

# KAPITEL 2: COMPUTERNETZE – EINE ERSTE ÜBERSICHT

2.1 Terminologie

2.2 Grundlagen der Datenübertragung

2.3 Protokolle und Dienste

2.4 Sockets

## 2.5 Aufbau des Internets

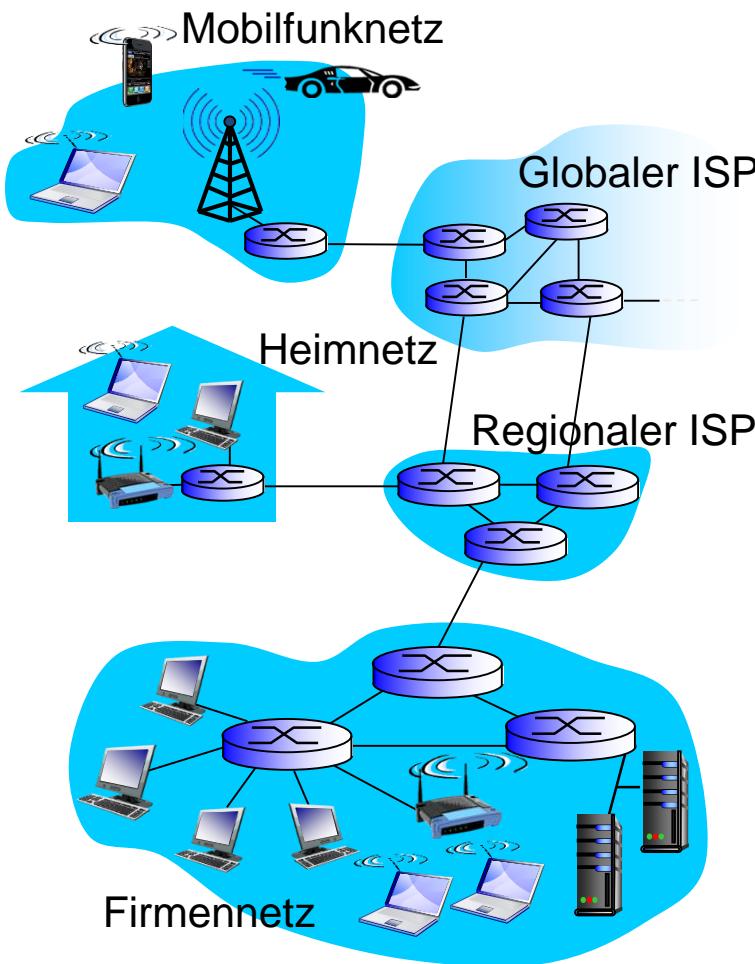
2.5.1 Netzrand: Zugangsnetze und Endkundennetze

2.5.2 Das Innere der ISP-Netze: Das Kernnetz (Core Network)

2.5.3 Das Internet – Netz der Netze

2.6 Zusammenfassung

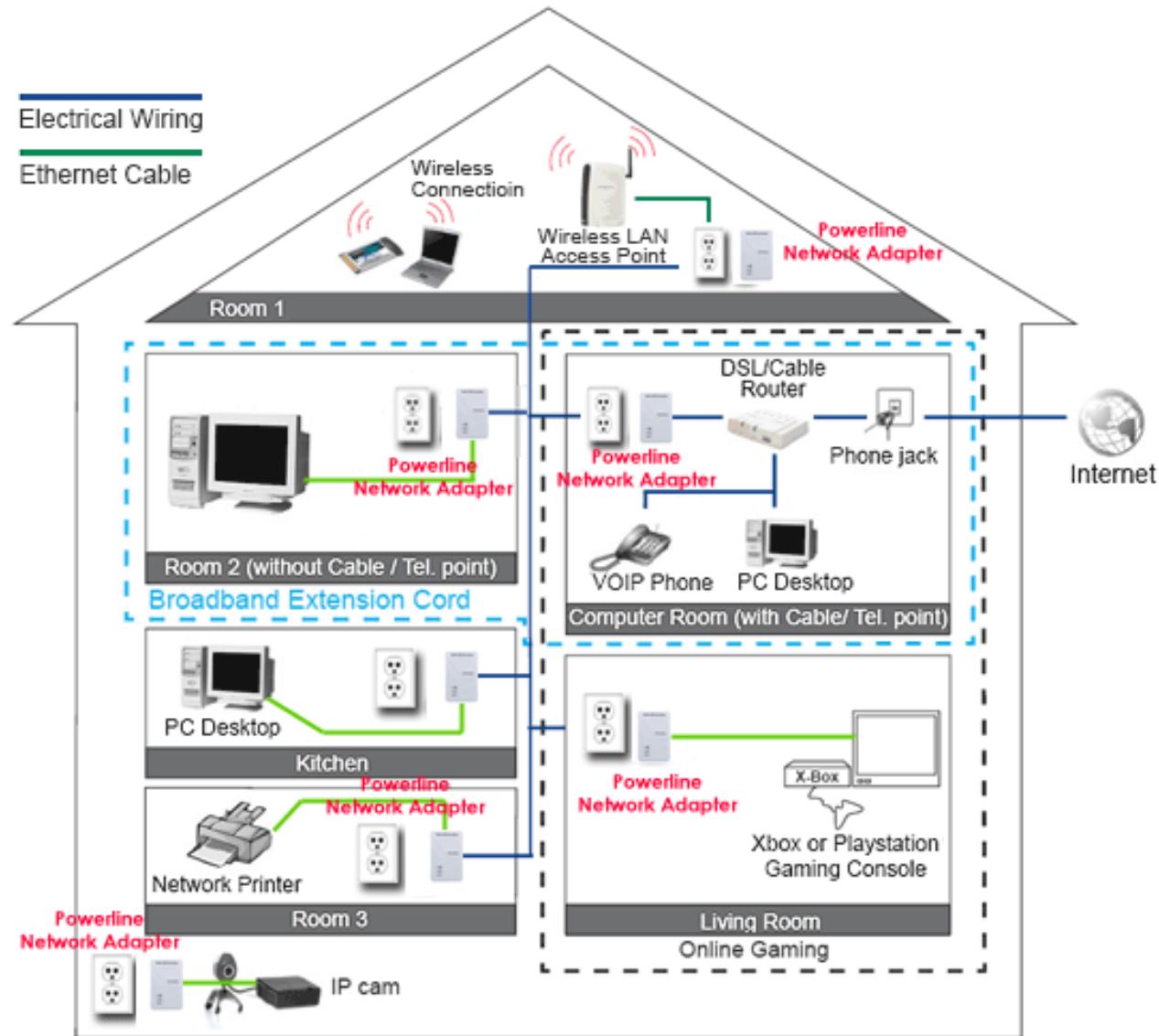
# Aufbau des Internets



- **Netzrand (**Network edge**):**
  - Anwendungen und Endsysteme
  - befindet sich nicht unter der Kontrolle des ISPs
- **Zugangsnetze (**Access Network**), physikalische Medien:**
  - kabel-gebundene und drahtlose Zugangsnetze
  - DSL, Mobilfunk, Kabel
  - vom DSL Router bis zum ersten Router des ISPs
- **Das Innere des Netzes (**Network Core**)**
  - Router der ISPs
  - Netze von Netzen
  - Gateways am Übergang zwischen Netzen

# Heimnetze

- Ethernet
- Wi-Fi
- Powerline

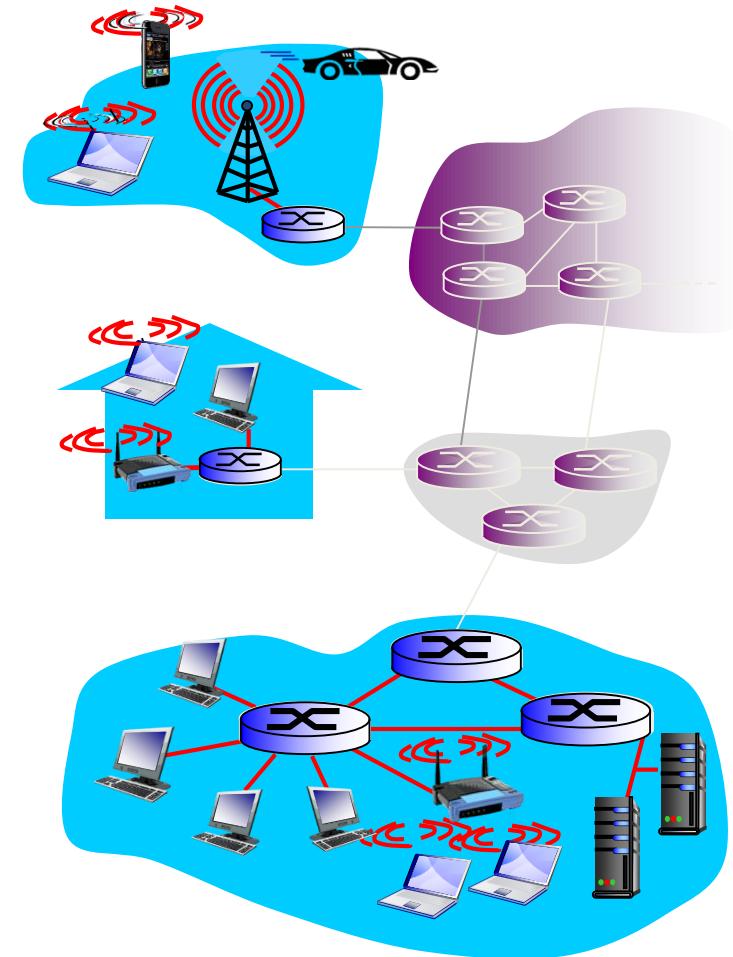


<http://www.allaboutadapters.com/>

# Zugangsnetze

Wie wird die Verbindung mit dem Edge Router hergestellt?

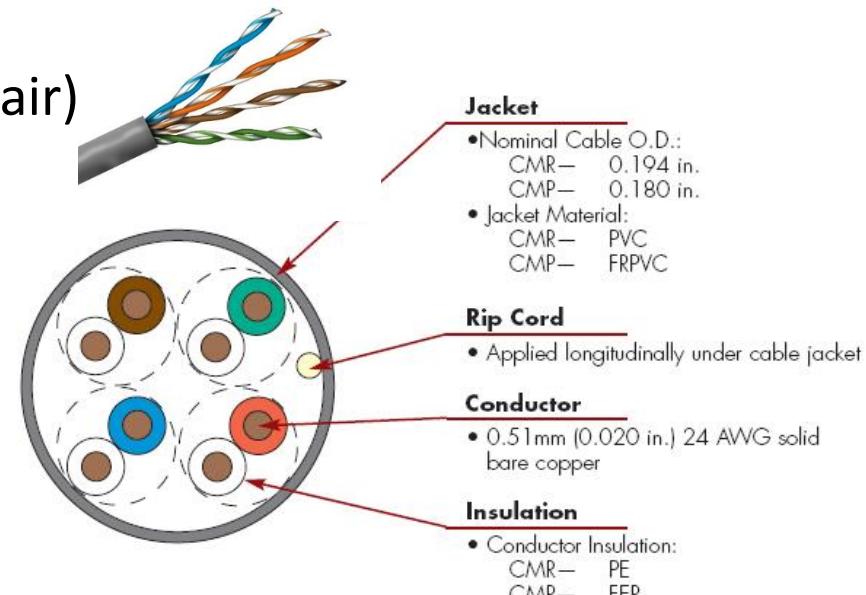
- Zugangsnetze für Privathaushalte
  - dedizierte Bandbreite: DSL, FTTH (Fiber-to-the-home)
  - geteilte Bandbreite: Kabel, LTE/5G
- Zugangsnetze für Institutionen (Hochschule, Firma)
  - Standleitung (Leased Line) über verschiedene Technologien
  - dedizierte Bandbreite
- Mobile Zugangsnetze
  - GPRS, EDGE, UMTS, HSPDA, LTE, 5G
  - geteilte Bandbreite
- Wichtig:
  - Was ist die Bandbreite des Zugangsnetzes?
  - Dedizierte oder geteilte Bandbreite?



# Physikalische Übertragungsmedien: Kabel

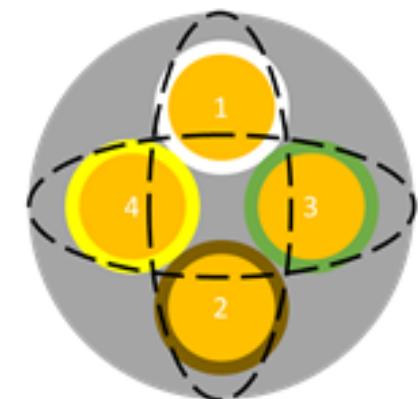
## Twisted Pair (TP)

- 4 Paare verdrillter Drähte (TP, Twisted Pair)
- Einsatz in
  - lokalen Netzen (Ethernet)
  - Telefon
- unterschiedliche Kabelkategorien
  - Kabelqualität/Schirmung
  - Kapazität bei 100m Reichweite



## Telefonkabel (Kupfer):

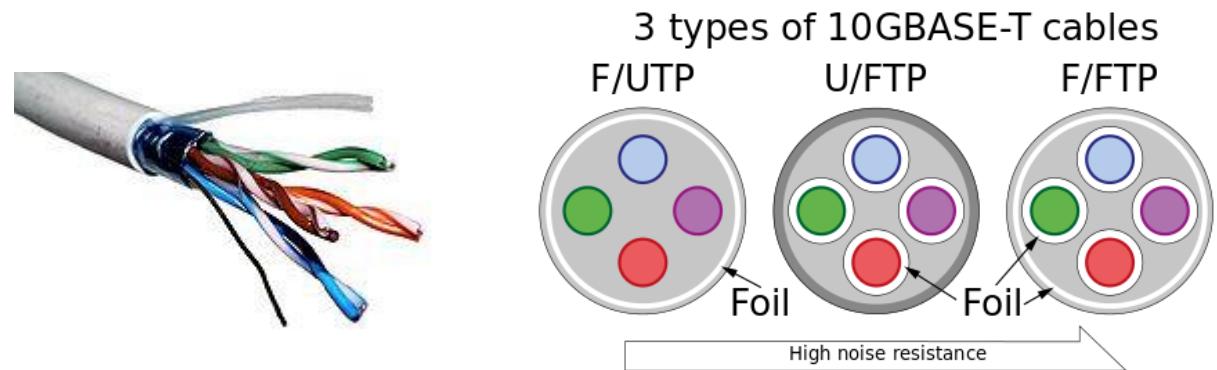
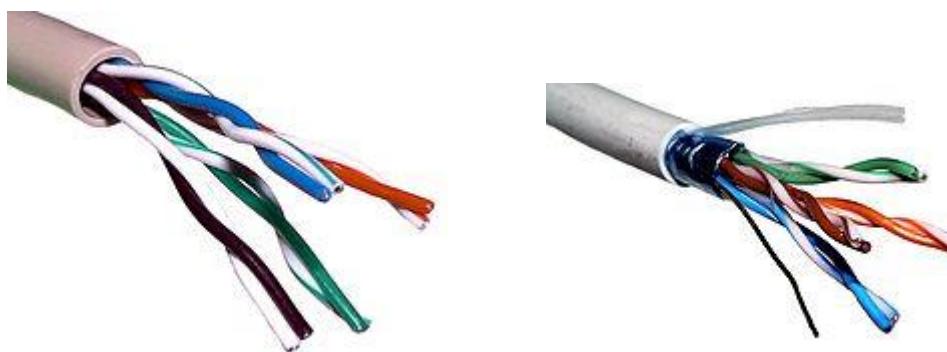
- verschiedene Varianten
- Verlegekabel (J-YY-Kabel) zum Anschluss der Telefon-Dose an das Netz (DSL Anschluss)
  - meist vier-adriges Kupferkabel mit „Sternvierer“
- Anschlusskabel (J-Y(St)-Y-Kabel) für Anschlüsse im Haus
  - unterschiedlich viele (meist 4) Adern
  - paarweise verdrillt



Leitung mit Sternvierer Verseilung

# Twisted Pair Kabel Kategorien

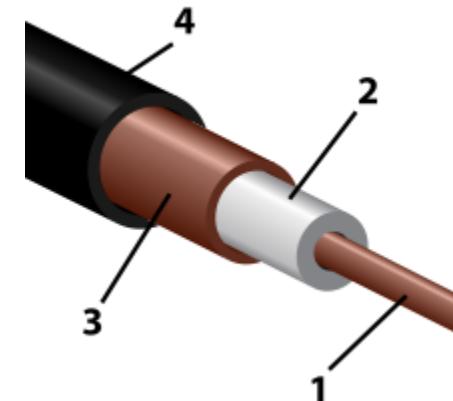
Category	Type	Spectral B/W	Length	LAN Applications	Notes
Cat3	UTP	16 MHz	100m	10Base-T, 4Mbps	Now mainly for telephone cables
Cat4	UTP	20 MHz	100m	16Mbps	Rarely seen
Cat5	UTP	100MHz	100m	100Base-Tx, ATM	Common for current LANs
Cat5e	UTP	100MHz	100m	1000Base-T	
Cat6	UTP	250MHz	100m	10GBASE-T Ethernet	Datacenter LANs
Cat7	ScTP	600MHz	100m	10GBASE-T Ethernet	



# Physikalische Übertragungsmedien: Kabel

## Koaxialkabel:

- Zwei konzentrisch angeordnete Kupferleiter
- Bidirektionale Übertragung
- bessere Absicherung gegen Störstrahlung als TP
- Internet über Kabel
  - HFC: Hybrid Fiber Coax
  - 1 Gbps, aber geteilte Bandbreite



