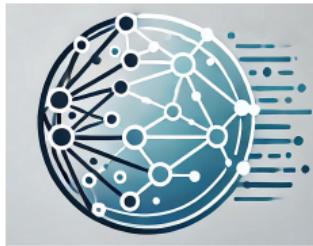

Netze

Modul 14: Moderne Netzstrukturen

▪ Prof. Dr. Michael Rademacher



22. Januar 2026

Semesterplanung — Vorlesungen

Modul	Dozent	Datum	Thema
1	Rademacher	2. Oktober 2025	Einführung, OSI-Referenzmodell und Topologien
2	Rademacher	9. Oktober 2025	Übertragungsmedien und Verkabelung
3	Rademacher	16. Oktober 2025	Ethernet und WLAN
4	Tschofenig	23. Oktober 2025	IPv4, Subnetze, ARP, ICMP
5	Tschofenig	30. Oktober 2025	IPv6 und Autokonfiguration
6	Tschofenig	6. November 2025	Netzwerksegmentierung
7	Tschofenig	13. November 2025	Routing
8	Rademacher	20. November 2025	Transportschicht und UDP
9	Rademacher	27. November 2025	TCP
10	Rademacher	4. Dezember 2025	DNS und HTTP 1
11	Tschofenig	11. Dezember 2025	HTTP 2 und QUIC
12	Tschofenig	18. Dezember 2025	TLS und VPN
/	/	8. Januar 2026	Bei Bedarf / TBA
13	Tschofenig	15. Januar 2026	Messaging
14	Rademacher	22. Januar 2026	Moderne Netzstrukturen



Semesterplanung — Übungen und Praktika

ID	KW	Art	Thema
	40	/	/
UE-1	41	Übung	Topologien und OSI
UE-2	42	Übung	Übertragungen bspw. Kabel
P-1	43	Praktikum	Laboreinführung und Netzwerktools
S-1	44	Video	IPv4
P-2	45	Praktikum	Adressierung
P-3	46	Praktikum	Adressierung und IPv4
P-4	47	Praktikum	IPv4 und Autokonfiguration
P-5	48	Praktikum	IPv4 und IPv6
P-6	49	Praktikum	IPv6 und Autokonfiguration
P-7	50	Praktikum	Routing
S-2	51	Experiment	VPN
	52	Experiment	VPN
S-2	2		
P-8	3	Praktikum	Switching
P-9	4	Praktikum	DNS, Transportprotokolle, Webkommunikation

UE - Übung laut Stundenplan in den Seminarräumen

P - Praktikum in C055

S - Selbststudium **KEINE** Präsenz

Modul 14: Moderne Netzstrukturen
Mobilfunk und 5G
Low-Power Wide-Area Network (LPWAN)
Starlink

Quellen

Eine kurze Geschichte des Mobilfunk

1G

- **Veröffentlicht:** 1979
- **Standards:** NMT, AMPS
- **Fähigkeiten:**
 - Analoge Sprache



2G

- **Veröffentlicht:** 1991
- **Standards:** GSM, CDMA
- **Fähigkeiten:**
 - Digitale Sprache
 - Verschlüsselung (kaputt)
 - SMS, MMS



3G

- **Veröffentlicht:** 2002
- **Standards:** UMTS
- **Fähigkeiten:**
 - Mobiles Breitband
 - Lokalisierung
 - Multimedia Streaming



4G

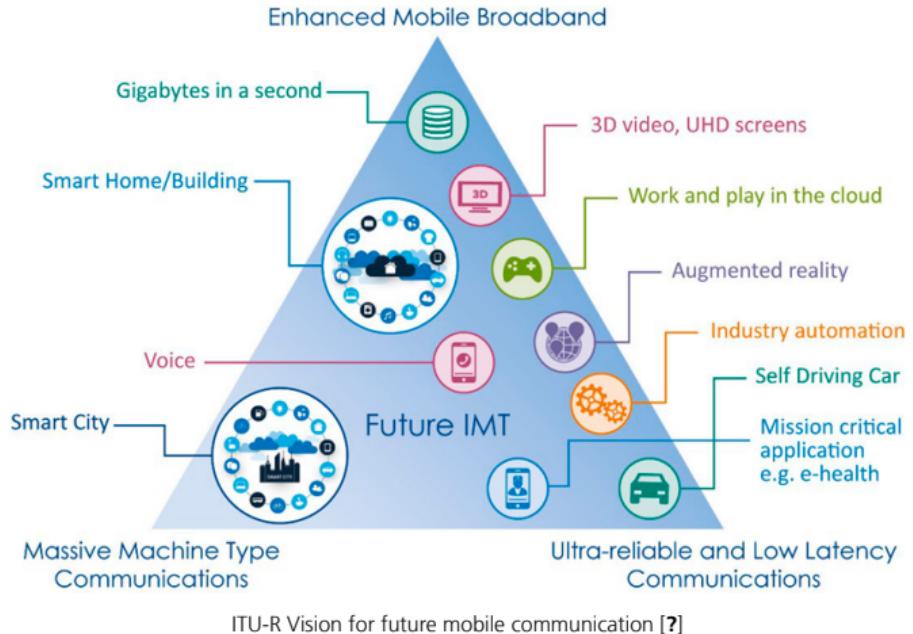
- **Veröffentlicht:** 2009
- **Standards:** LTE
- **Fähigkeiten:**
 - High-Speed Internet
 - IP-basiertes Kernnetz
 - HD-Multimedia Streaming



Anwendungsfall **Mobiles Telefonieren**

Anwendungsfall **Mobile Daten**

Anwendungsfälle von zukünftigen Mobilfunknetzwerken (bspw. 5G/6G)

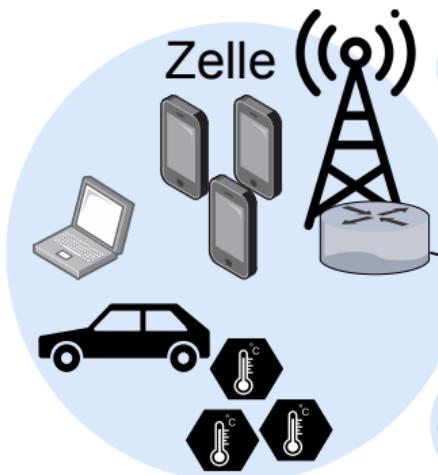


Digitalisierung bedeutet Vernetzung von Systemen und Sensoren. Mobilfunknetzwerke spielen aufgrund ihrer Eigenschaften eine Zentrale Rolle.

