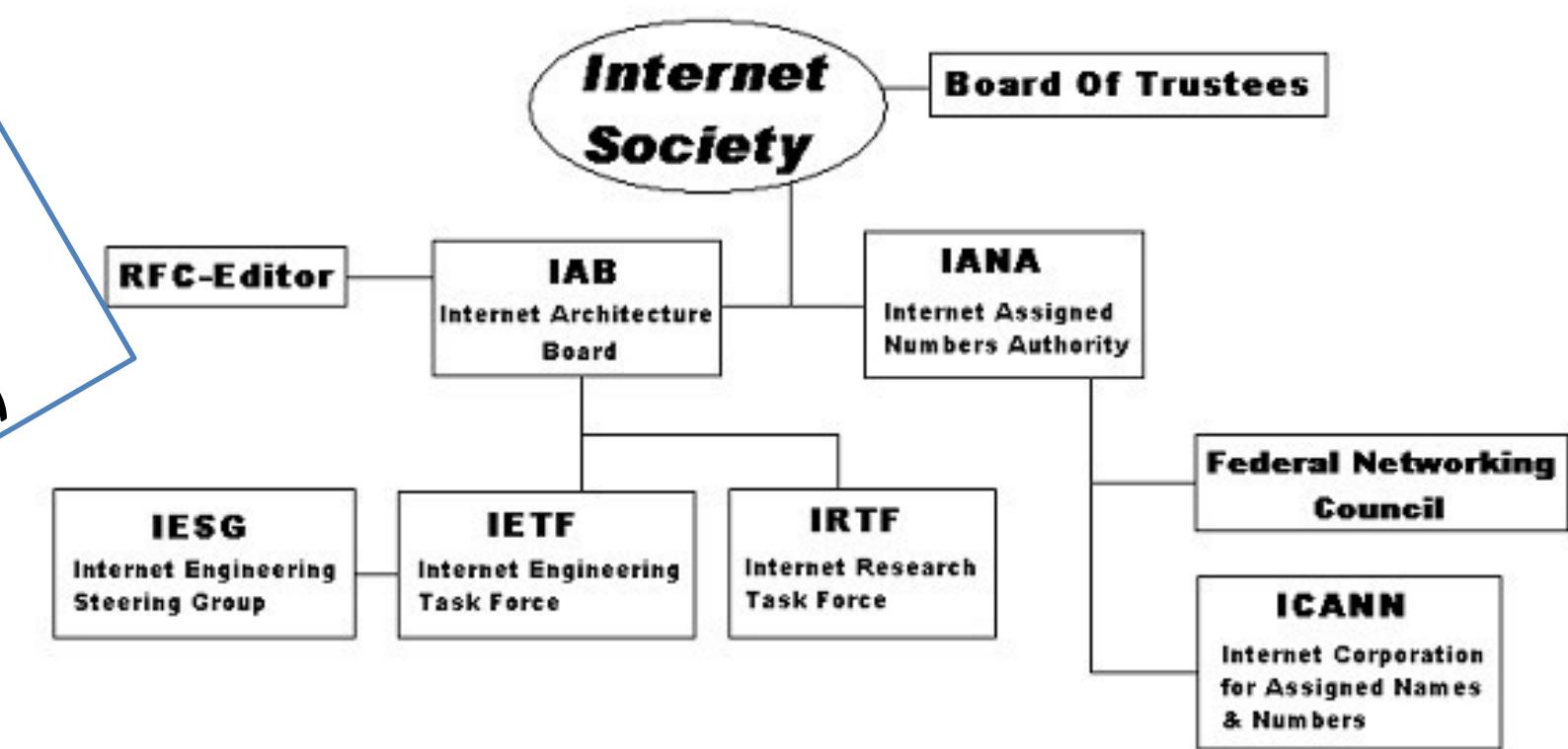
Die IETF-Dokumente werden als sog. **RFCs** (*Requests for Comments*) im Internet veröffentlicht.

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 Jahre -
in Blick auf Anfänge und Entwicklungen
(Heise 10/2019)

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

*Faster Than Light
Speed Protocol
(FLIP)
RFC 9564
4/2024 ;-)*



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, www.fulda.de, www.hs-fulda.de, 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 „traceroute“ (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. <https://speed.cloudflare.com/>, www.speedtest.net. Welchen Upload und Download Speed und Latency/Ping-Wert haben Sie erreicht?
 - Sie können auch <https://mmnet.informatik.hs-fulda.de/speedtest/> testen, was bietet unser lokaler Speedtest?
 - 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 diskutiert