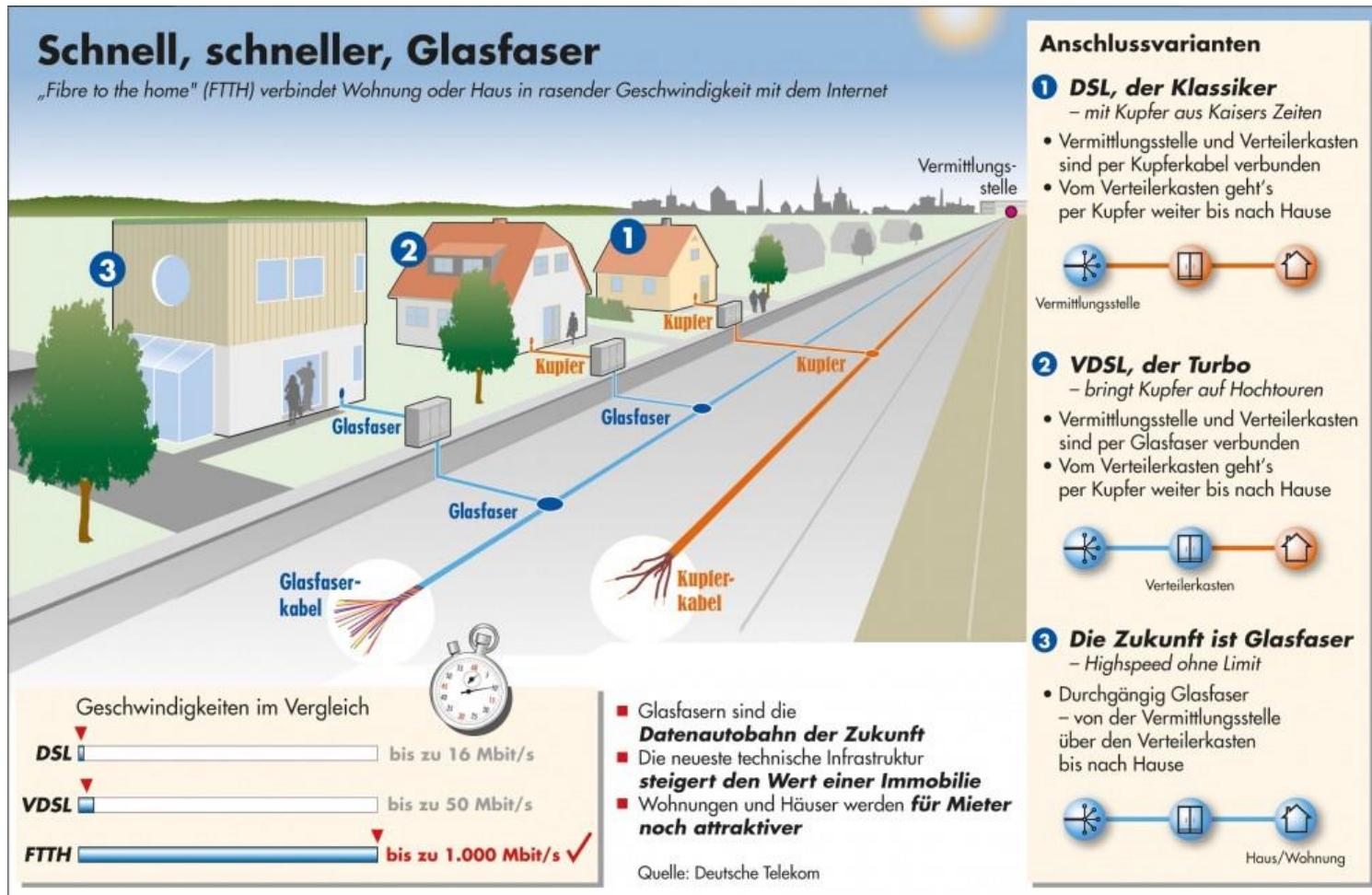
## Glasfaserkabel:

- Übertragung durch Lichtpulse
- Hohe Geschwindigkeit und hohe Reichweite
  - 10-100 Gbit/s über 10-100 km
  - Unterseekabel mit Verstärkern



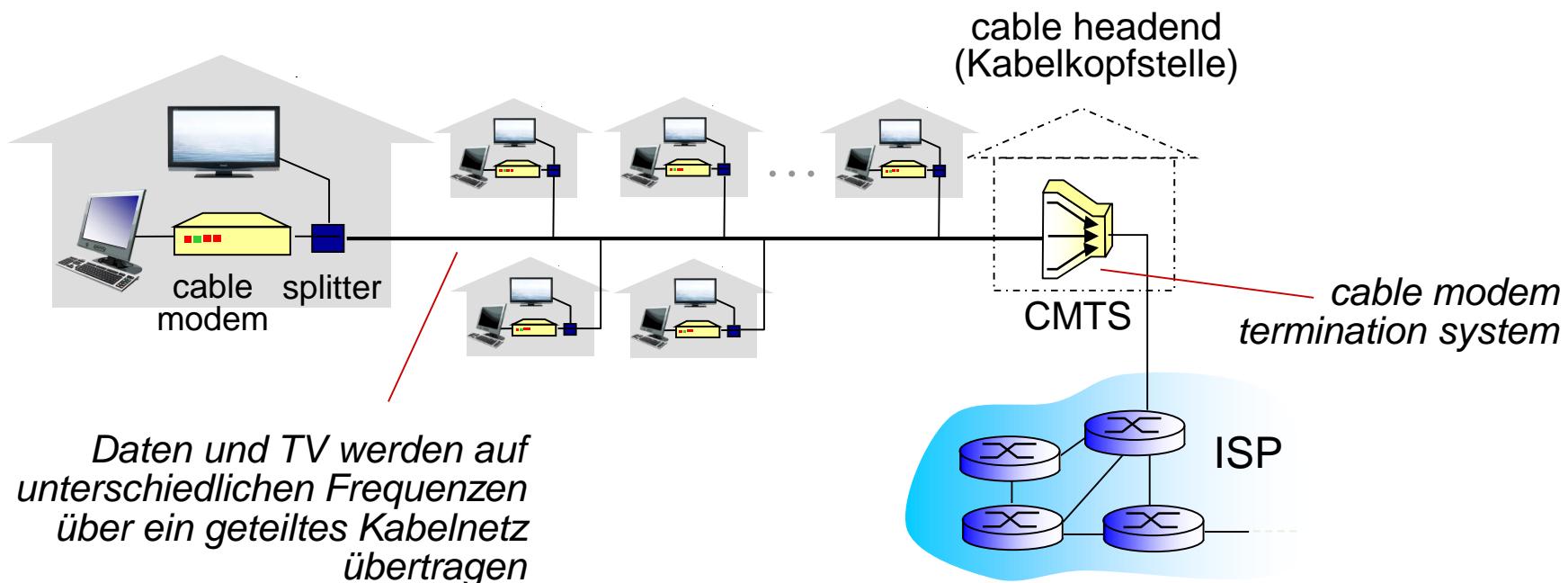
# Zugangstechnologien DSL, VDSL und FTTH

- Werbematerial der deutschen Telekom
- Last-Mile: Anbindung des Haushalts an die Vermittlungsstelle



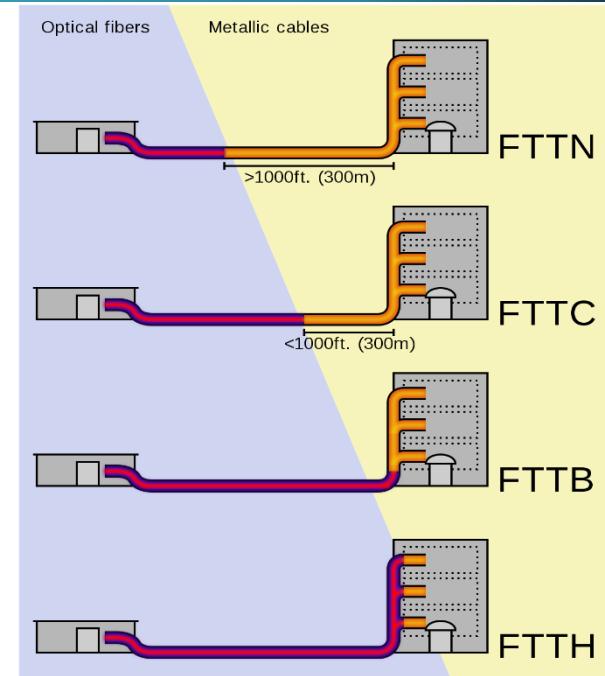
# Internetzugang über Kabel

- Kabelnetz verbindet mehrere Haushalte mit dem Internet
- alle Haushalte (Zugänge) teilen sich die Netzkapazität zum Cable Headend
- im Gegensatz zu DSL gibt es keine dedizierte Leitung zur Vermittlungsstelle



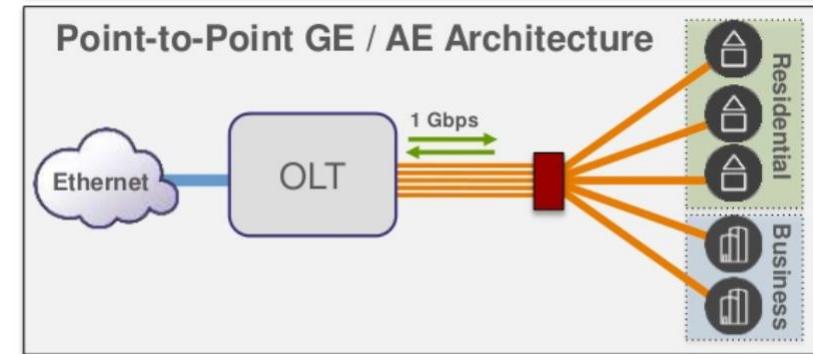
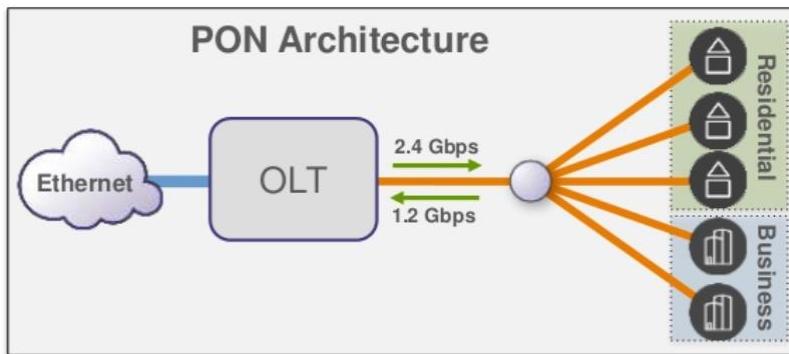
# Internetzugang über Glasfaser - Bis wohin geht die Glasfaser?

- FTTH (Fiber-to-the-Home):
  - Glasfaser bis zum Einfamilienhaus bzw. bis in die Wohnung
  - haus-/wohnungsinterne Versorgung mit Ethernet
- FTTB (Fiber-to-the-Building):
  - Glasfaser bis in den Keller des Mehrfamilienhauses
  - hausinterne Versorgung mit DSL oder Kabel
- FTTC (Fiber-to-the-Curb) bzw. FTTN (Fiber-to-the-Neighborhood):
  - Glasfaser bis zu einem Outdoor-Verteilerkasten
  - Anbindung der Häuser mit DSL/Kabel
  - Bei FTTC ist der Verteilerkasten näher am Haus als bei FTTN. Dadurch wird VDSL möglich.
  - gerade FTTC (VDSL) wird gerne als Glasfaseranschluss gezählt



# Internetzugang über Glasfaser - Technologien

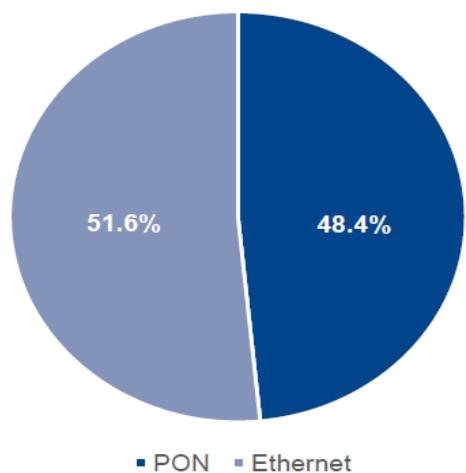
- PON (Passive Optical Network)
  - gemeinsames Glasfaserkabel zu einem passiven optischen Switch
  - von dort separate Glasfaserkabel zu den Kunden
  - Downlink (vom Netz zum Kunden): Switch leitet Verkehr auf alle ausgehenden Leitung weiter, ONU (Optical Network Unit) filtert an sie adressierte Pakete, dynamische Bandbreitenaufteilung
  - Uplink (vom Kunden ins Netz): jeder Kunde darf nur zu bestimmten Zeiten übertragen (TDMA, Time Division Multiple Access), statische Bandbreitenaufteilung
- Active Ethernet, oft auch PtP (Punkt-zu-Punkt)
  - Dediziertes Glasfaserkabel von der Vermittlungsstelle (OLT, Optical Line Termination) zum Kunden (ONU, Optical Network Unit)



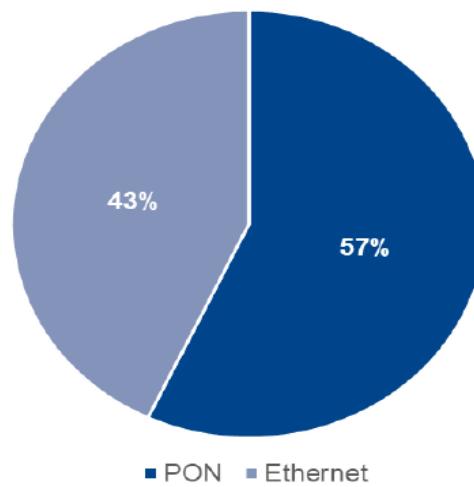
- Active Ethernet benötigt wesentlich mehr Glasfaserkabel und dementsprechend auch Netzwerkkarten
  - Vorteil GPON: günstiger in Installation, Stromverbrauch und Raumbedarf des OLT
- Bei GPON teilen sich mehrere Nutzer die Bandbreite einer Glasfaser, während bei Active Ethernet jeder eine dedizierte Glasfaser besitzt
  - Nachteil GPON: niedrigere Bandbreite vor allem im Uplink
  - Vorteil Active Ethernet: individuelle Technologie-Updates und Lösungen; Zukunftssicherheit
- Entwicklung
  - vor allem in den USA gibt es zahlreiche Installationen von Active Ethernet
  - mittlerweile setzt sich weltweit tendenziell die GPON Technologie durch
    - neuere Standards bieten höhere Datenraten durch die parallele Nutzung mehrerer Wellenlängen → der Hauptnachteil von GPON, die niedrigere Bandbreite entfällt dadurch

# Tendenz zu PON

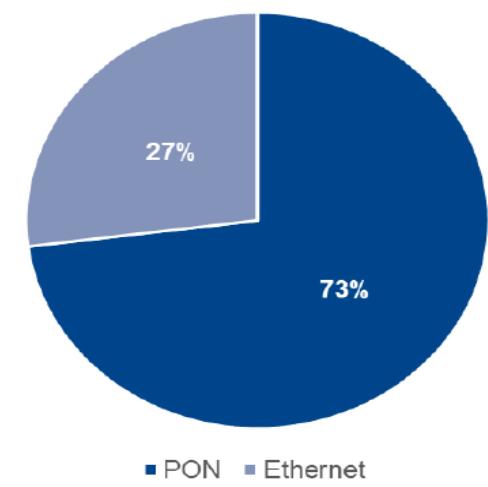
PON/Ethernet ratio at Sept. 2018



2020 Forecasts



2025 Forecasts

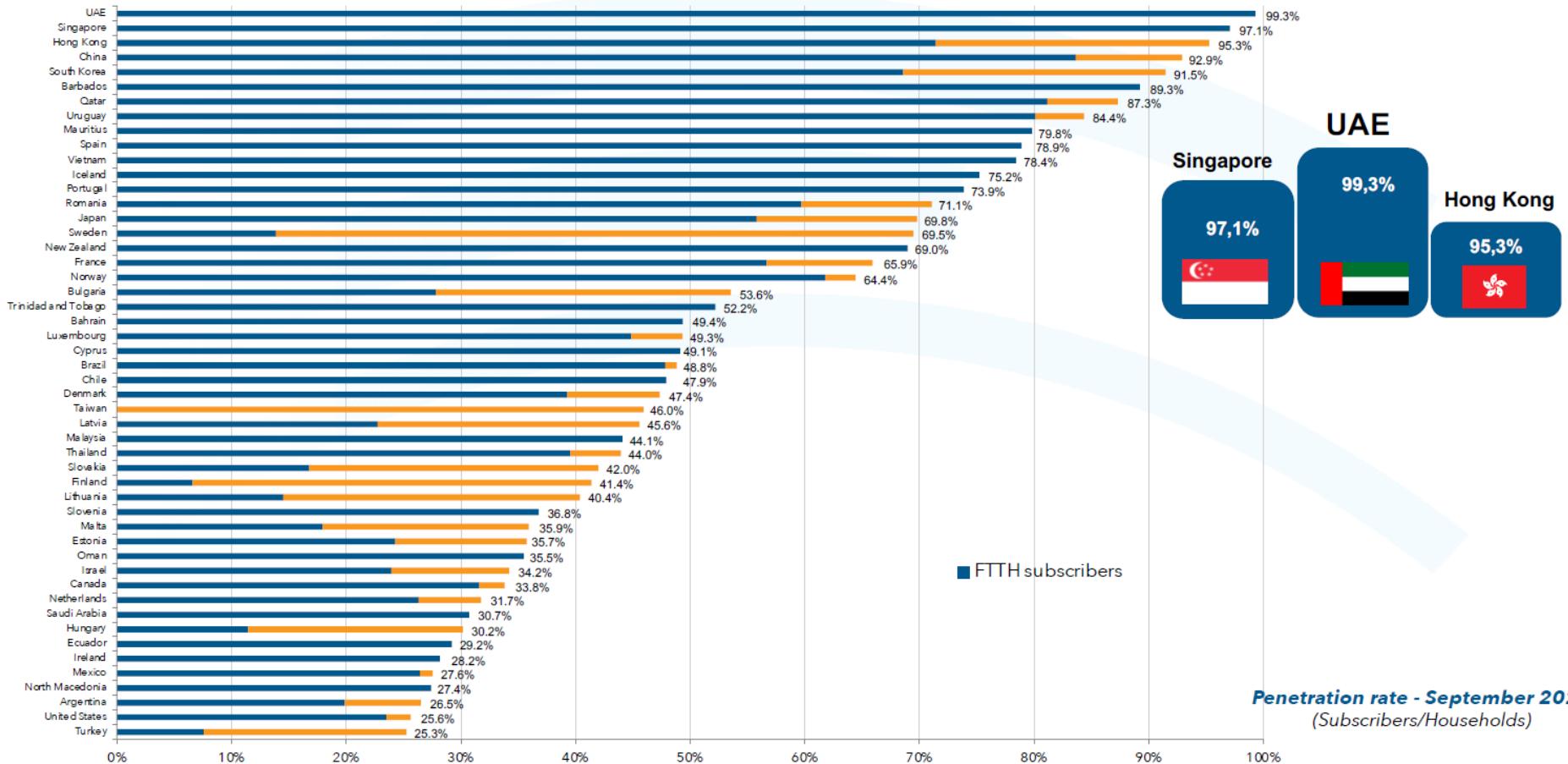


Source: IDATE for FTTH Council EUROPE

# Globales FTTH Ranking (September 2023)

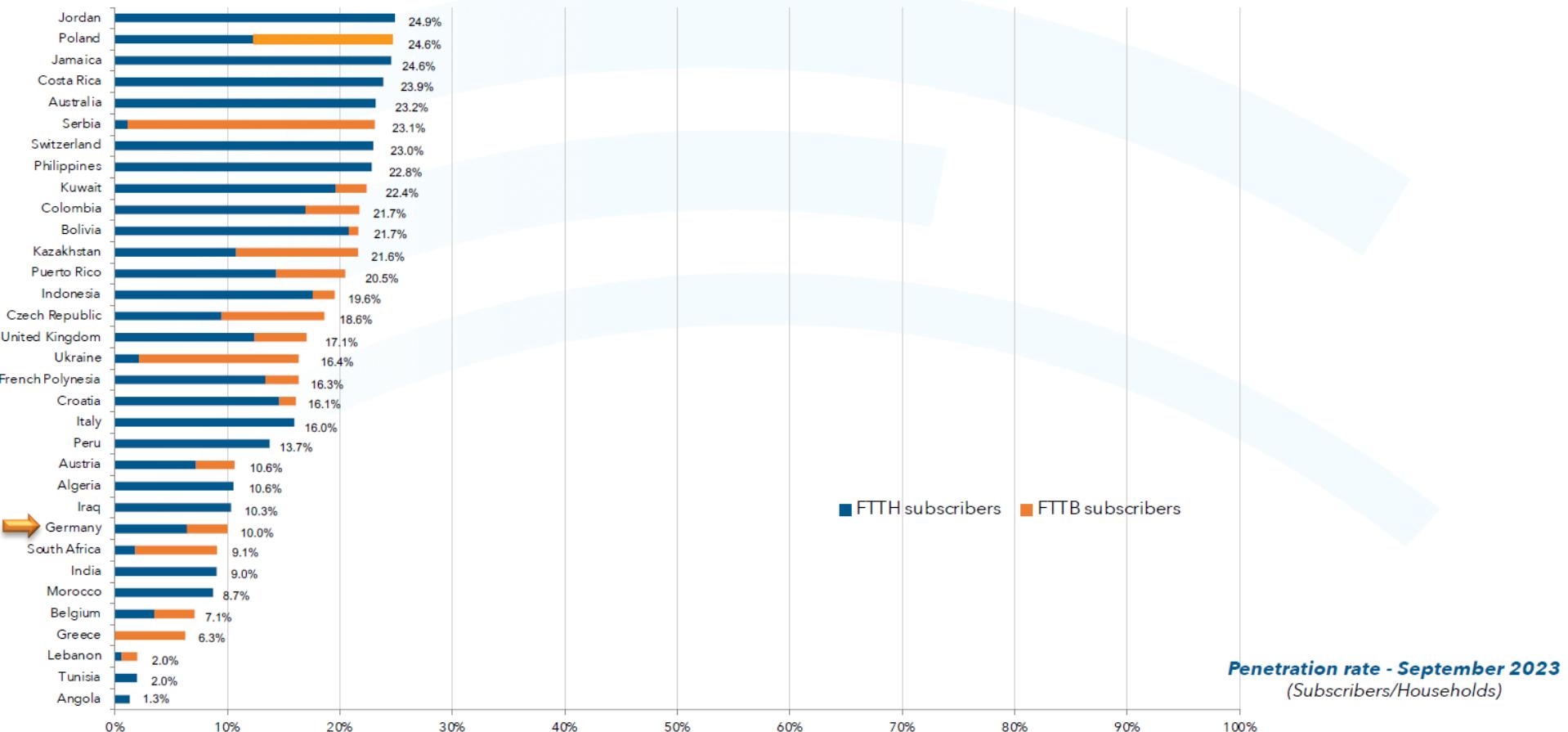
source: FTTH Council Europe's Market Intelligence Committee