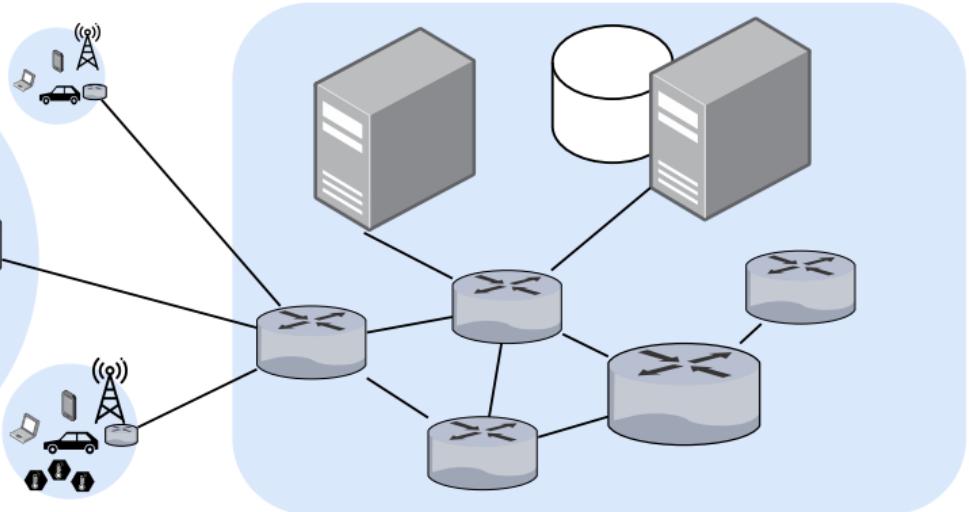
Anwendungsfälle von zukünftigen Mobilfunknetzwerken (bspw. 5G/6G)



Funk-Zugangsnetz



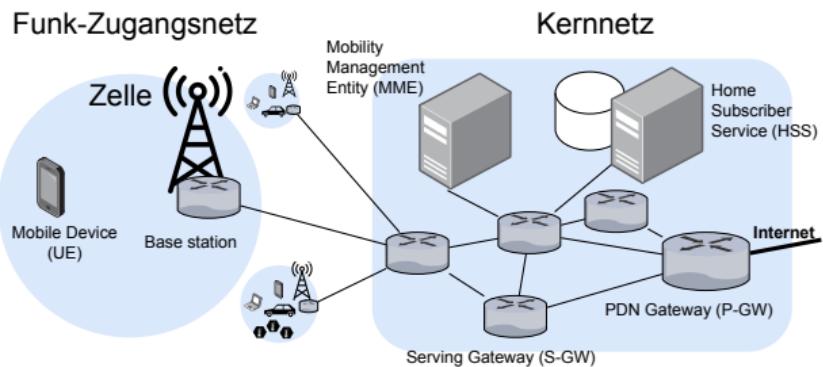
Kernnetz



Zentrale Elemente in einem 4G Mobilfunknetzwerk

Endgeräte (Mobile Device):

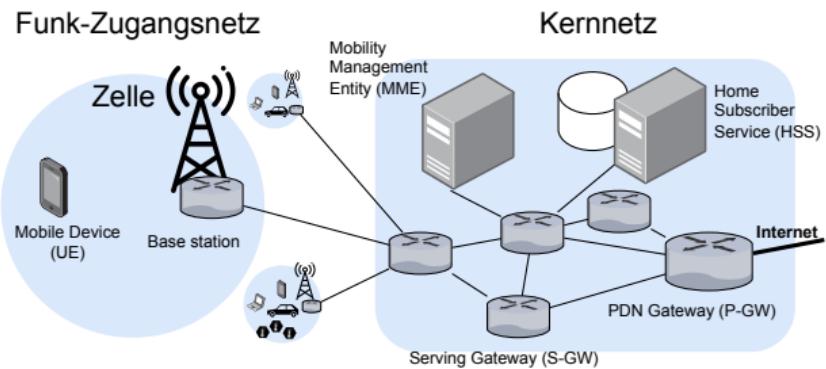
- Smartphone, Tablet, Laptop, **IoT (bspw. Sensor, Auto)** mit einem 4G Modem
- 64-bit IMSI, gespeichert auf einer SIM Karte
- Jargon: UE



Zentrale Elemente in einem 4G Mobilfunknetzwerk

Base station:

- Zugangspunkt zum Mobilfunknetzwerk, befindet sich am Rand des Netzes
- Verwaltet und verteilt Zugangsmöglichkeiten an Endgeräte in einer Zelle
- Koordiniert (gemeinsam mit anderen Elementen) die Authentifizierung von Endgeräten



Zentrale Elemente in einem 4G Mobilfunknetzwerk

HSS:

- Speichert Informationen über die SIM im „Heimnetzwerk“

MME:

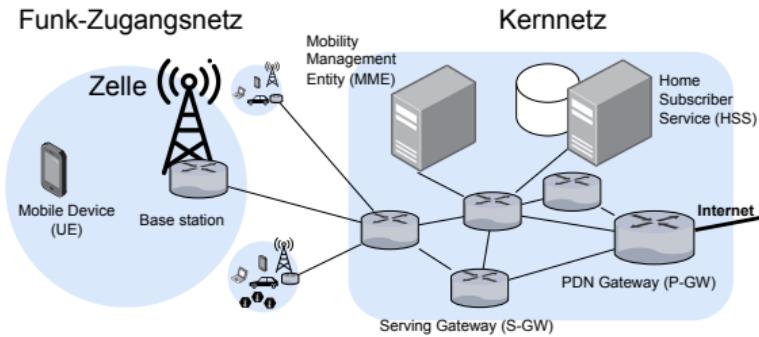
- Zentrales Steuerungselement in einem LTE Netzwerk

P-GW

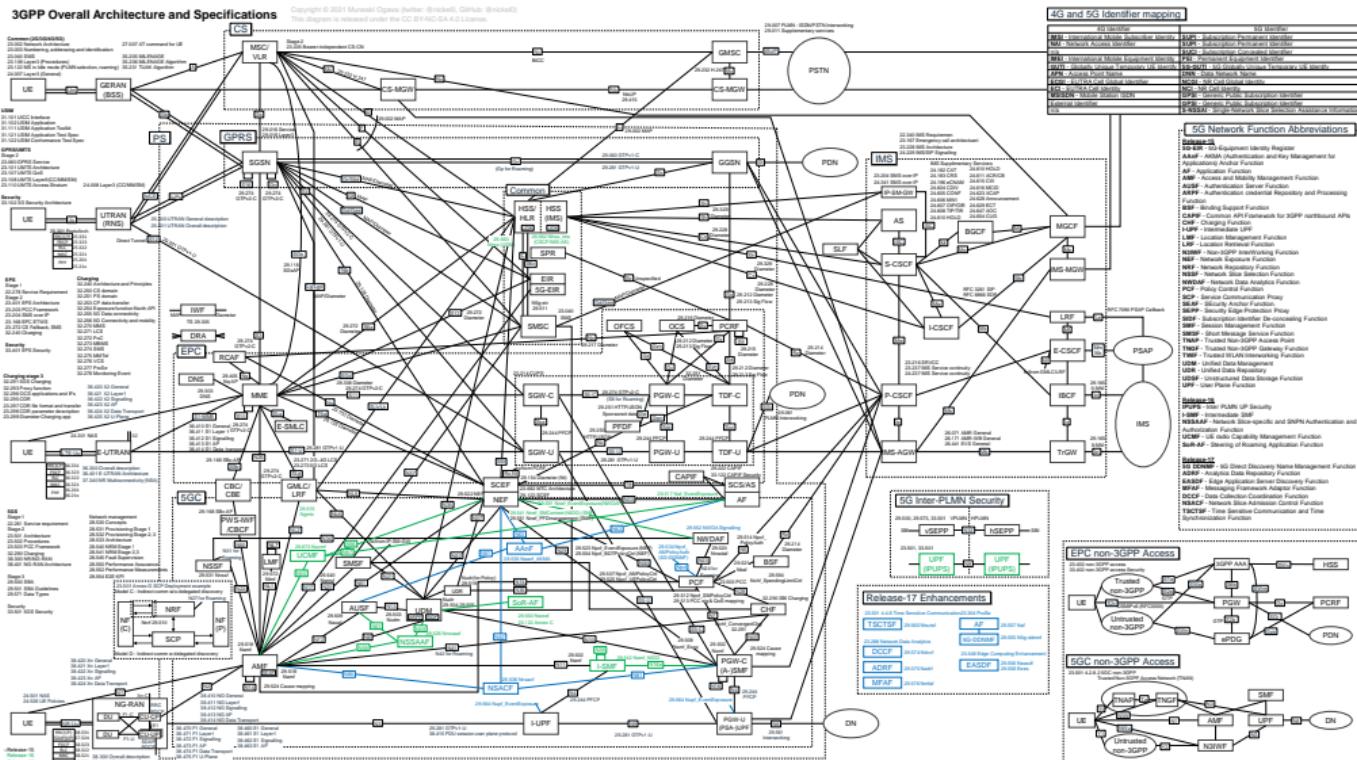
- Internet-Router und NAT

S-GW

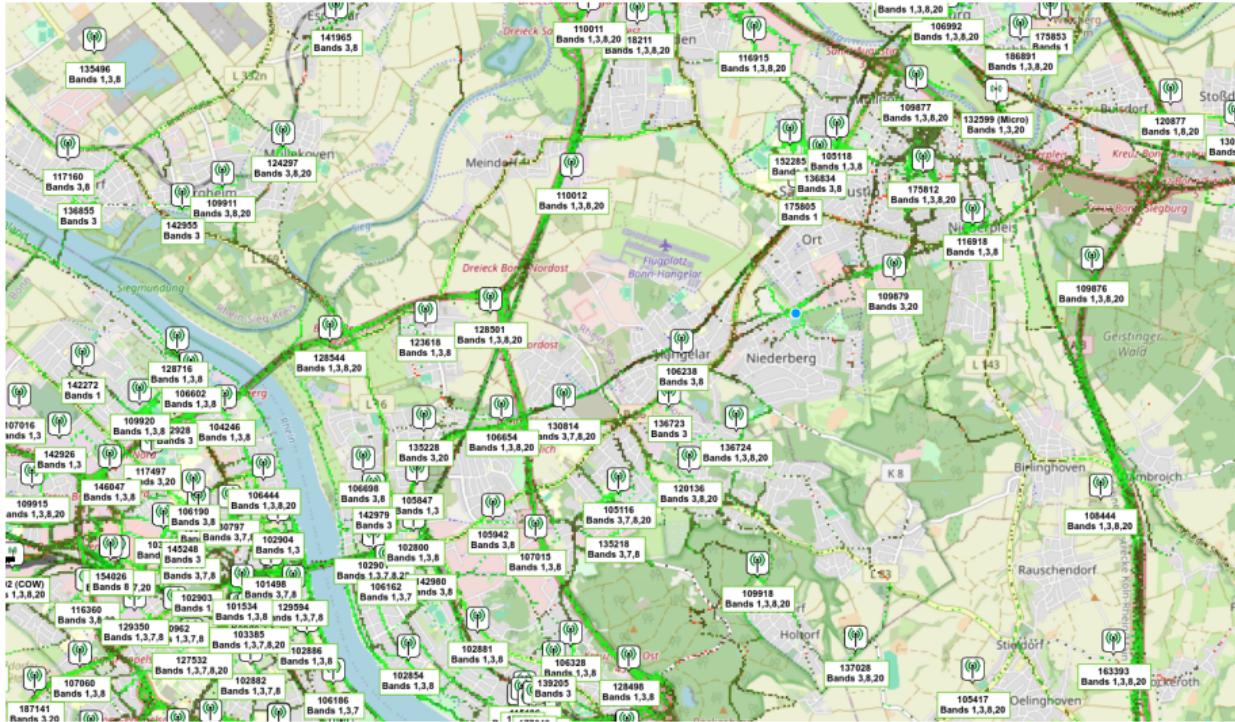
- Router für ein lokales Gebiet (bspw. mehrere Zellen)



Architektur von Mobilfunk: Realität



Zellen in der Region der Hochschule



Deutsche Telekom: Quelle [7]

Modul 14: Moderne Netzstrukturen
Mobilfunk und 5G
Low-Power Wide-Area Network (LPWAN)
Starlink