## Global Ranking\* - FTTH/B Markets - Countries with more than 25% penetration



# Europäisches FTTH Ranking (September 2018)

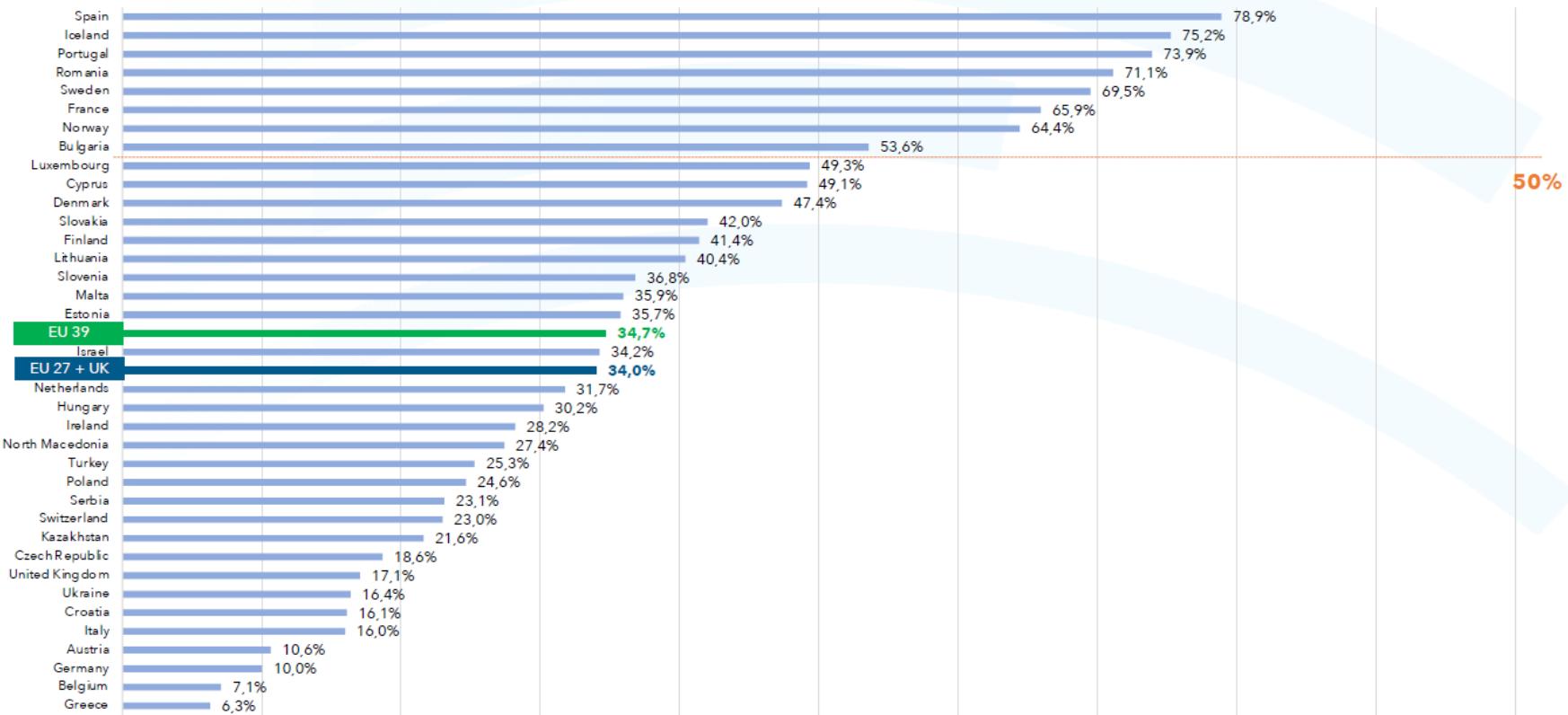
## Global Ranking\* - FTTH/B Markets - Countries with less than 25% penetration



Source: IDATE for FTTH Council EUROPE

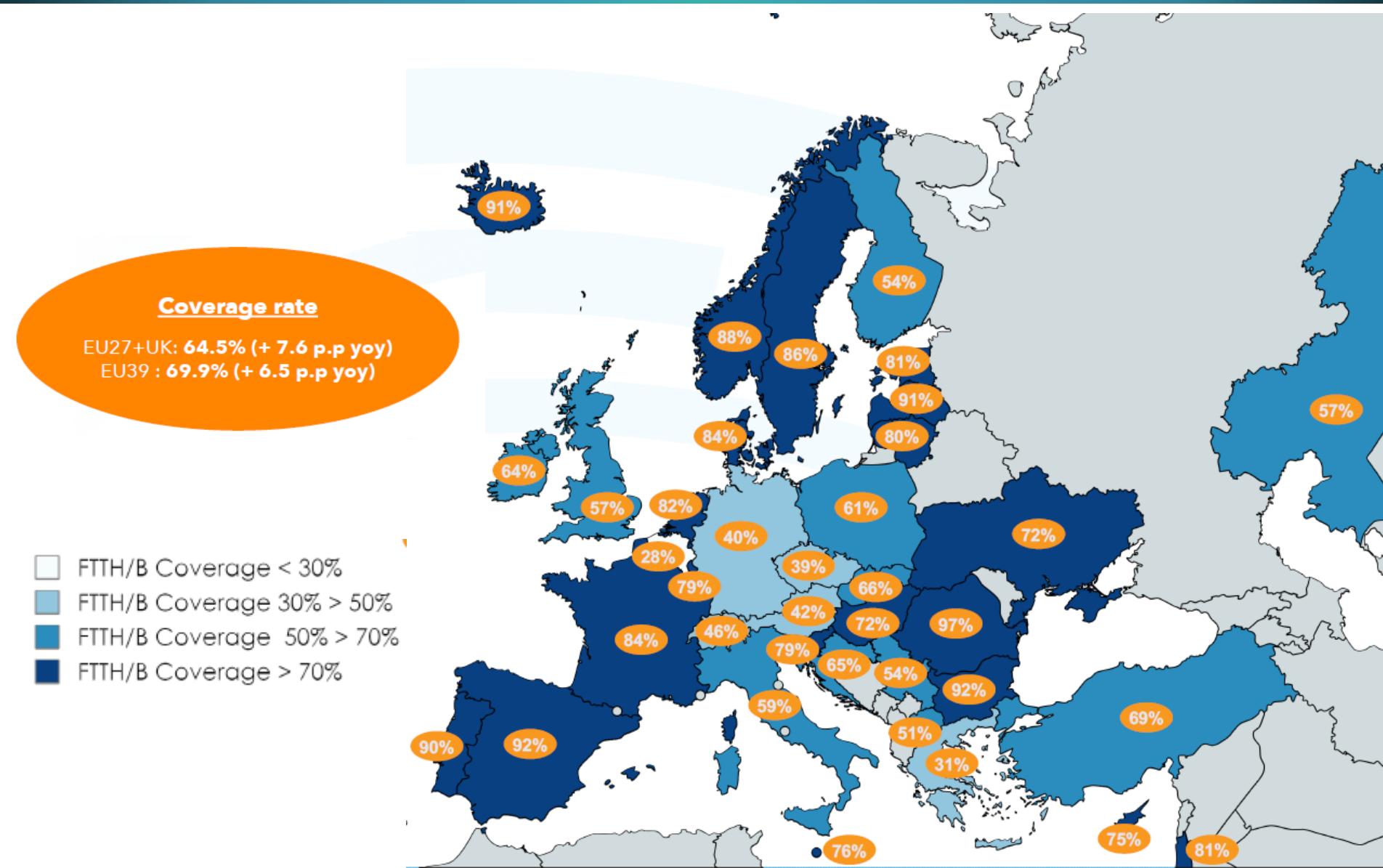
# Penetration Rate - Europa

Penetration rates of European countries - September 2023 (Subscribers / Households)



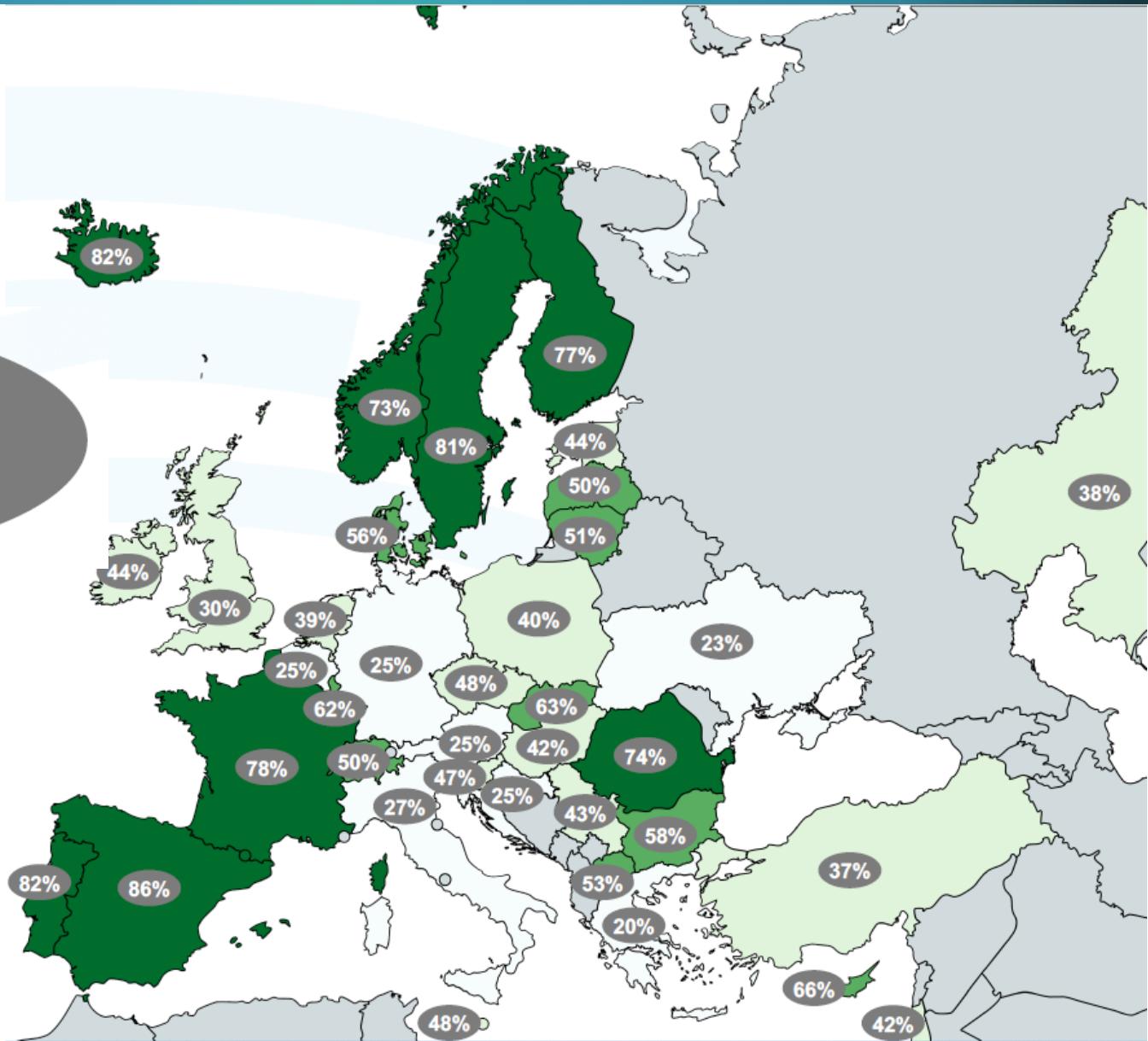
Note: see slide 6 for the definition of the rates

# Coverage Rate – Anteil Haushalte mit Glasfaserzugang



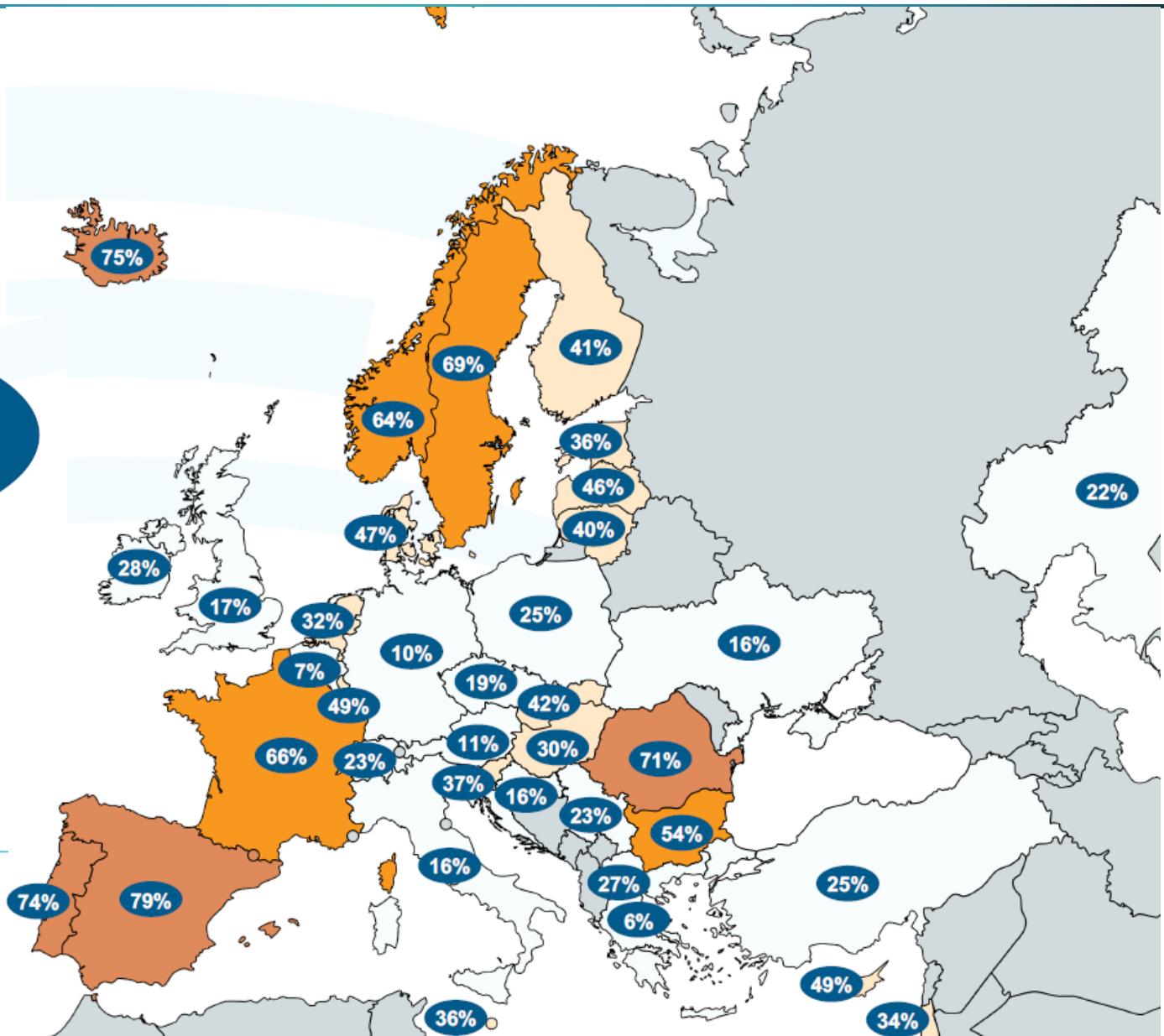
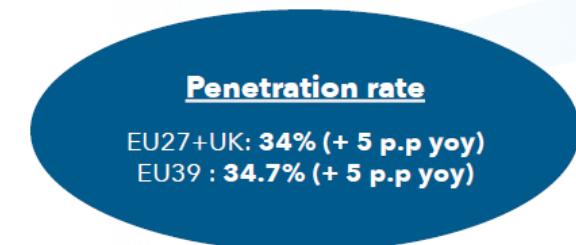
# Take-up Rate – Anteil der genutzten Glasfaserzugänge

**Take-up rate**  
EU27+UK: 52.7% (+ 1.3 p.p. yoy)  
EU39 : 49.6% (+ 1.1 p.p. yoy)



- FTTH/B Take-up < 30%
- FTTH/B Take-up 30% > 50%
- FTTH/B Take-up 50% > 70%
- FTTH/B Take-up > 70%