Quellen

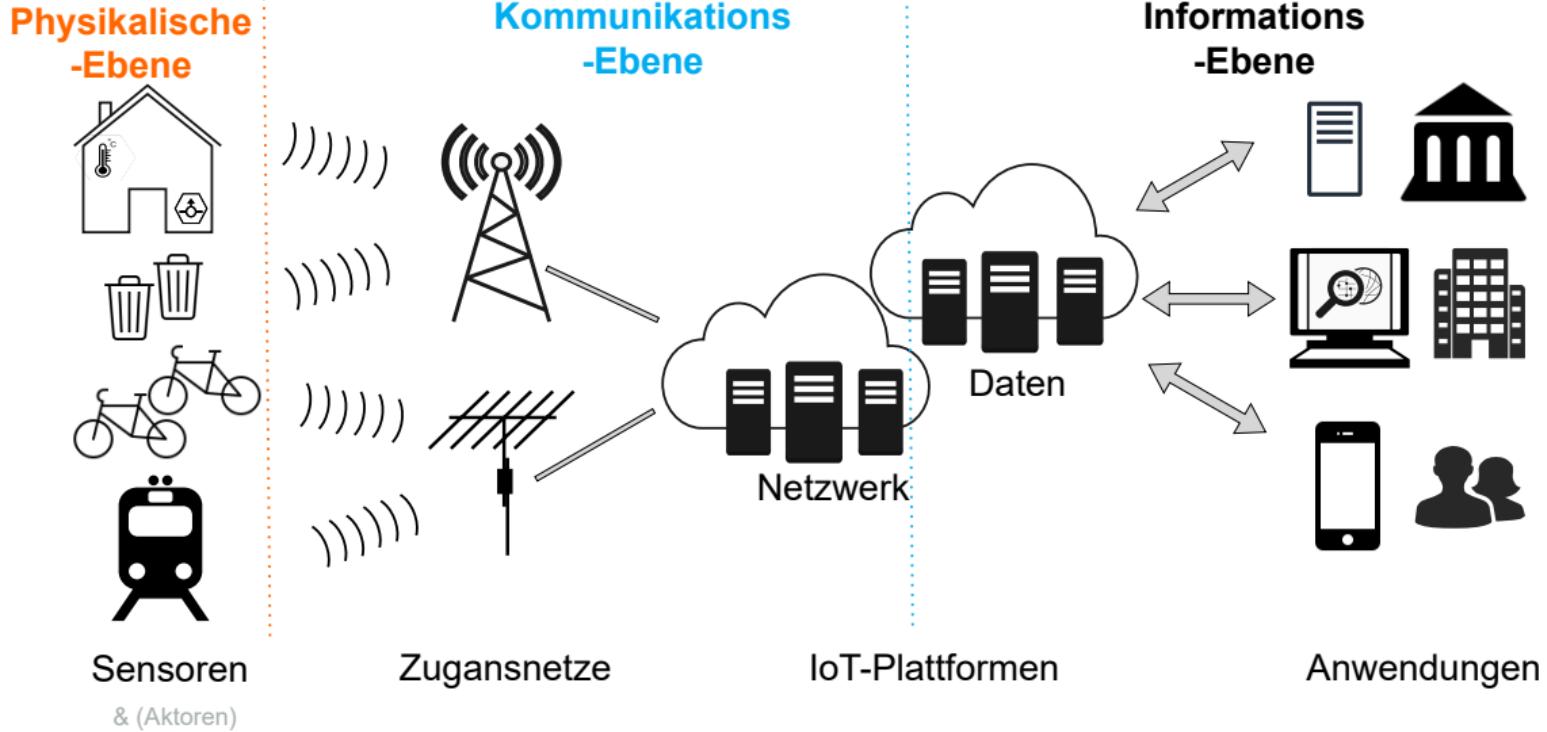
Digitalisierung des öffentlichen Raums: Die „Smart City“



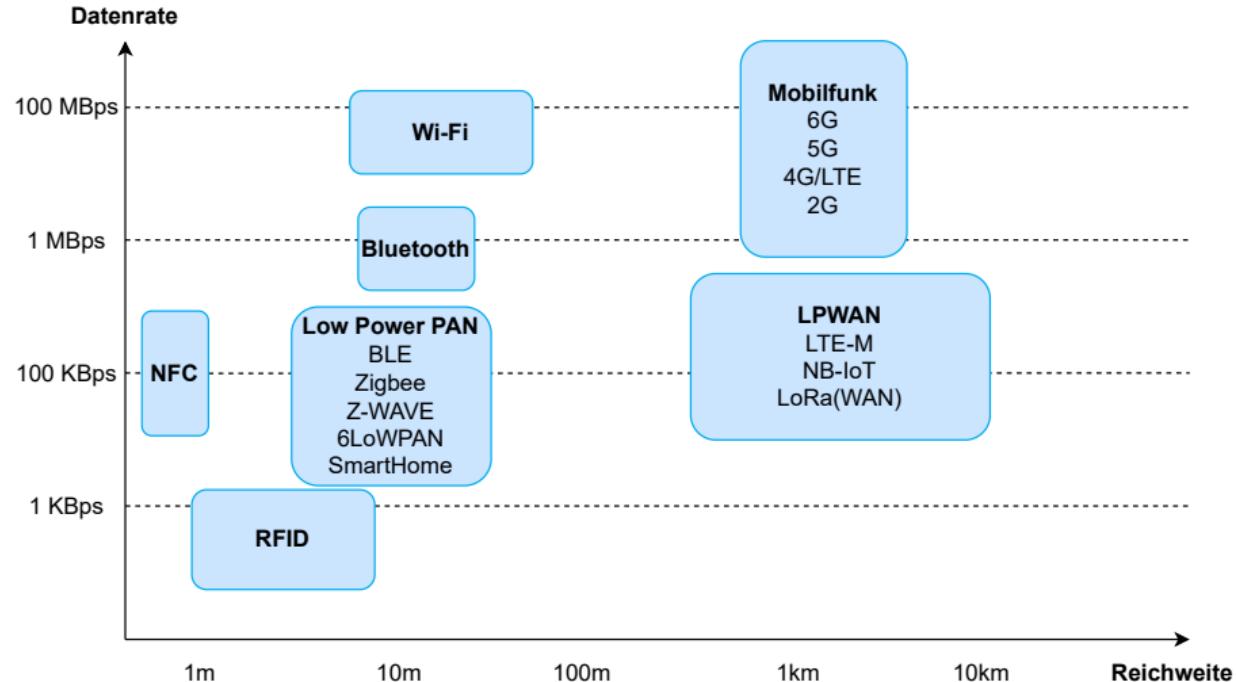
Digitalisierung des öffentlichen Raums: Die „Smart City“



„Smart City“: Eine Architektur



Drahtlose Kommunikationstechnologien



- Reichweite: Maximale Sendeleistung und Frequenz
- Datenrate: Bandbreite und Empfangsleistung (siehe Gesetz von C. Shannon)

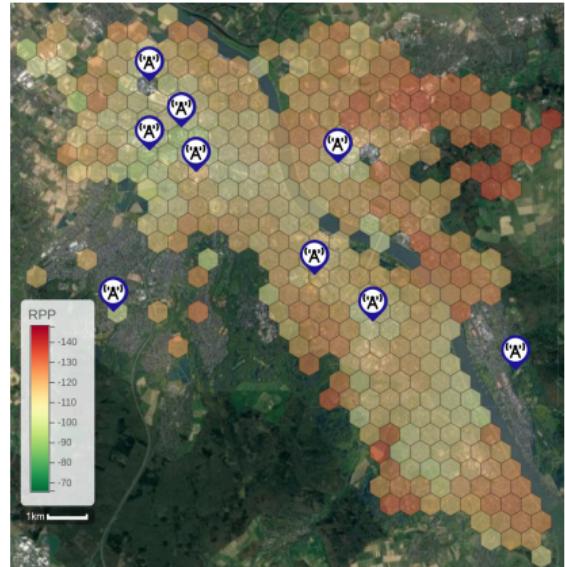
Merkmale von LPWANs:

■ Lange Batterielaufzeit

- Geringe Datenmenge bei der Übertragung
- Geringe Anforderungen an die Hardware

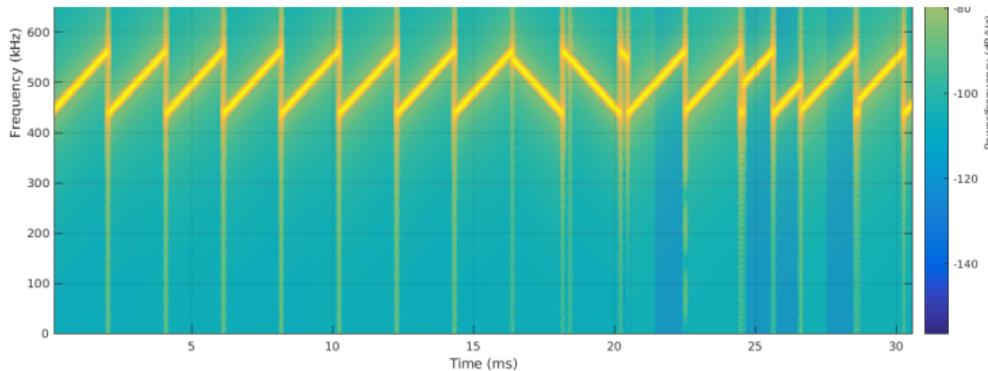
■ Viele Sensoren auf einer großen Fläche

- Koordination der Teilnehmer
- Sehr gute Reichweite



LoRa

LoRa ist eine drahtlose Kommunikationstechnologie, bei der ein Sender **geringer Leistung** (mW) **kleine Datenpakete** (kbps) über eine **große Entfernung** (km) überträgt. Die Innovation ist eine Modulation namens **Chirp Spread Spectrum**.



Chirp Spread Spectrum



LoRa Sensor

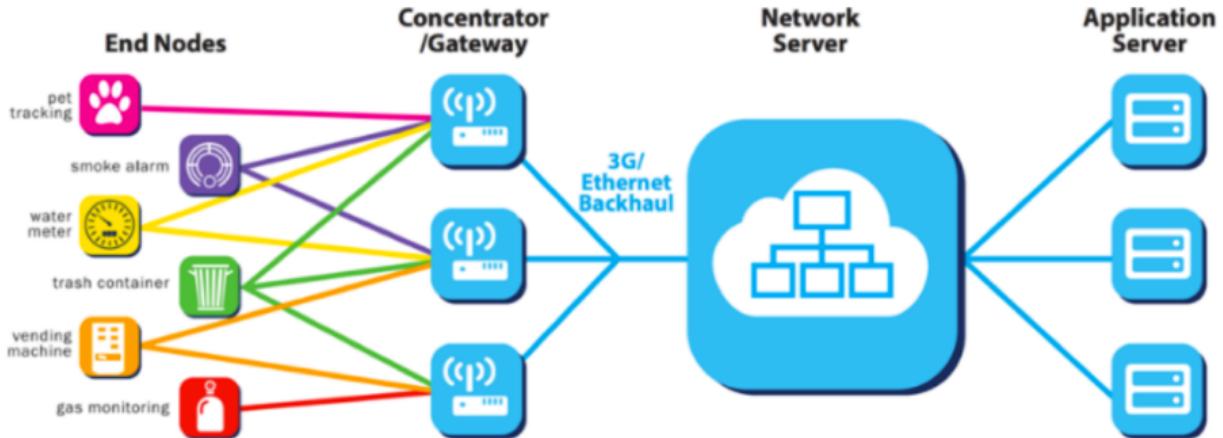


- Ist eine drahtlose Kommunikationstechnik auf der physikalischen Schicht
- Keine spezifizierte Verschlüsselung, Routing, Topologie, ...
- Patentiert