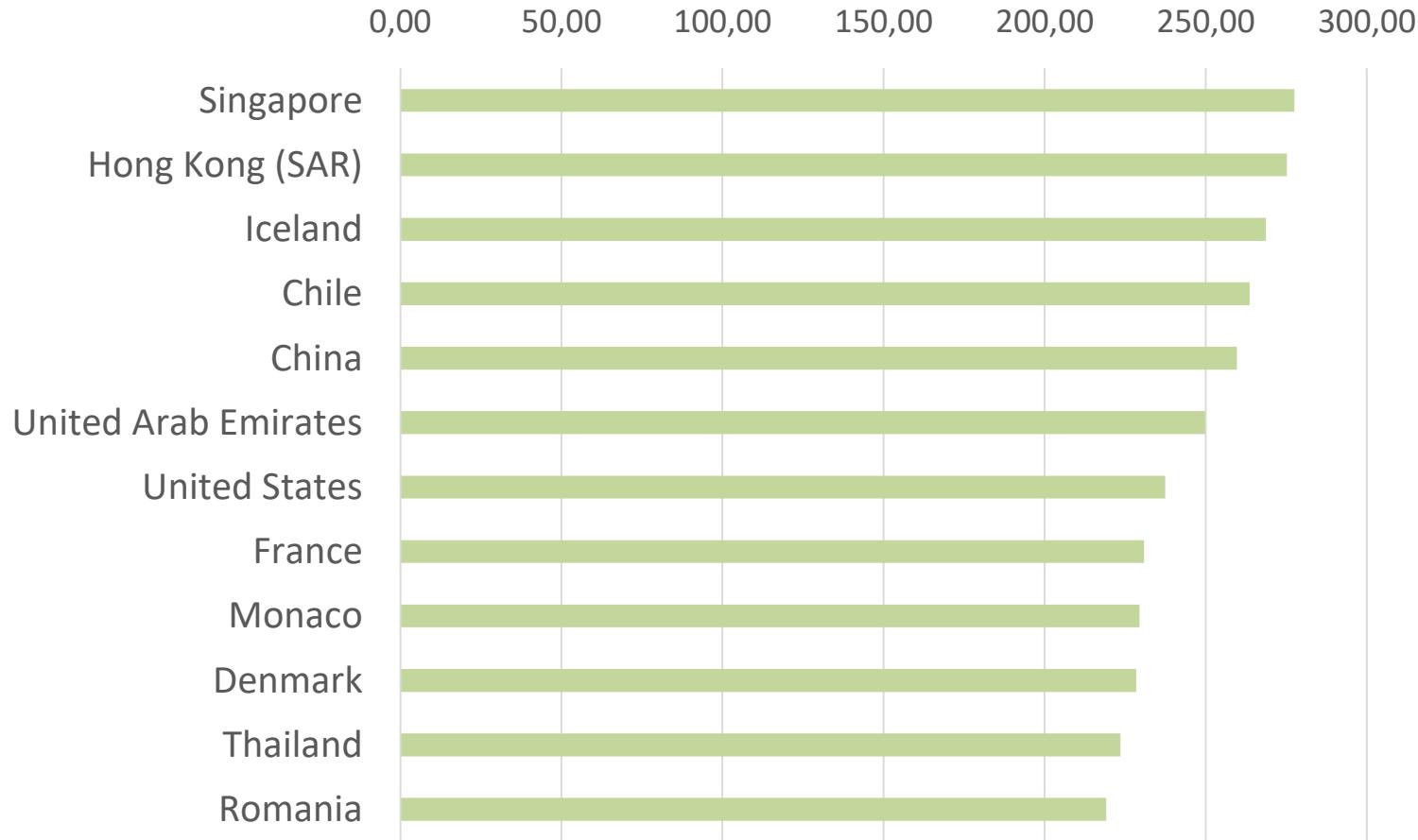
# Take-up Rate – Anteil der genutzten Glasfaserzugänge



- FTTH/B Penetration < 30%
- FTTH/B Penetration 30% > 50%
- FTTH/B Penetration 50% > 70%
- FTTH/B Penetration > 70%

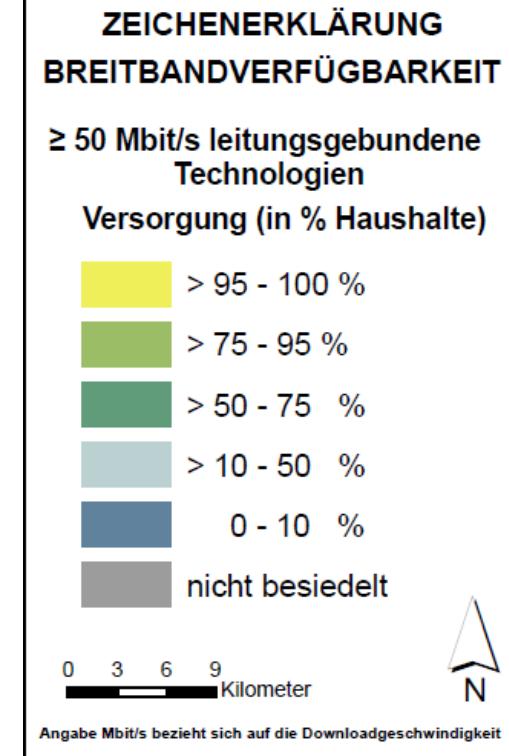
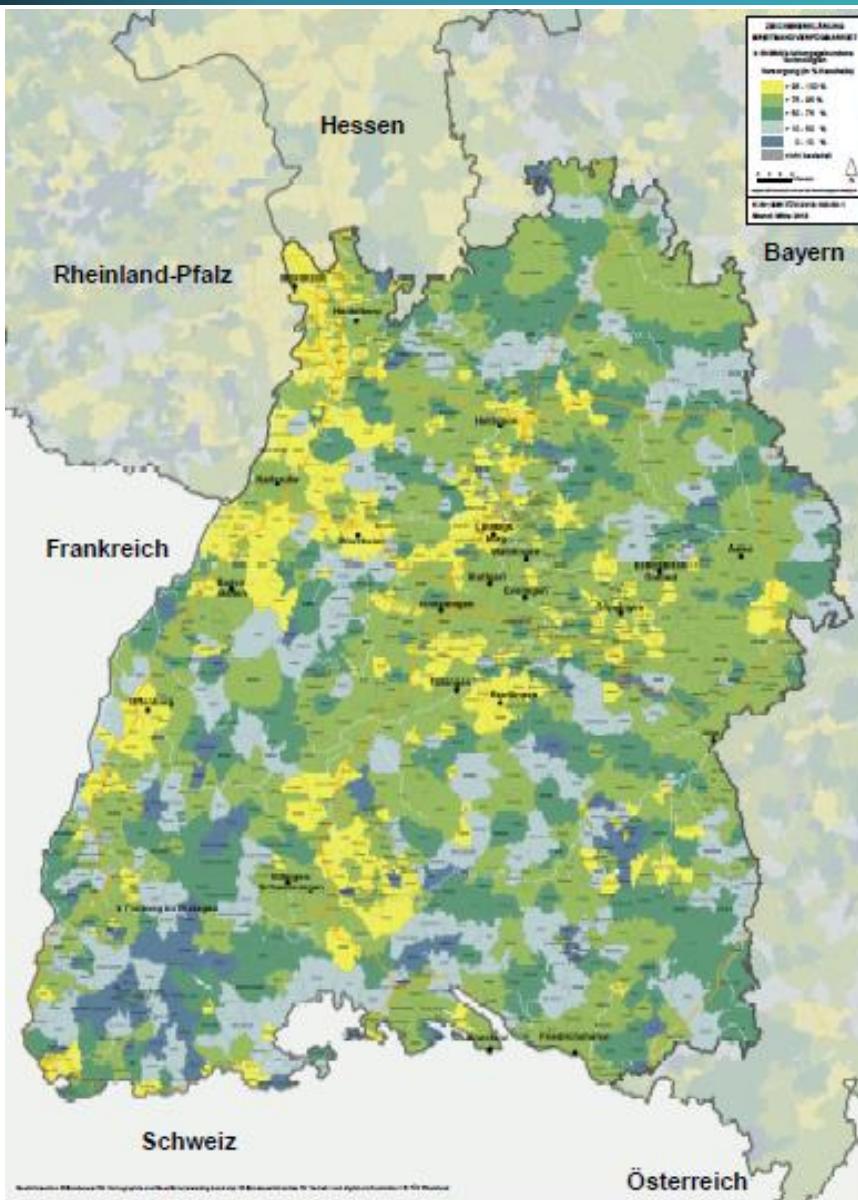
# Stand Januar 2024

## Countries with the fastest average fixed broadband internet speeds in Mbps



<https://www.speedtest.net/global-index>

# Breitbandatlas Baden-Württemberg



<https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/Breitbandatlas/Vollbild/start.html>

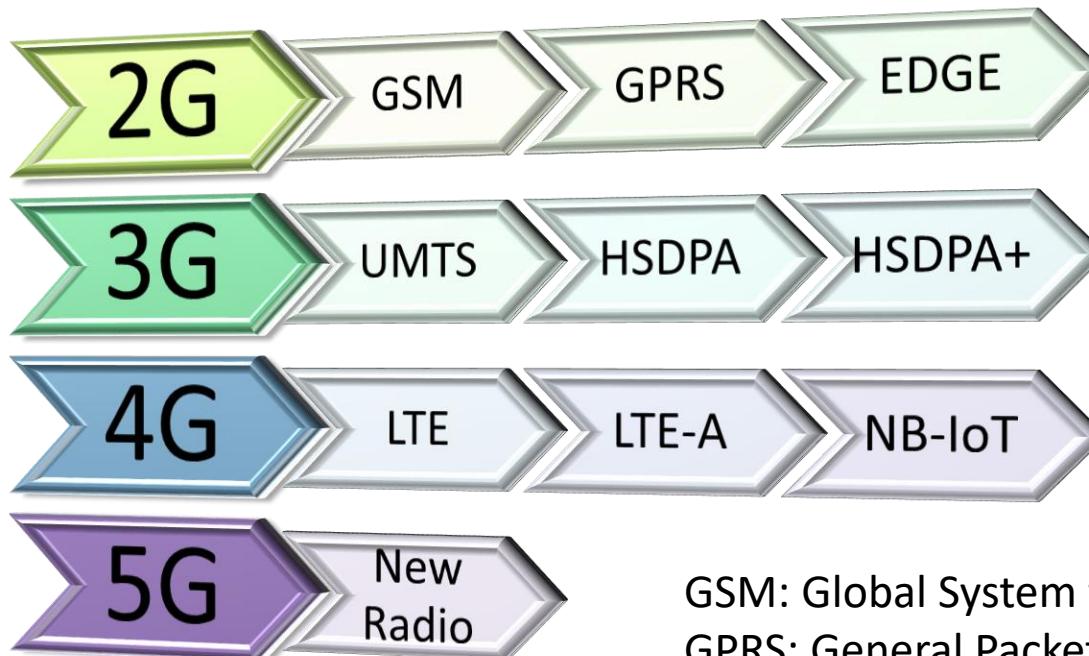
→ aktuell

# Mobilfunknetze

- Hauptdienste: Telefonie und mobiler Internetzugriff
  - seit LTE: Telefonie über IP (VoLTE, Voice over LTE)
  - seit LTE: explizite Unterstützung für IoT (NB-IoT, Narrowband-IoT)
- Zellulares Konzept:
  - eine Funkzelle wird von einer Sektorantenne an einem Sendemasten abgedeckt
  - Zellgröße: PicoCell, MicroCell, MacroCell
    - FemtoCell: Home-Baselstation über DSL an Mobile Core angeschlossen
    - SmallCell: ab 5G dynamisch anschaltbare sehr kleine Funkzelle
- Nahtlose Mobilität (seamless mobility):
  - ursprünglich: Rufmitnahme bei Zellwechsel (Handover)
  - heute: Bewegung im Mobilfunknetz mit gleicher IP Adresse
- Roaming:
  - Anschluss eines mobilen Endgeräts von einem Gastnetz an das heimische Kernnetz
  - Local Breakout: Internetverkehr fließt nicht über Heimnetz sondern direkt vom Gastnetz in das Internet

# Mobilfunknetze

- Entwicklung von Mobilfunkstandards der 3gpp (3rd generation partnership project)



GSM: Global System for Mobile Communication

GPRS: General Packet Radio Service

EDGE: Enhanced Data Rates for Global Evolution

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

HSPA: High Speed Packet Access

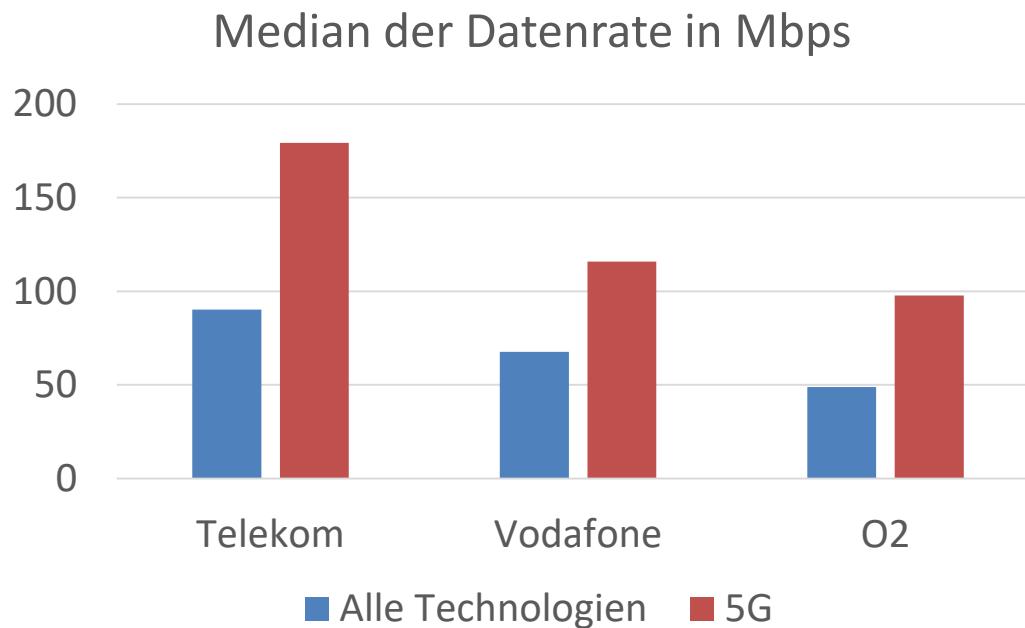
LTE: Long-Term Evolution

LTE-A: LTE Advanced

NB-IoT: Narrowband Internet of Things

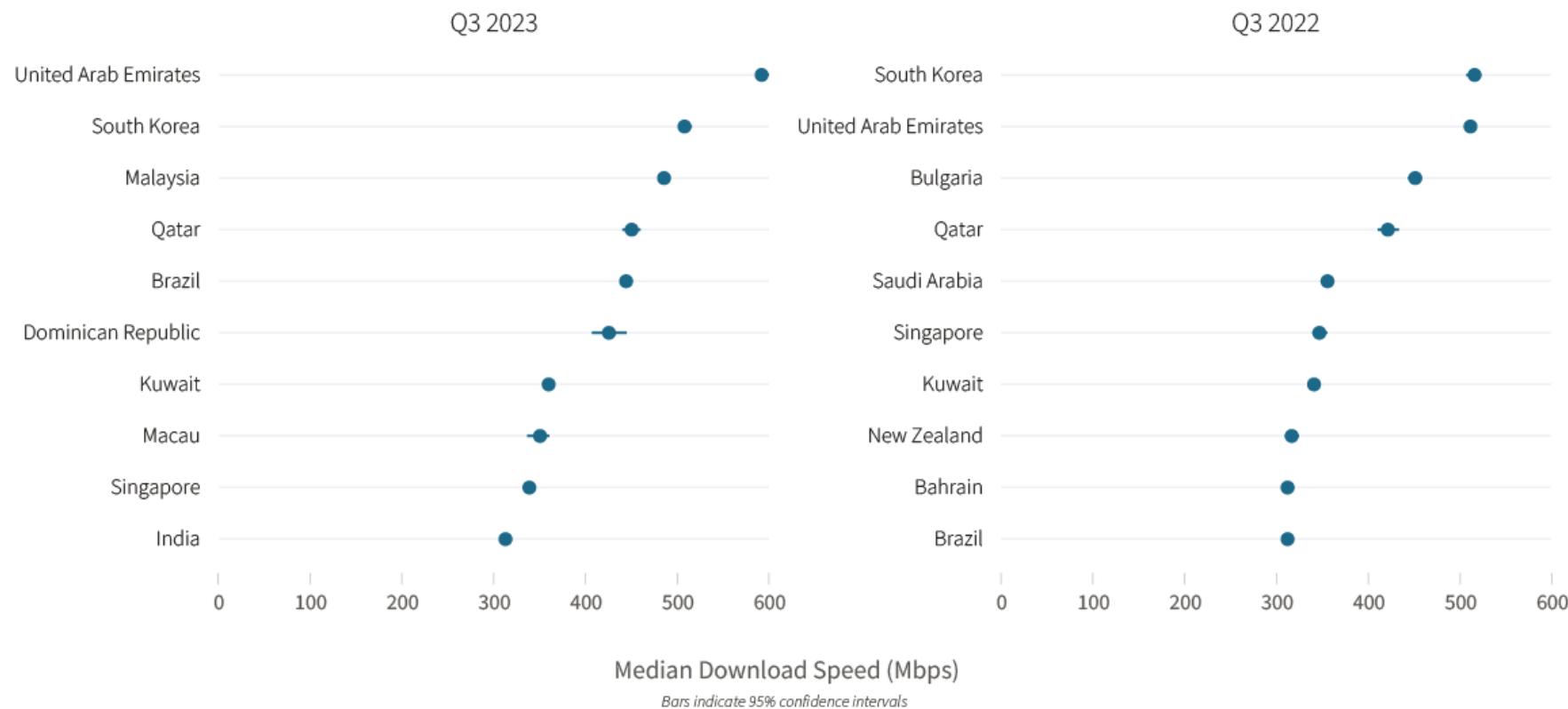
# Entwicklung von Zugangsdatenraten

- Peak Traffic: Theoretischen Spitzendatenrate pro Nutzer, wird praktisch nicht erreicht
- Mobilfunknetz Faktor 10 langsamer als Festnetz bzw. erreicht Datenraten wenige Jahre später
- Mobilfunknetze bieten heute Spitzendatenraten bis 300 Mbps (LTE) bzw. bis zu 1,5 Gbps (5G) an. Die theoretischen Spitzendatenrate für 5G liegen bei bis zu 20 Gbps. Die tatsächlichen erzielten Datenraten bei 5G erreichen selten 500 Mbps.

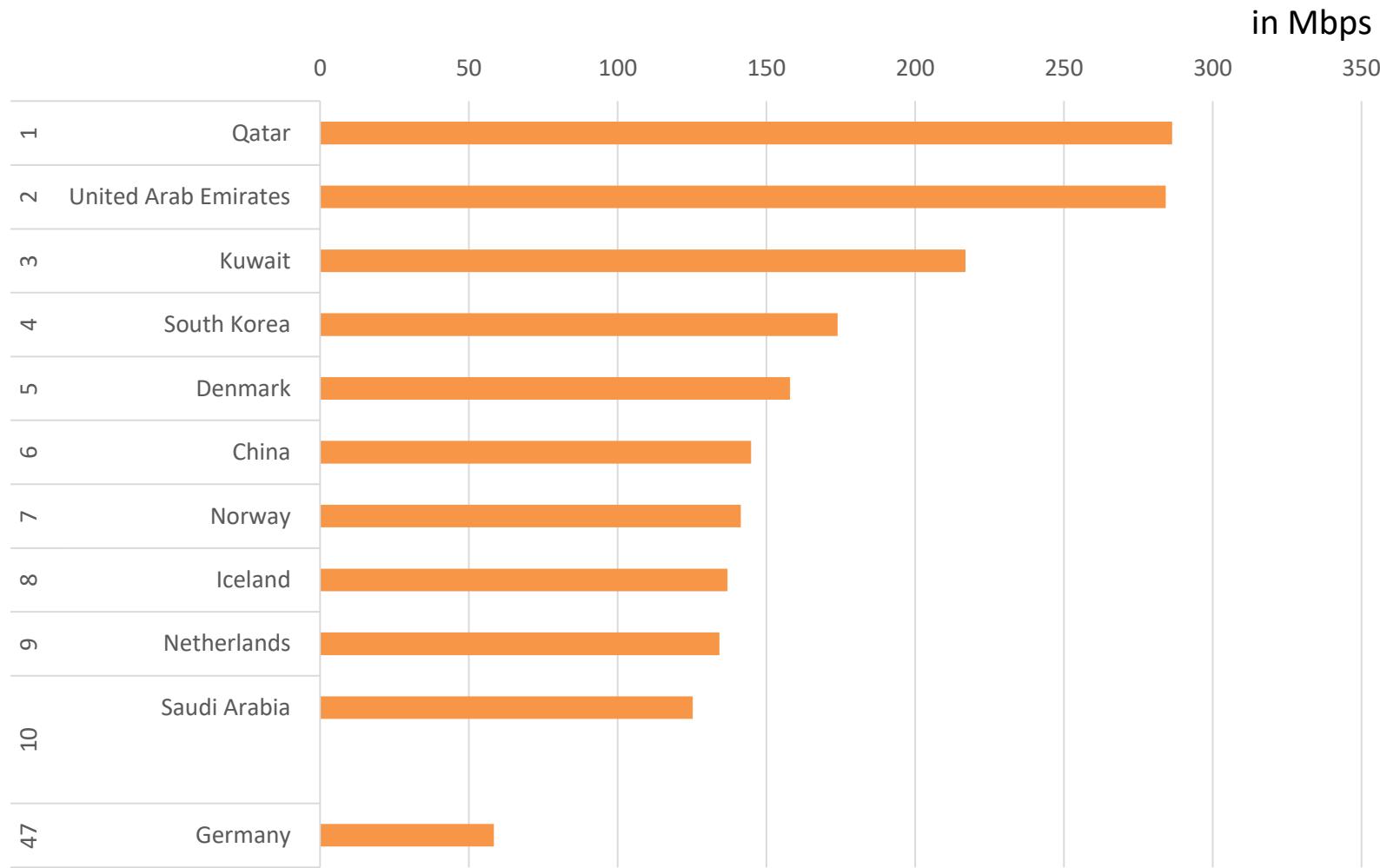


## Fastest Countries for Median 5G Download Speed

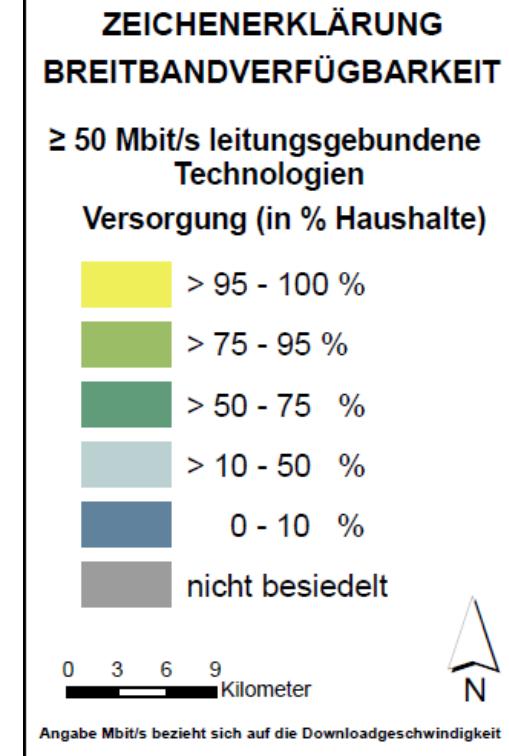
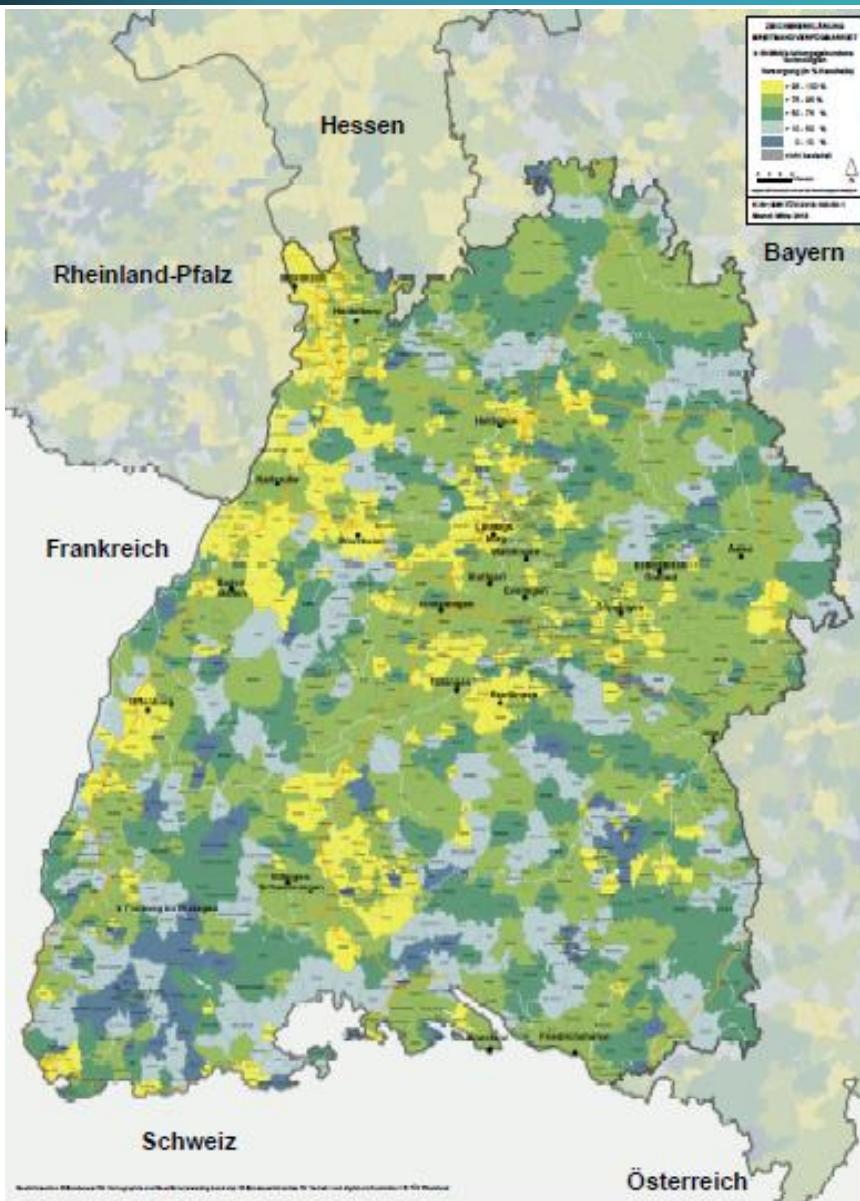
Speedtest Intelligence® | Q3 2023 and Q3 2022



# Median Download 5G Speeds per Country



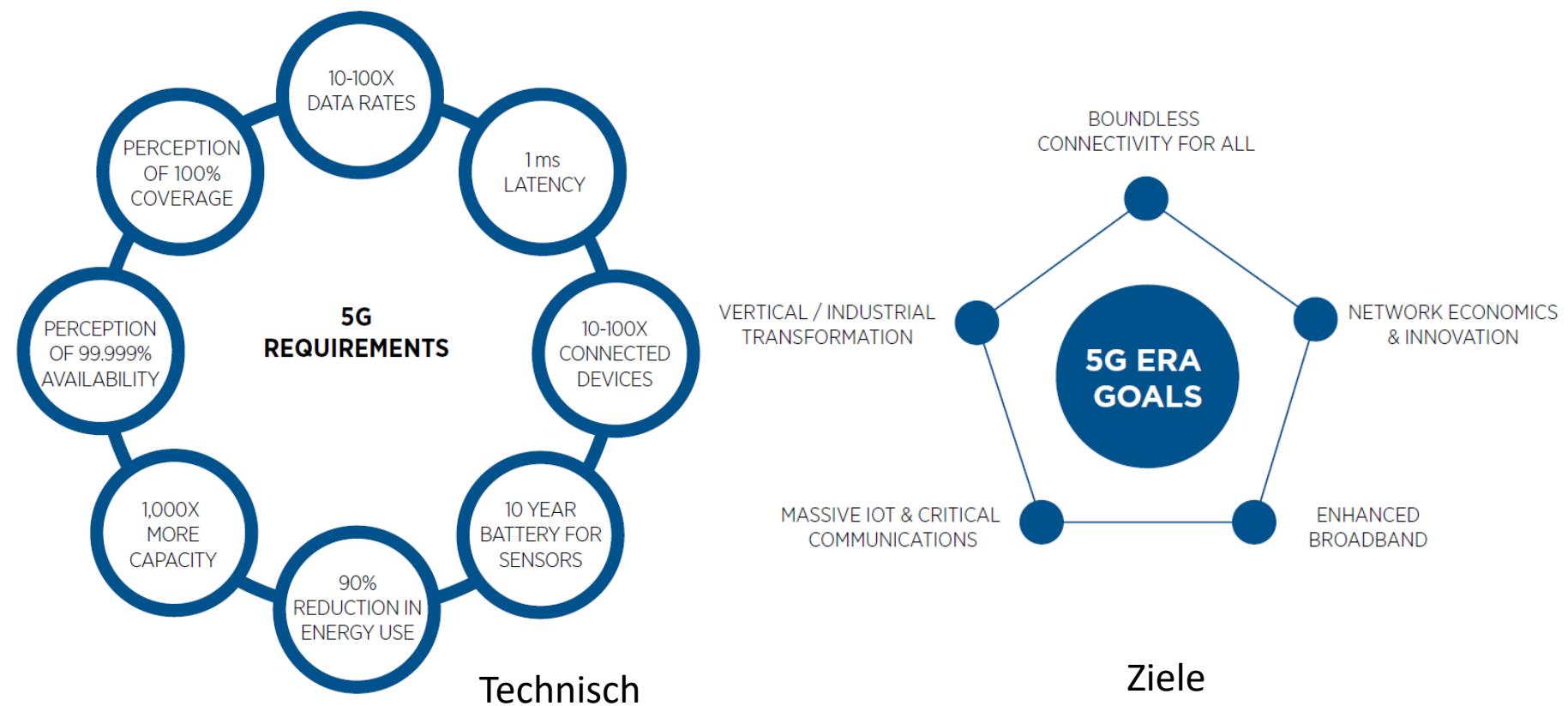
# Breitbandatlas Baden-Württemberg



<https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/Breitbandatlas/Vollbild/start.html>

→ aktuell

- 5G ist in Deutschland weit verbreitet
- Erwartungshaltung: Datenraten pro Zelle >> 10Gbps, pro Nutzer 100Mbps+
- Die finale Ausbaustufe ist noch nicht erreicht

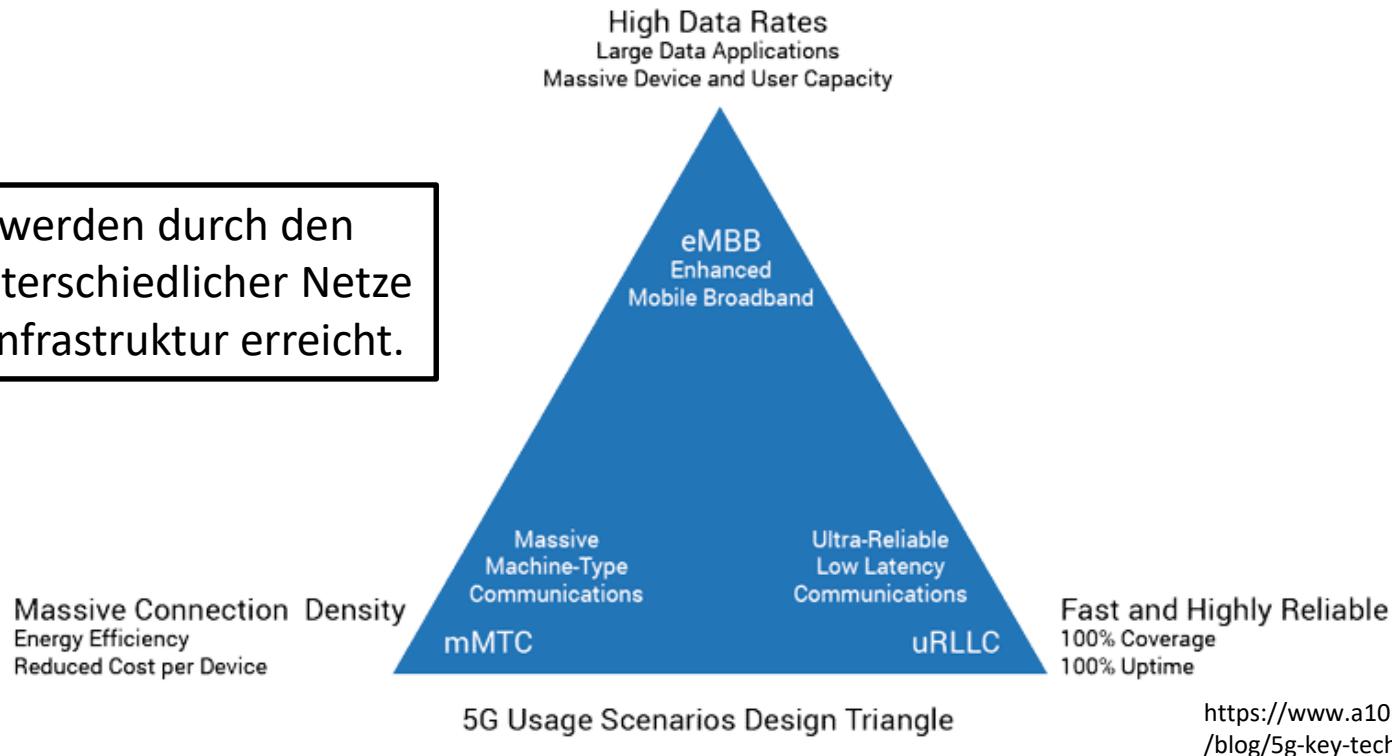


Quelle: GSMA: The 5G Guide – A Reference for Operators

# Die Entwicklung ist da: 5G

- Flexiblere Architektur: mehrere Netze auf einer Infrastruktur

Szenarien werden durch den Betrieb unterschiedlicher Netze auf einer Infrastruktur erreicht.

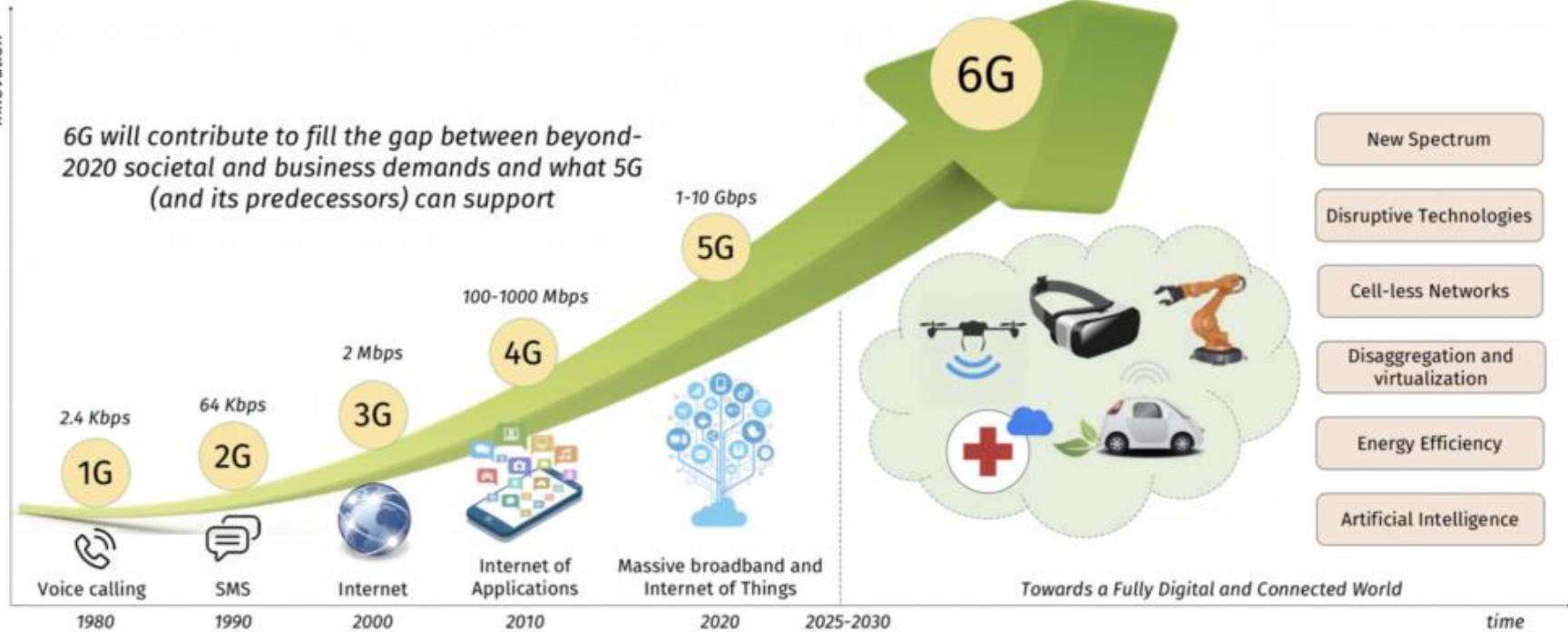


- Einsatz für Verticals (Verkehr, Strom, industrielle Produktion, etc.):
  - Netze nicht nur für Mobilfunkbetreiber
    - virtuelle Netze auf einer Infrastruktur (network slicing, multi-tenancy)

# Technologie

- Neue Funktechnologie NR (New Radio)
  - Carrier aggregation (mehr Bandbreite)
  - Massive MIMO (sehr viele Antennen)
  - kürzere Frames (sehr kleine Latenzen)
  - mmWave (höhere Frequenzbänder)
  - Small Cells (kleinere dynamisch zuschaltbare Zellen)
  - Energieeffizienz (vor allem für IoT)
  - Device-to-device Communication (direkte Kommunikation ohne Basisstation)
- Neue Architektur
  - RAN (Radio Access Network) Cloud
    - Funksignalverarbeitung teilweise in Rechenzentren
    - dadurch günstigere Basisstationen
  - Mobile Edge Computing
    - Verlagerung von Services an den Netzrand (z.B. in die Nähe der Basisstation)
    - minimale Latenzen
  - Network Function Virtualization und Software Defined Networking
    - effizienterer Netzbetrieb durch Trennung von Data und Control Plane
    - effizientere Ausnutzung von Kapazitäten im Backbone
  - Energieeffizienz (vor allem für IoT)

# Die Entwicklung geht weiter: 6G in 2030



<http://mmwave.dei.unipd.it/research/6g/> (mmWave Networking Group)