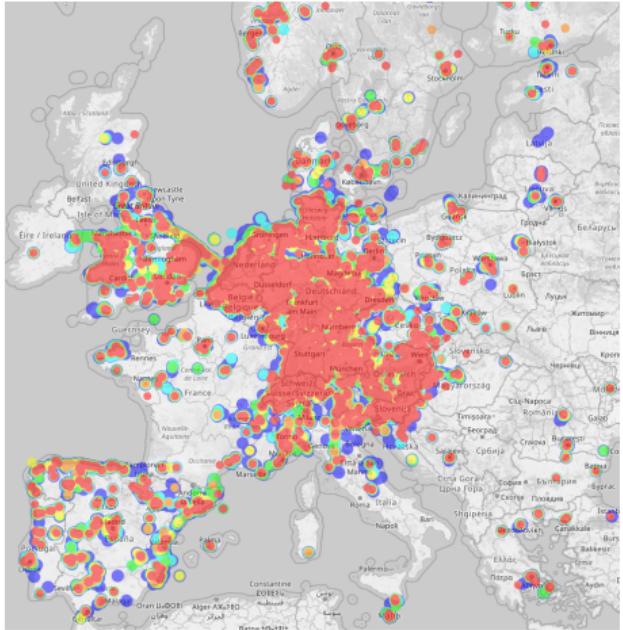
- Ist eine offene Spezifikation, die von der LoRa Alliance für die oberen Schichten entwickelt und gepflegt wird [9]
- Definiert Protokolle zur Verwaltung und Weiterleitung der Kommunikation zwischen Sensoren und Anwendungen

LoRaWAN — Netzwerküberblick



- Ein Sensor (**End Node**) sammelt Daten, die über **LoRa** an ein oder mehrere Gateways übertragen werden
- **Gateways** dekodieren die Daten und leiten diese an einen Network Server weiter
- **Network server**: Intelligenz im LoRaWAN Netzwerk
 - Sicherheitsprüfungen, dynamische Anpassung der Modulation und Umgang mit **redundanten** Paketen
 - Anschließend werden die Nachrichten gekapselt und an das endgültige Ziel weitergeleitet den **Application Server**
- **Topologie**: Mehrere miteinander verbundene Sterne mit Gateways als Zentrum

The Things Network



[8]

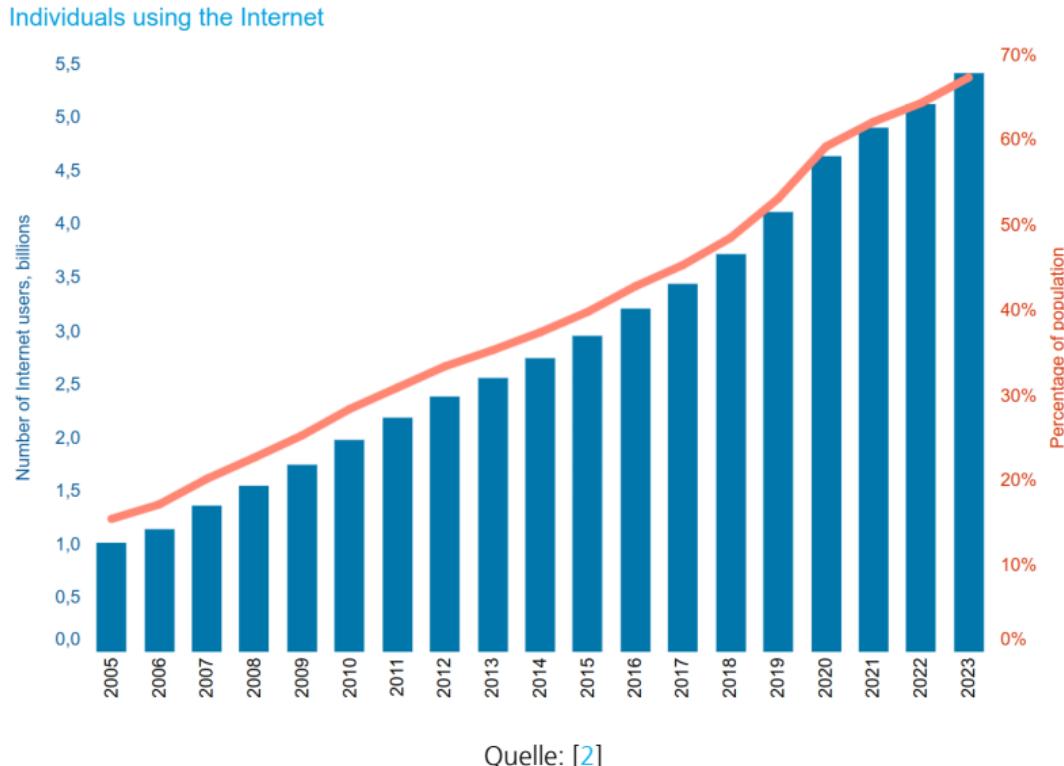
- TTN ist ein gemeinschaftliches System, an dem sich jeder beteiligen kann
- Die Betreiber der Gateways berechnen keine Kosten für den Empfang und Weiterleitung der Daten

Modul 14: Moderne Netzstrukturen

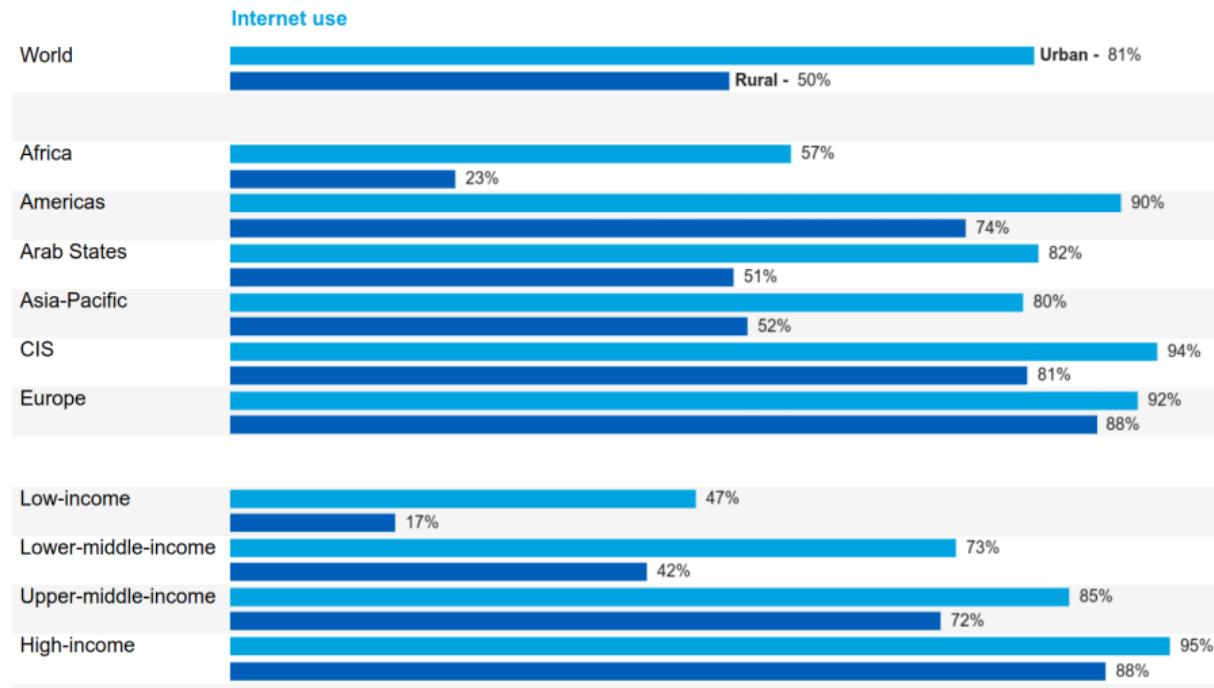
- Mobilfunk und 5G
- Low-Power Wide-Area Network (LPWAN)
- Starlink