2.1 Terminologie

2.2 Grundlagen der Datenübertragung

2.3 Protokolle und Dienste

2.4 Sockets

## 2.5 Aufbau des Internets

2.5.1 Netzrand: Zugangsnetze und Endkundennetze

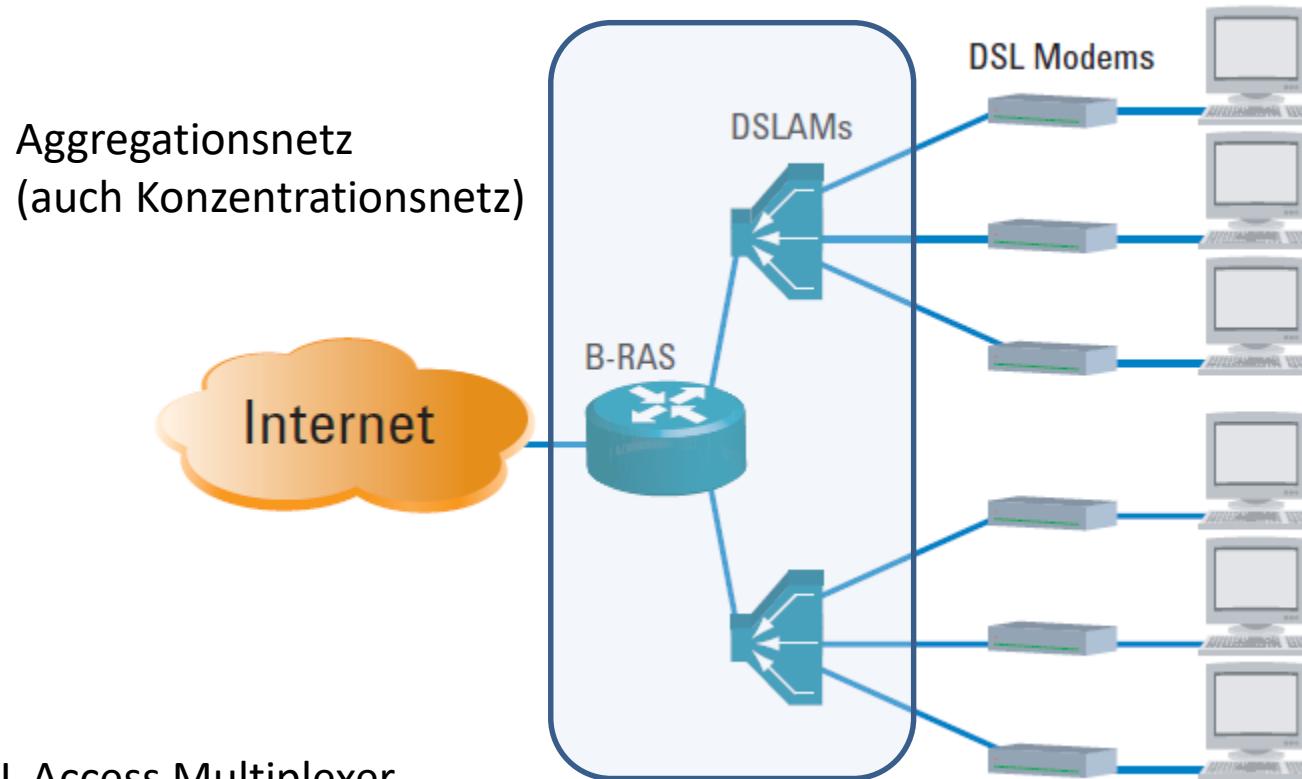
### **2.5.2 Das Innere der ISP-Netze: Das Kernnetz (Core Network)**

2.5.3 Das Internet – Netz der Netze

2.6 Zusammenfassung

# Sicht des ISPs – Aggregationsnetz

- Anbindung mehrerer DSLAMs an einen BRAS
- Aggregationsnetz früher oft Bottleneck (Bandbreitenengpass) für den Endkunden

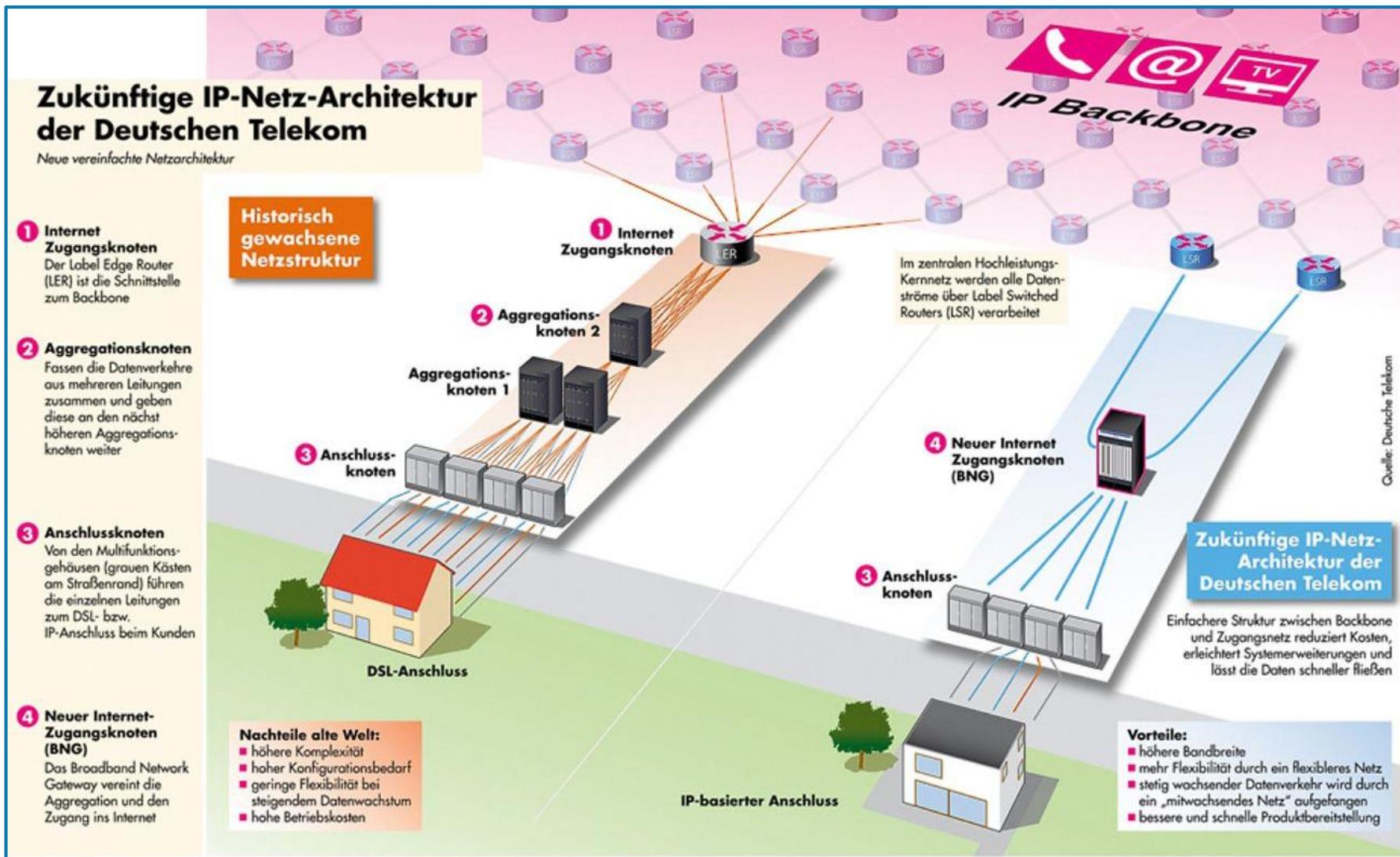


DSLAM: DSL Access Multiplexer

BRAS: Broadband Remote Access Router

- DSL: DSL-AC (Access Concentrator)
- Broadband PoP (Point of Presence)

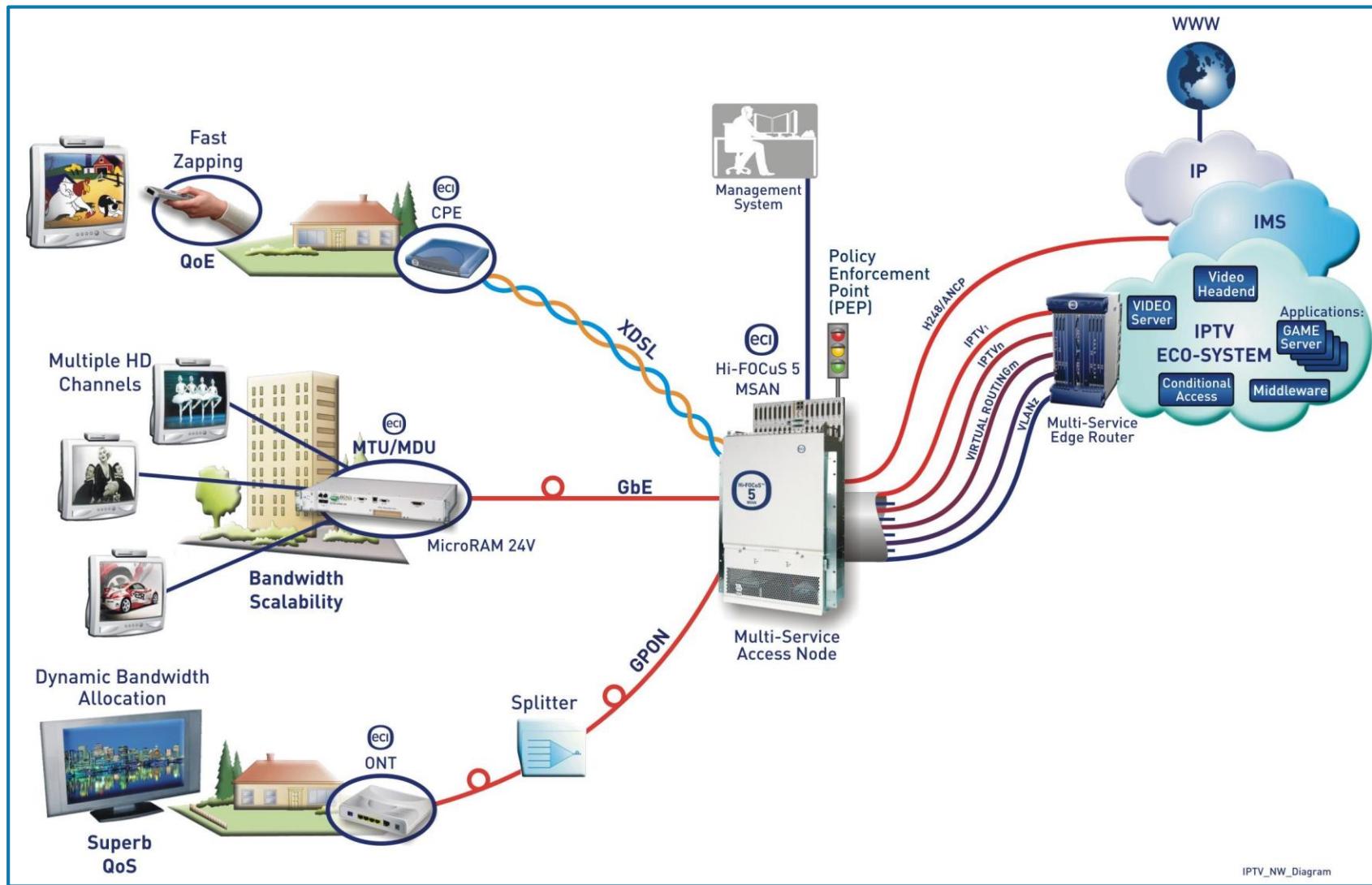
# Entwicklung 2020: Ablösung des Aggregationsnetzes



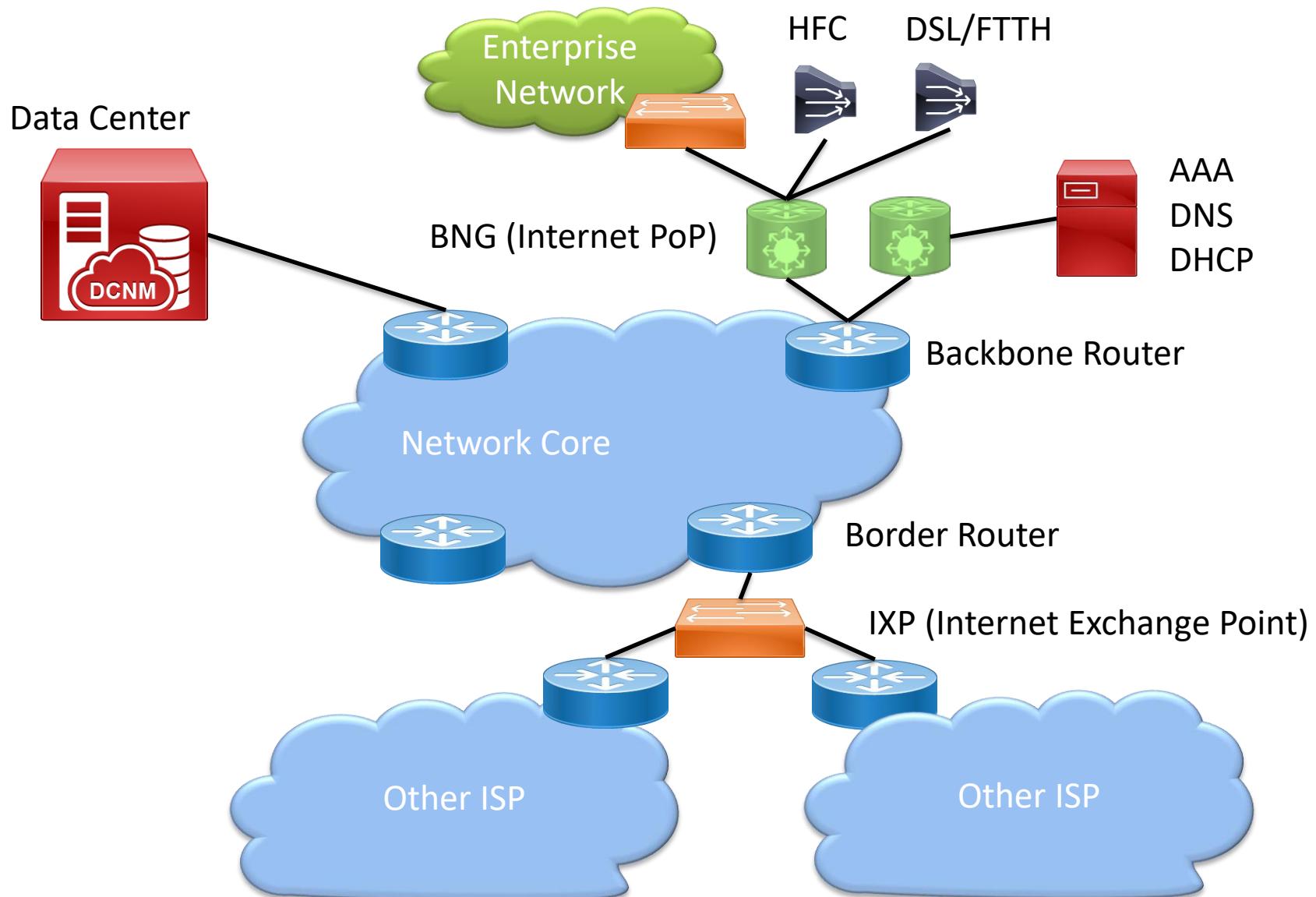
# Entwicklung 2020: Ablösung des Aggregationsnetzes

- DSLAMs werden durch **MSANs (Multi Service Access Nodes)** abgelöst
- BRAS wird durch **BNG (Broadband Network Gateway)** abgelöst
- Das mehrstufige Aggregationsnetz entfällt, MSAN wird mittels IP over Fibre (Glasfaser) direkt an BNG angeschlossen
- **All-IP-Network** (auch in DSLAMs realisiert):
  - ISDN und analoge Telefonie entfallen (Transportunterstützung)
  - alle Dienste werden über IP angeboten
- Integration von xDSL und FTTB/FTTH im MSAN
  - MSAN kann gleichzeitig **DSL und verschiedene Glasfasertechnologien** unterstützen (Active Ethernet, GPON)
  - auch analoge Telefonie und ISDN werden „alleine“ (Single Play) unterstützt

# Integration mehrere Zugangstechnologien im MSAN



# Beispiel einer ISP Netztopologie



2.1 Terminologie

2.2 Grundlagen der Datenübertragung

2.3 Protokolle und Dienste

2.4 Sockets

## 2.5 Aufbau des Internets

2.5.1 Netzrand: Zugangsnetze und Endkundennetze

2.5.2 Das Innere der ISP-Netze: Das Kernnetz (Core Network)

### 2.5.3 Das Internet – Netz der Netze

2.6 Zusammenfassung

# Das Internet: Das Netz der Netze

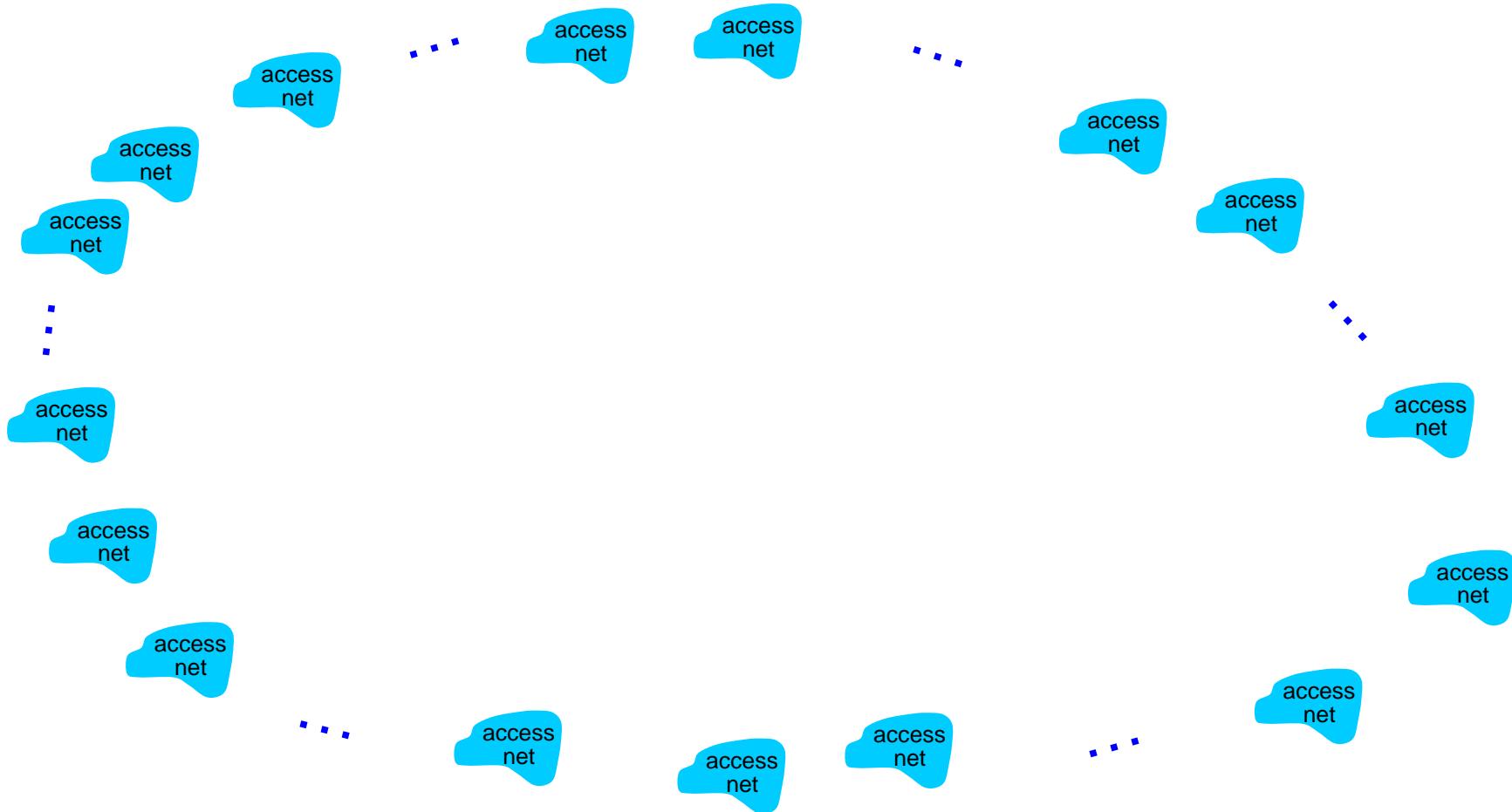
Als Kunden kenn wir vornehmlich die Provider, die uns den Internetzugang bereitstellen. Aber wie sind diese miteinander verbunden?