Quellen

Motivation — Internet Nutzung Weltweit

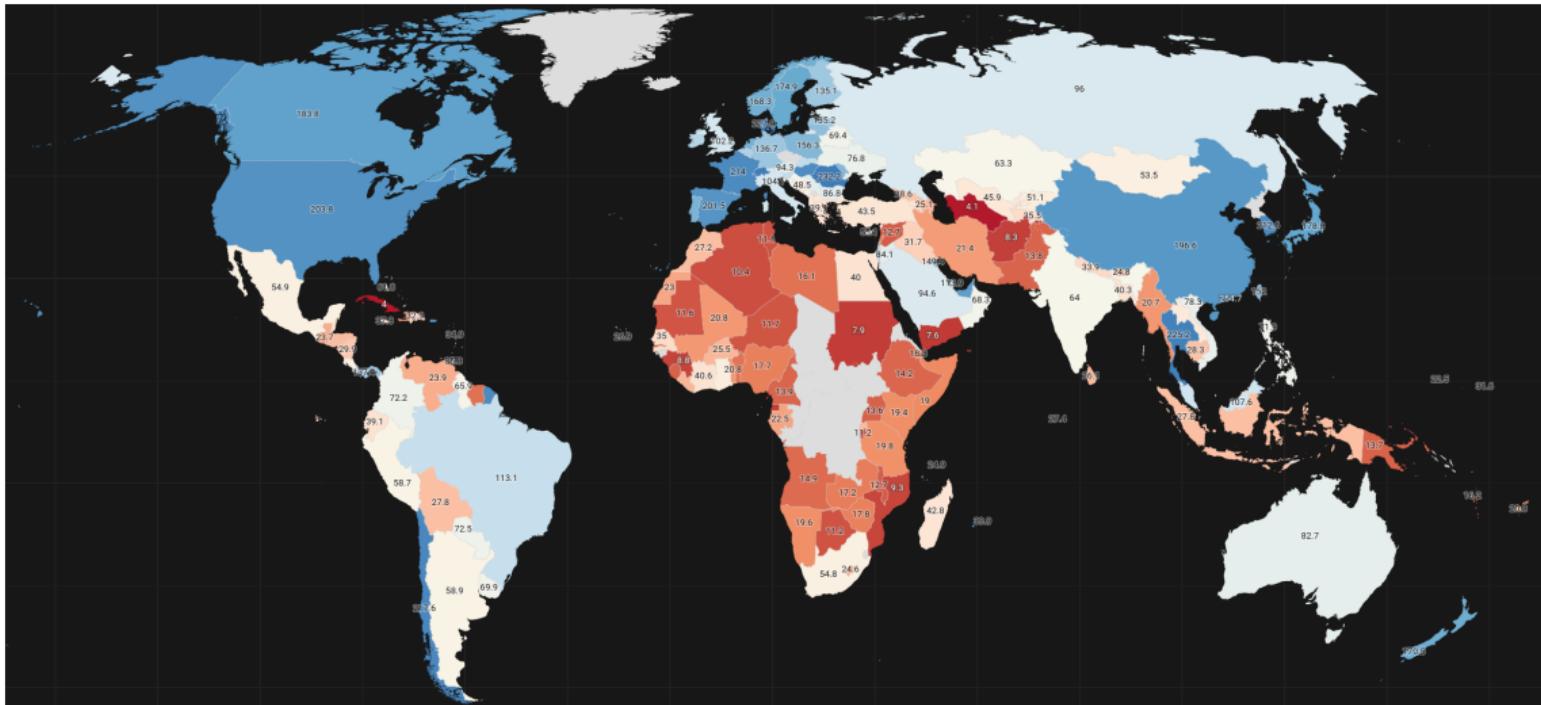


Motivation — Digitale Spaltung



Quelle: [2]

Motivation — Digitale Spaltung



Quelle Daten: [6], Quelle Plot: [4]

Motivation — Digitale Spaltung

Ein Problem besteht darin, **Breitband** (bspw. 100 Mbps) pro Haushalt in **ländlichen Gebieten** anzubieten: je dünn besiedelter das Gebiet ist, desto höher sind die **Kosten pro Nutzer** und desto geringer (wenn nicht sogar negativ) ist der erwartete Gewinn für den Internet Service Provider.



Internet aus dem Himmel

- "Alternative Netzwerke" wurden/werden evaluiert
- Global Player wollen die unerschlossenen Märkte für sich gewinnen
- Problem: Belastbare technische Informationen vs. Medienberichterstattung



Google Project Loon



Facebooks "Aquila"