- Internetzugangsanbieter (access ISP, Internet Server Provider oder auch nur Provider) binden End-Systeme an das Internet an
  - für Privathaushalte, Universitäten, Firmen, etc.
- Zugangs-Provider müssen miteinander verbunden sein
  - damit zwei beliebige Hosts Daten austauschen können
- Das resultierende Netz ist sehr komplex
  - Entwicklung stark von ökonomischen und politischen Einflüssen gesteuert

 Schauen wir uns das heutige Internet näher an 

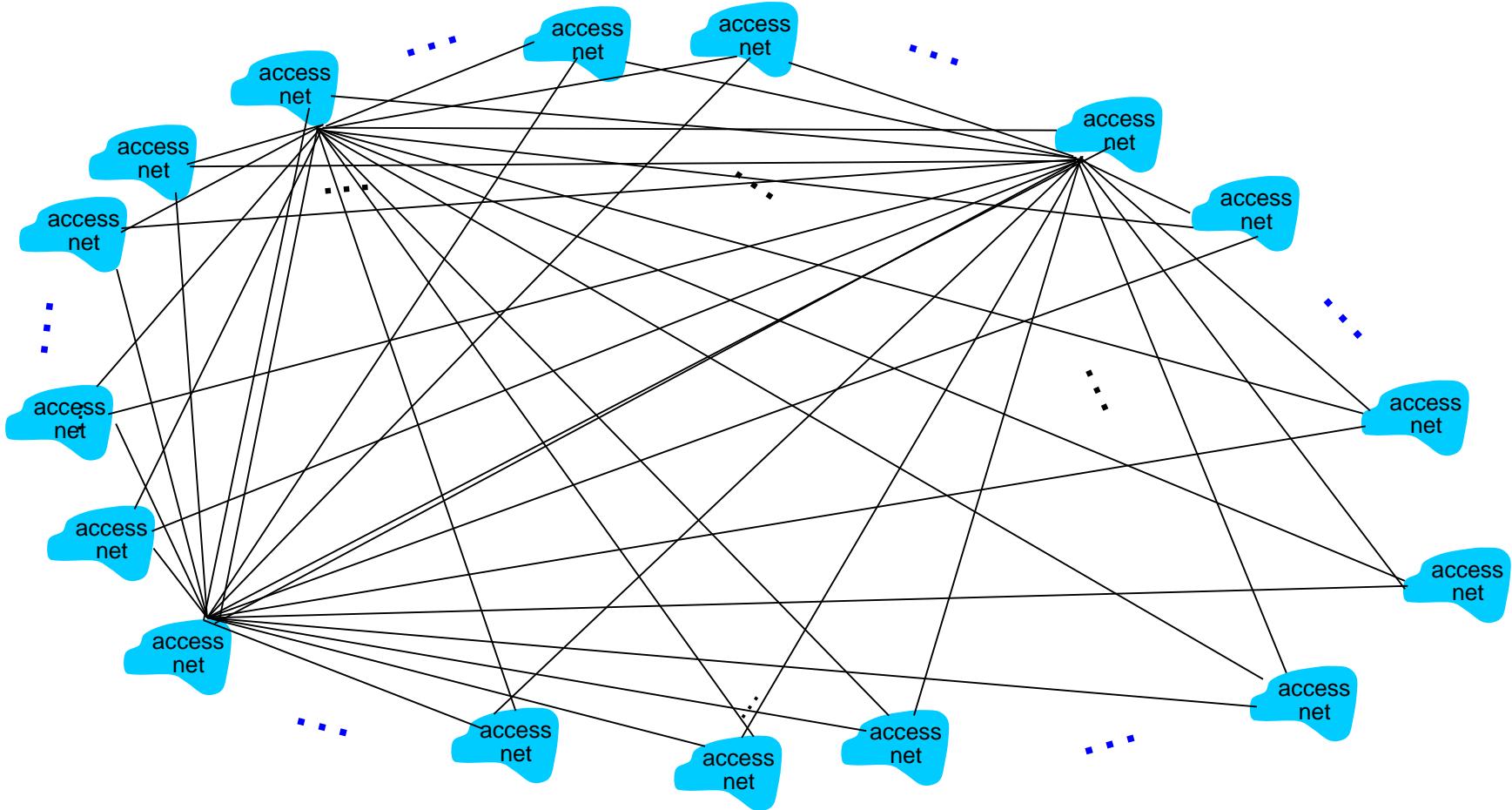
# Das Internet: Das Netz der Netze

Herausforderung des Internets: Wie werden Millionen von Zugangsnetzen verschiedener ISPs mit einander verbunden?



# Das Internet: Das Netz der Netze

Option 1: alle Zugangs-Provider  
miteinander verbinden?



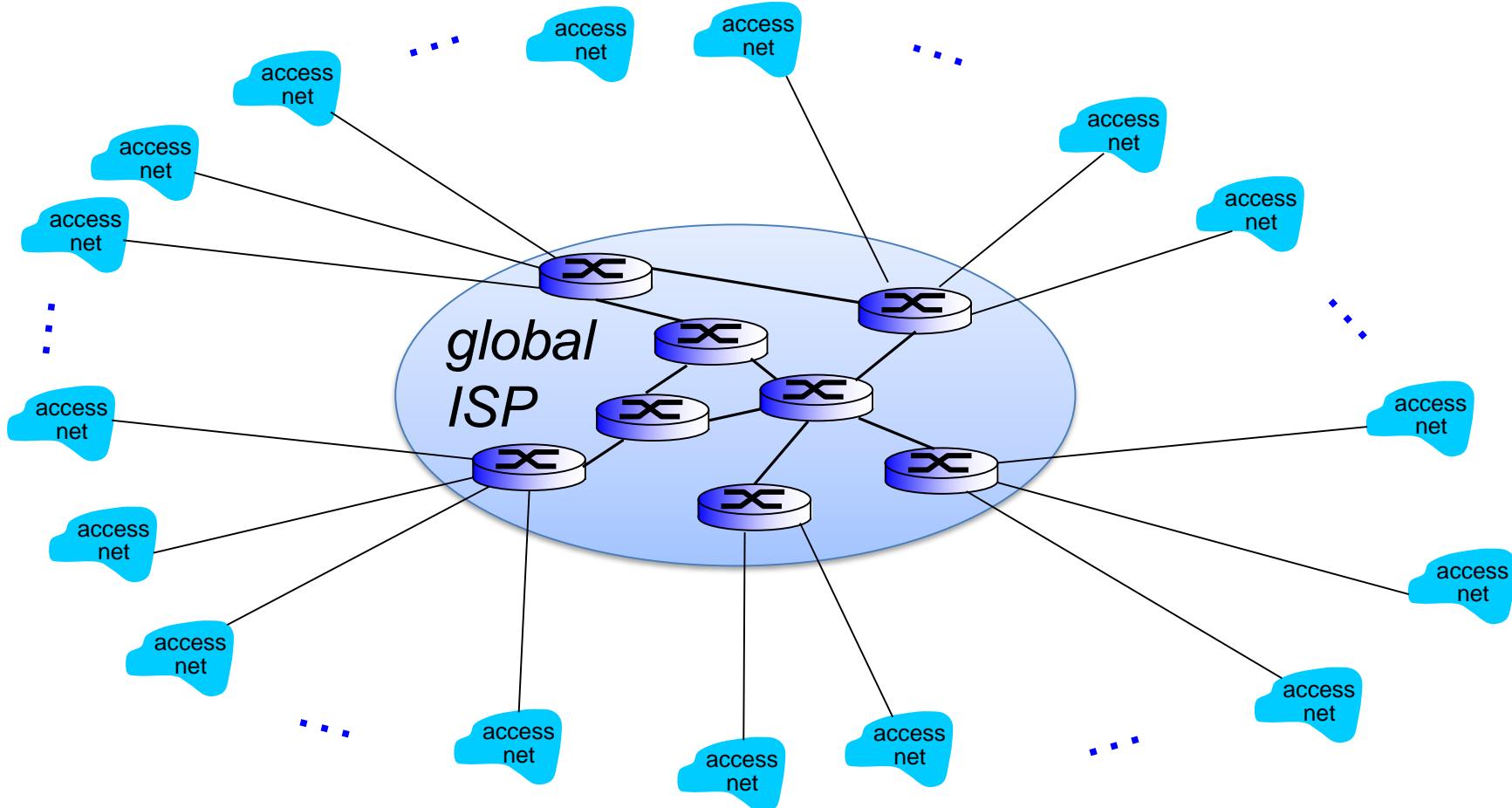
# Das Internet: Das Netz der Netze

Eine Voll-Vermischung (full mesh), d.h. jedes Zugangsnetz ist direkt mit jedem anderen Zugangsnetz verbunden, ist keine skalierbare Lösung. Bei einer Million Zugangsnetze würden Billion Leitungen teilweise rund um die Erde benötigt.



# Das Internet: Das Netz der Netze

Option 2: alle Zugangs-Provider über einen globalen ISP verbinden?



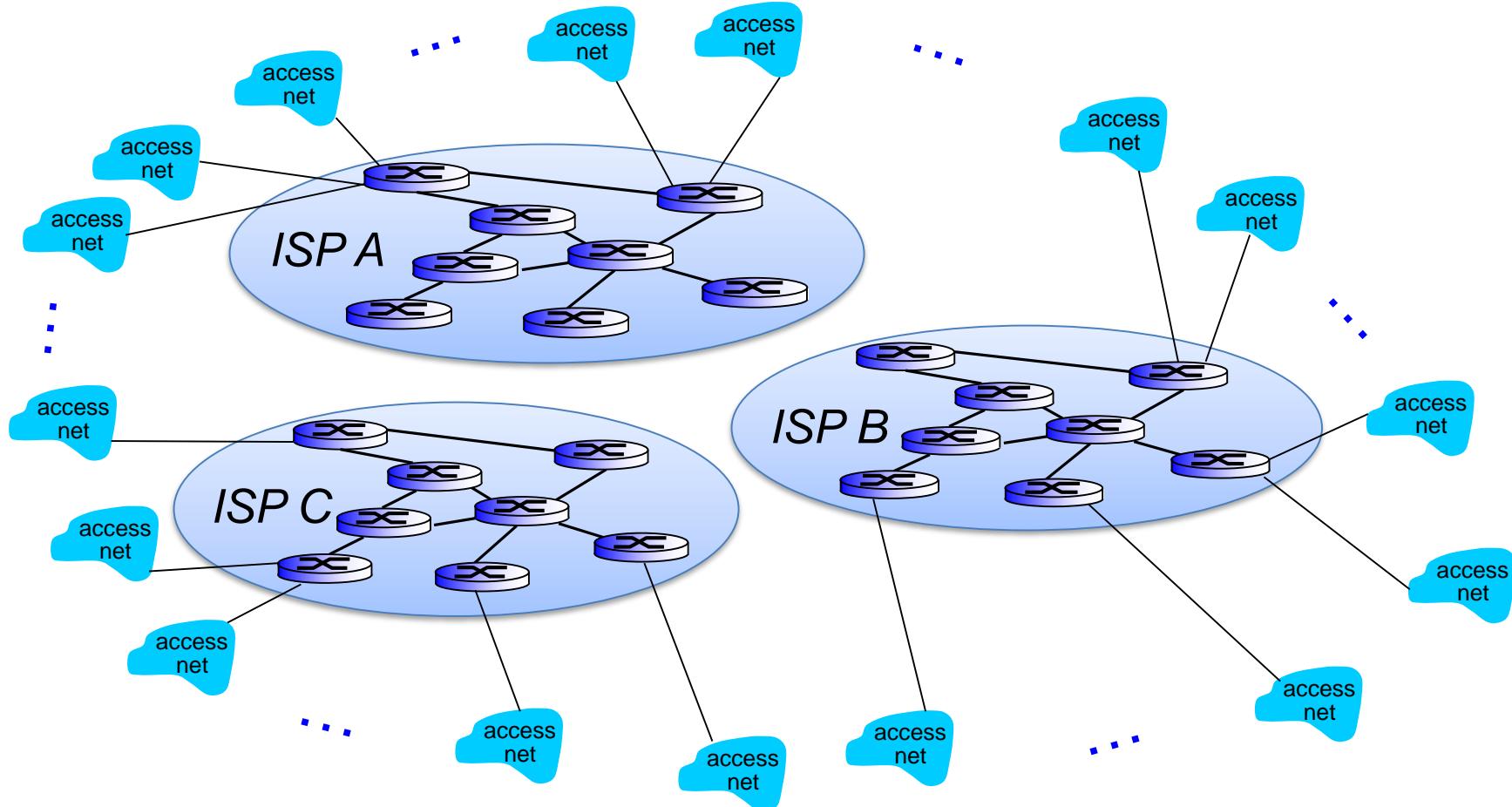
# Das Internet: Das Netz der Netze

Alle Zugangsnetze sind mit einem globalen ISP verbunden, die den weltweiten Verkehr weiterleiten. Zugangs-Provider und globaler ISP haben eine Geschäftsbeziehung: Zugangs-Provider bezahlen den globalen ISP für den Transport ihres Datenverkehrs.



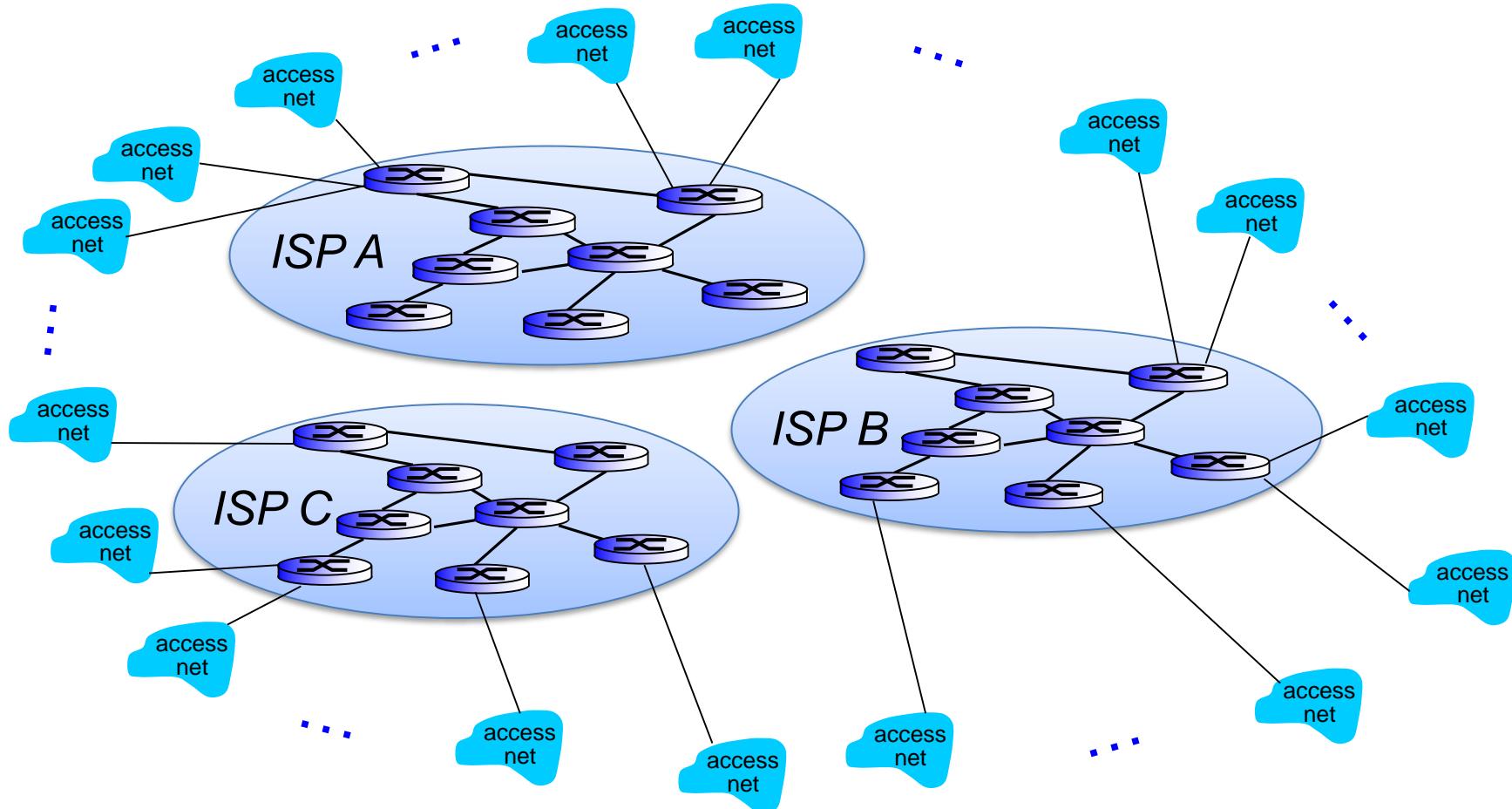
# Das Internet: Das Netz der Netze

Nein!!! Der Kuchen wird geteilt!!!