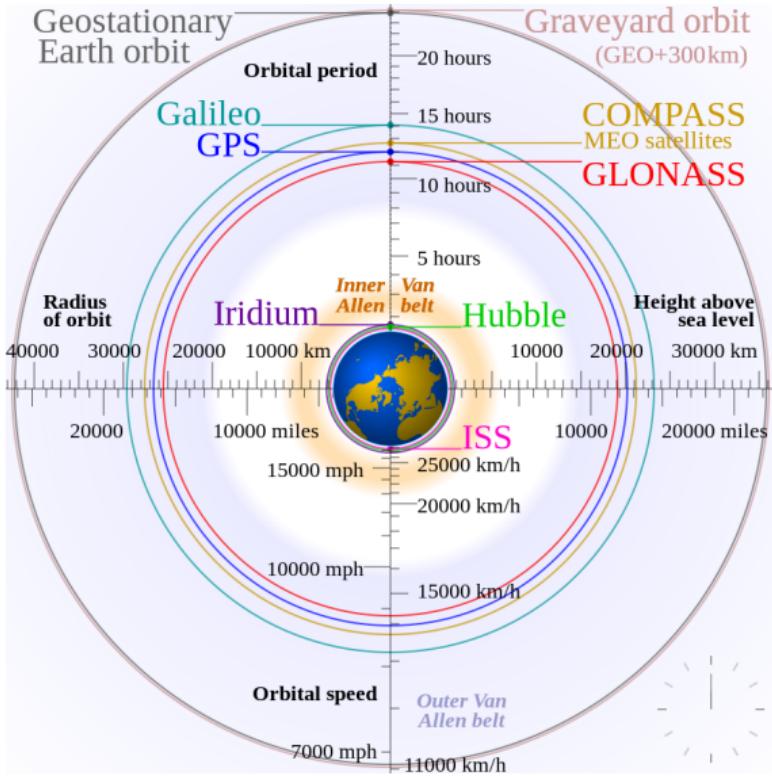


Starlink von SpaceX

Satelliten - GEO

- GEO-Satellitensysteme (Umlaufbahn bei 35700 km) sind seit Jahrzehnten im Einsatz.
- Das Hauptproblem der GEO-Satellitenkommunikation ist die typische RTT $\approx 500 \text{ ms}$:

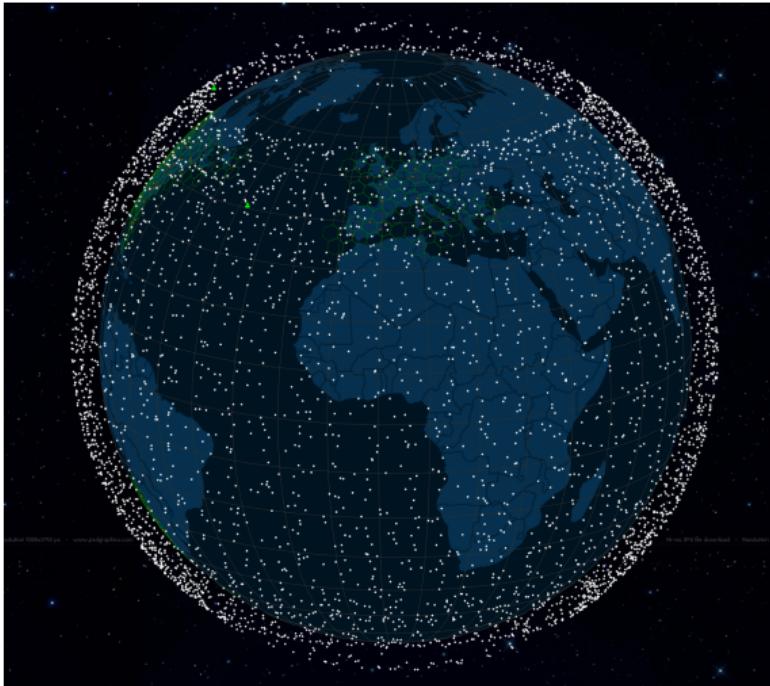
$$2 * 2 * \frac{35700 \text{ km}}{c} = 476 \text{ ms}$$



Quelle:[5]

Satelliten - MEO and LEO

- MEO- oder LEO-Systeme arbeiten in einer niedrigeren Umlaufbahn (zwischen 160 km und 2000 km) und reduzieren die RTT erheblich.
- MEO- oder LEO-Unternehmen behaupten, die digitale Spaltung zu schließen, indem sie Satelliten-Konstellationen starten, die einen kontinuierlichen Internetdienst für fast alle Gebiete der Erde bieten könnten.
- Herausforderungen:
 - Fragwürdiger Business Cases
 - Die Bodenstationen
 - Inter-Satellite Communication
 - Weltraummüll in der unteren Erdumlaufbahn
 - Sicht für die Astronomen
 - ...



[1]

Auswahl Fächer an der H-BRS ...

- Grundlagen Netzwerk- und Betriebssystemsicherheit
- Clusterinfrastrukturen und Virtualisierung
- Intelligente Netze und Virtualisierung
- Virtualisierung und Containerisierung
- Virtuelle Private Netze
- Netzwerksicherheit
- Smart City: Sensorik und Netze
- Linux Kernel und Embedded Systems
- ...

Eigene Infrastruktur aufsetzen:

- Homelabs
- Self-Hosting
- VPNs
- Virtualisierung
- Container
- Virtual Private Server (VPS)
- ...



FAQ:

- Können Sie was „ausschließen“?
- Soll ich einfach alles auswendig lernen?
- Muss ich alle Formeln auswendig lernen?
- Ist das Praktikum relevant?
- Können Sie nochmal alle Lösungen zum Praktikum und zur Übung hochladen?
- Welche Hilfsmittel sind in der Klausur erlaubt?
- In welchem Raum schreibe ich meine Klausur?

Lesen E-Mail zu „Wichtige Organisatorische Hinweise zu den anstehenden Prüfungen“.

Quellen I

- [1] Constellation starlink - current positions.
<https://satellitemap.space/?constellation=starlink>.
(Accessed on 07/04/2024).
- [2] Facts and figures 2023 - internet use.
<https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/2023/10/10/ff23-internet-use/>.
(Accessed on 07/04/2024).
- [3] Github - nickel0/3gpp-overall-architecture: 3gpp overall architecture and specifications including release-17.
<https://github.com/nickel0/3GPP-Overall-Architecture>.
(Accessed on 06/09/2022).
- [4] Internet speeds by country 2024.
<https://www.datapandas.org/ranking/internet-speeds-by-country>.
(Accessed on 07/04/2024).
- [5] Satellitenorbit – wikipedia.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Satellitenorbit>.
(Accessed on 07/04/2024).
- [6] Speedtest global index – internet speed around the world – speedtest global index.
<https://www.speedtest.net/global-index>.
(Accessed on 07/04/2024).
- [7] Telekom.de (germany) - cellular coverage and tower map.
<https://www.cellmapper.net>.
(Accessed on 07/02/2024).
- [8] Ttn coverage.
<https://ttnmapper.org/heatmap/>.
(Accessed on 03/30/2023).
- [9] Alliance, L.
Lorawan 1.0.3 specification.
Tech. rep., 2017.