# Das Internet: Das Netz der Netze

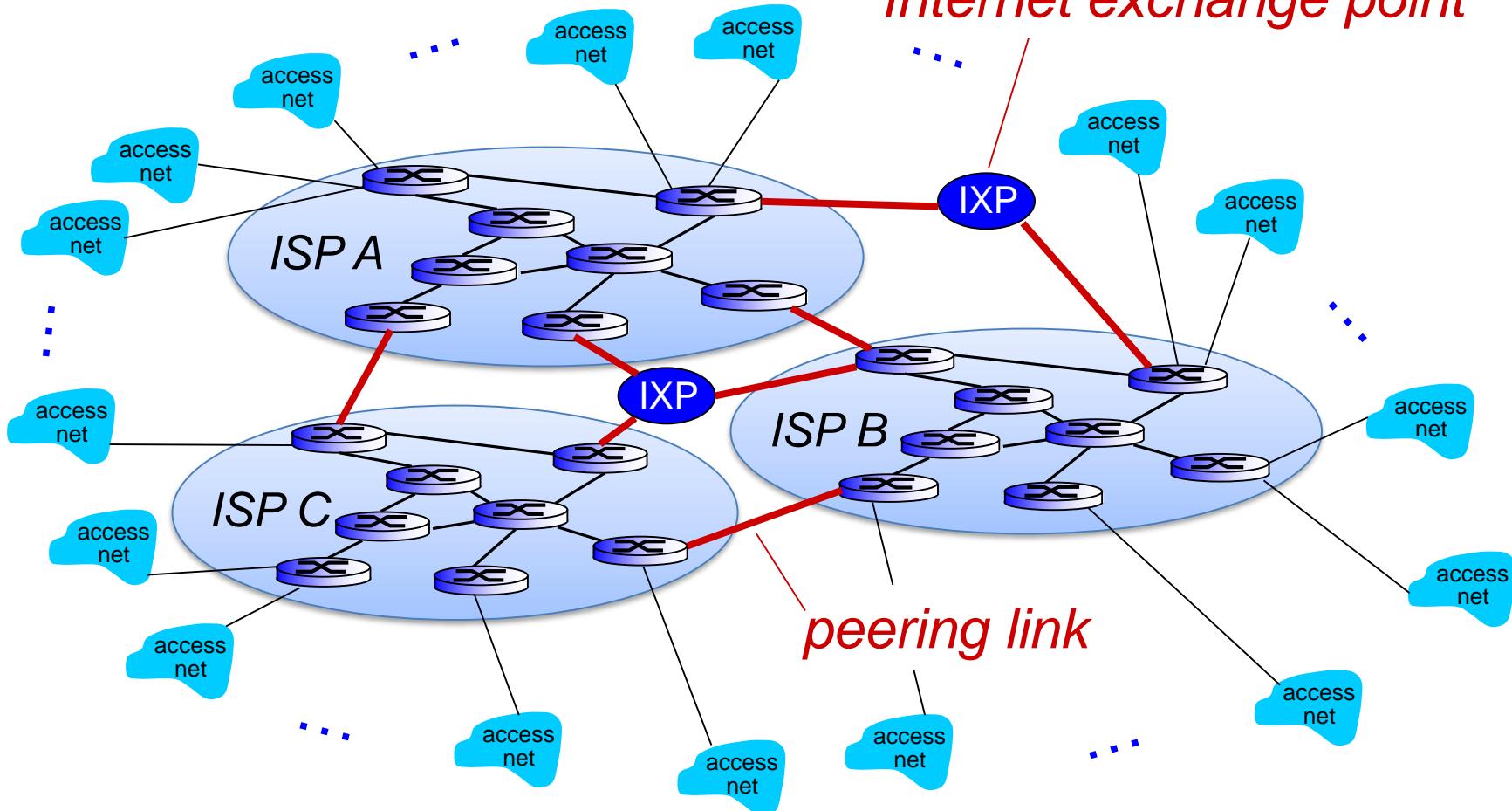
Globalen Internet-Verkehr weiterzuleiten ist ein attraktives Marktsegment, das sich viele ISPs teilen.



# Das Internet: Das Netz der Netze

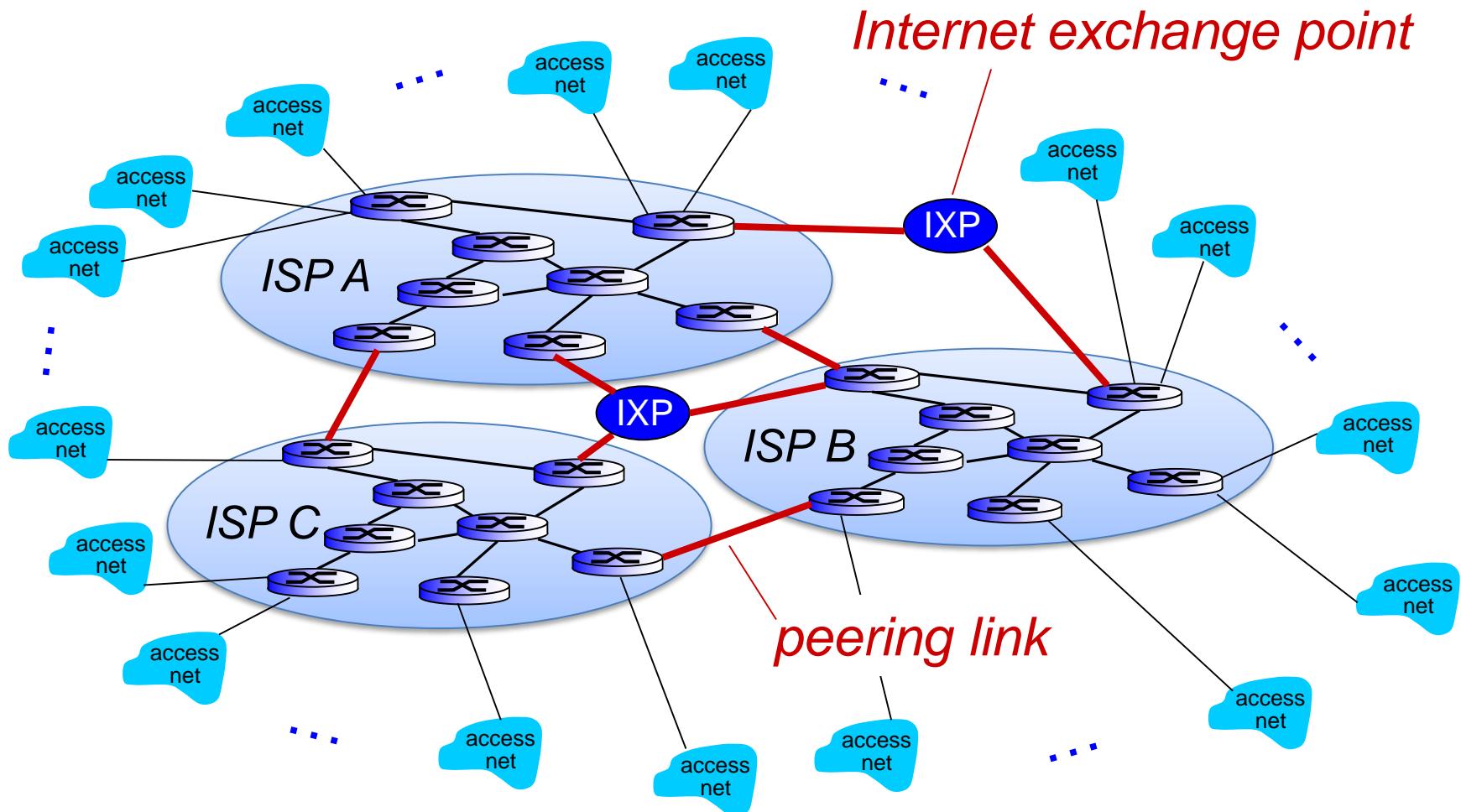
Global ISPs verbinden sich über Peering  
Links und Internet Exchange Points

*Internet exchange point*

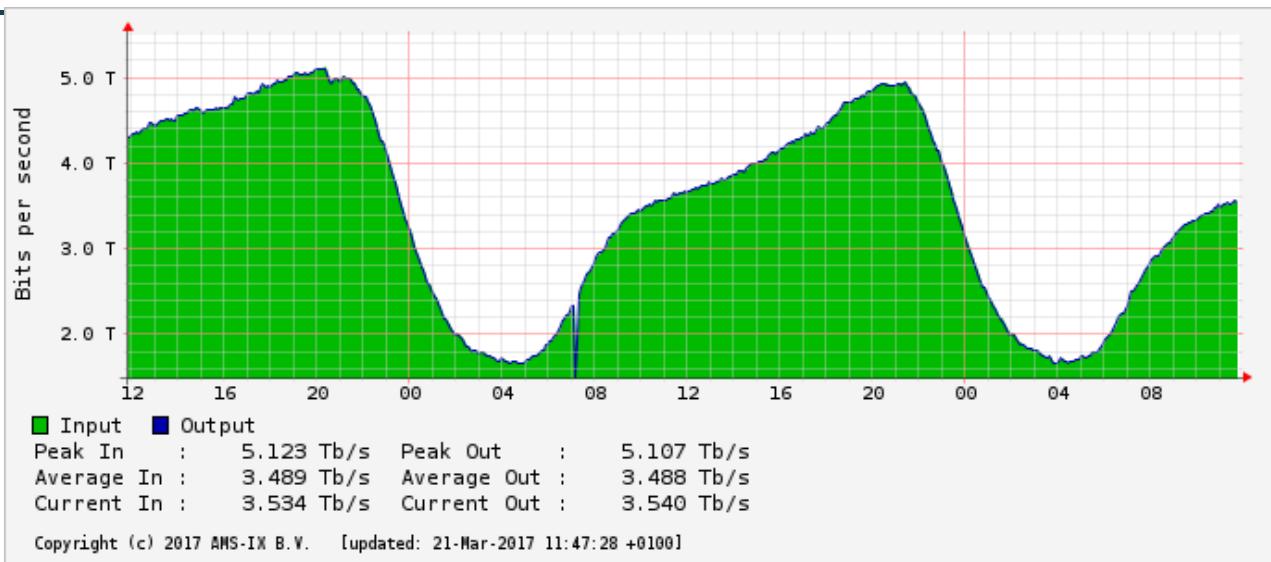


# Das Internet: Das Netz der Netze

Die ISPs müssen untereinander Datenverkehr austauschen. Diese geschieht über **Peering Links** oder über **Internet Exchange Points (IXP)**. „Peering“ bedeutet ein Abkommen unter Gleichen; die ISPs erklären sich gegenseitig bereit ohne zusätzliche Kosten den Datenverkehr des anderen weiterzuleiten. Dieses Abkommen heißt „Peering Agreement“. Ein Internet Exchange Point ist ein Data Center an das mehrere ISPs angeschlossen sind und Daten austauschen. Die ISPs bezahlen den Betreiber des IXP für ihren Anschluss. Peering Agreements können entweder als Peering Link direkt zwischen zwei ISPs oder innerhalb eines IXP implementiert werden.



# Beispiel eines IXP: AMS-IX in Amsterdam



Grafiken zeigen die Datenmenge, die von dem AMX-IX pro Sekunde verarbeitet wird. Die obere Grafik zeigt einen Tag, die untere Grafik ein Jahr. Wir sehen starke tägliche Schwankungen und ein kontinuierliches Wachstum des Verkehrs über das Jahr. Spitzenraten liegen bei 5 Tera-Bit pro Sekunde. Ein Tera-Bit sind 1000 Giga-Bit. Das entspricht etwa 300000 DSL-16000-Leitungen. An den AMS-IX sind ca. 800 Netze angeschlossen.



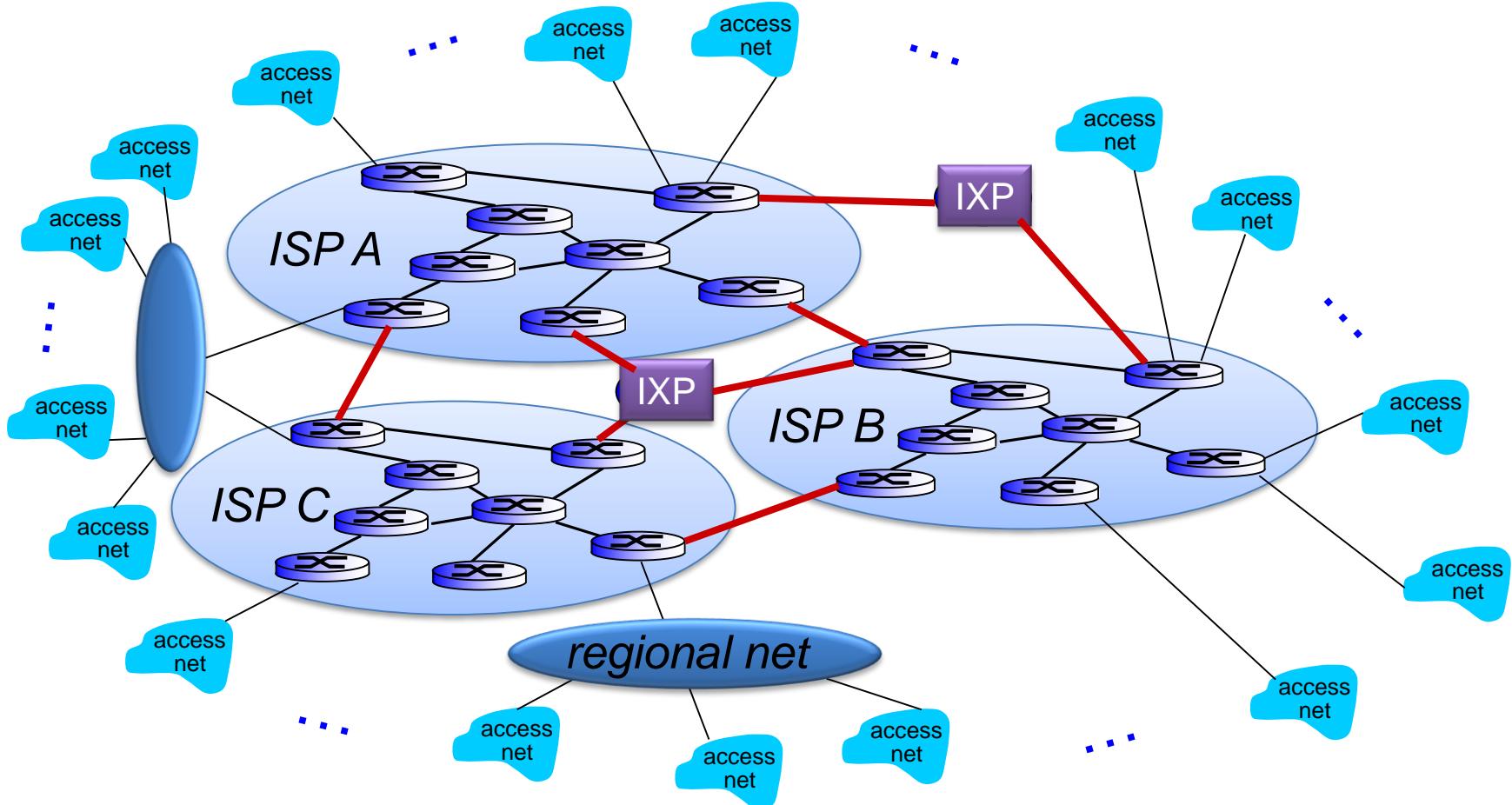
aktuelle Grafik



angeschlossene Netze

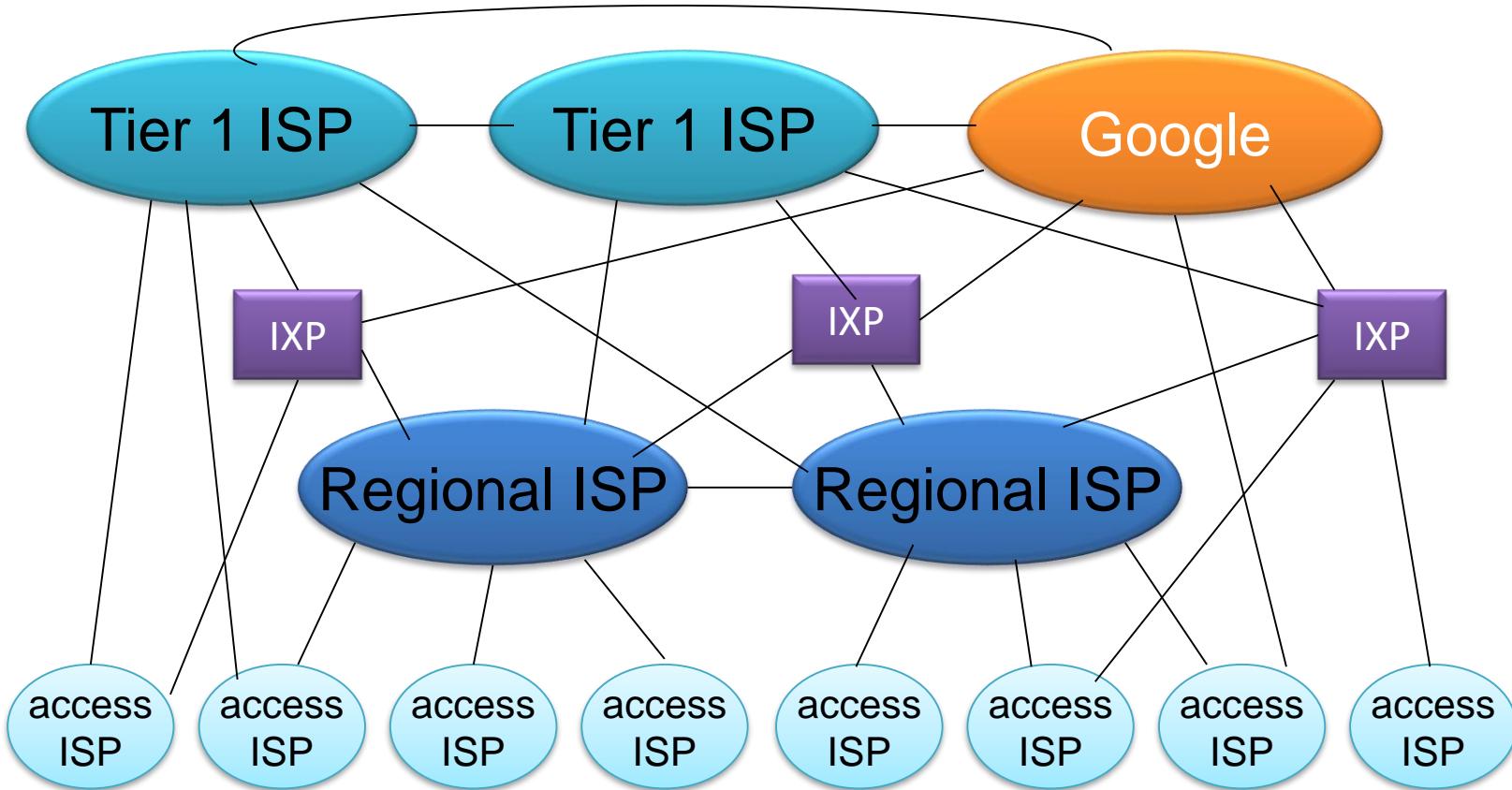
# Das Internet: Netz der Netze

Nationale und regionale ISPs verbinden Zugangsnetze mit globalen ISPs



# Internet: Netz der Netze

Das Internet ist hierarchisch aufgebaut. Im Zentrum sind die Netze der globalen ISPs (Tier-1), die nationale (Tier-2) und regionale (Tier-3) Provider mit dem globalen Internet verbinden. Zu den Tier-1-ISPs gehören unter anderem Level3, NTT, AT&T, DT, Cogent, Tata, etc.



## 2.1 Terminologie

## 2.2 Grundlagen der Datenübertragung

## 2.3 Protokolle und Dienste

## 2.4 Sockets

## 2.5 Aufbau des Internets

2.5.1 Netzrand: Zugangsnetze und Endkundennetze

2.5.2 Das Innere der ISP-Netze: Das Kernnetz (Core Network)

2.5.3 Das Internet – Netz der Netze

## 2.6 Zusammenfassung

# Zusammenfassung

- Das Internet ist wiederum Zusammenschluss von vielen dezentrale betriebenen Netzen, die auf der Basis von Verträgen den Verkehr aus anderen Netzen weiterleiten
- Netze bestehen aus Netzketten und Links.
- Die Datenübertragung erfolgt in Paketen. Netzketten leiten Pakete nach dem Prinzip der Paketvermittlung weiter.
- Durchsatz und Verzögerung (Latenz) als Kenngrößen einer Übertragungsstrecke
  - Warteverzögerung und Paketverlust, wenn ein Link überlastet ist
  - Durchsatz limitiert durch Datenrate im Bottleneck-Link
- Die Kommunikation zwischen Endsystemen (Hosts) und Netzketten findet auf verschiedenen Schichten über Protokolle statt, die von der IETF spezifiziert werden.
- Sockets werden dem Anwendungsprogrammierer vom Betriebssystem als Schnittstelle zur Transportschicht bereitgestellt.