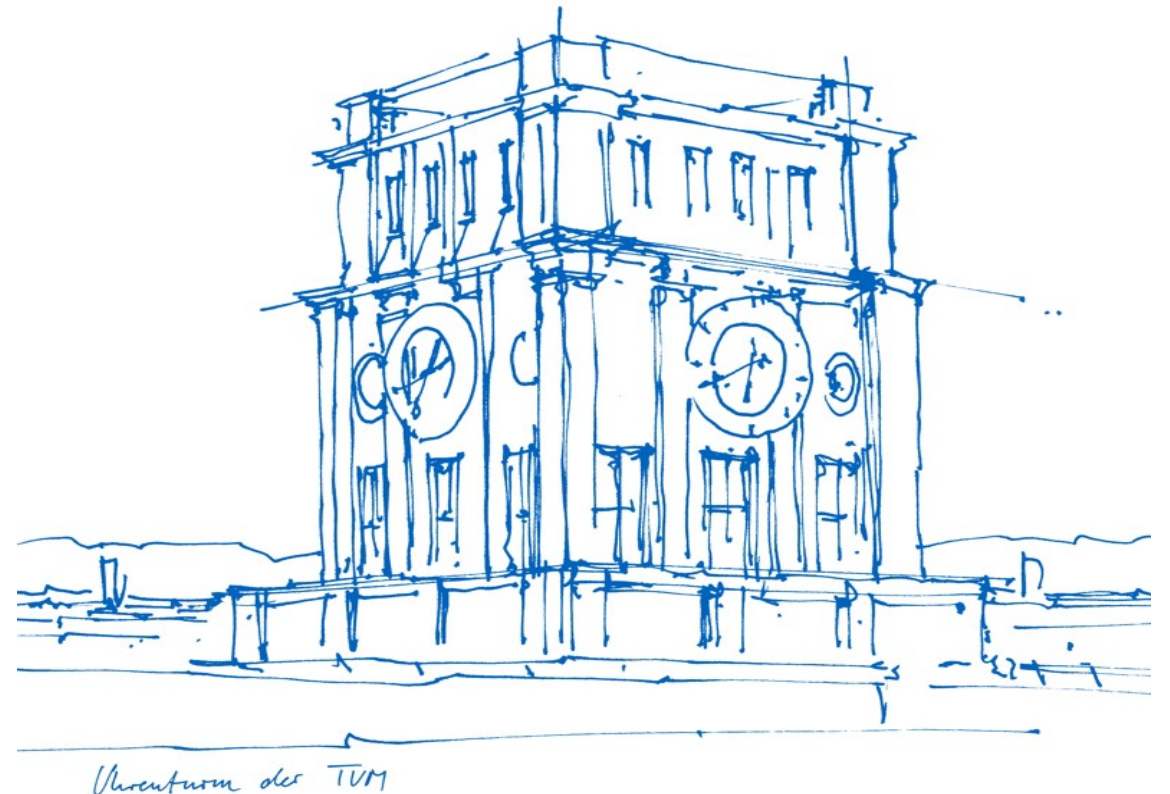


Was ist 5G?

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kellerer
Technische Universität München
Lehrstuhl für Kommunikationsnetze

2. April, 2019
ZITIS TechZoom



Aktuell in Deutschland: Auktion für 5G Frequenzen

- am 19. März 2019 begann die Versteigerung der 5G Frequenzen in den Bereichen 2 GHz und 3,4 GHz bis 3,7 GHz
 - Drillisch Netz AG
 - Telefónica Germany GmbH & Co. OHG
 - Telekom Deutschland GmbH
 - Vodafone GmbH



- 29.3.2019 / Runde 93: 1.607.025.000 €

- *Was soll der Hype?*
- *Einfach wieder eine weitere neue Generation?*
- *Was ist disruptiv? Ganz anders als zuvor?*

Bundesnetzagentur

FREQUENZAUKTION 2019
 Ergebnis der Runde 93

Frequenzbereich 2 GHz				Frequenzbereich 3,6 GHz			
Block	Ausstattung	Höchstbieter	Höchstgebot	Block	Ausstattung	Höchstbieter	Höchstgebot
01A 2 GHz	2x5 MHz abstrakt	Telekom	72.091.000	08A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Iund1 DRI	26.473.000
02A 2 GHz	2x5 MHz abstrakt	Telekom	72.091.000	09A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Iund1 DRI	26.529.000
03A 2 GHz	2x5 MHz abstrakt	Vodafone	79.271.000	10A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	TEF DE	25.187.000
04A 2 GHz	2x5 MHz abstrakt	Vodafone	79.271.000	11A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	TEF DE	25.187.000
05A 2 GHz	2x5 MHz abstrakt	Telekom	79.321.000	12A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	TEF DE	25.187.000
06A 2 GHz	2x5 MHz abstrakt	TEF DE	73.854.000	13A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Vodafone	26.480.000
07A 2 GHz	2x5 MHz abstrakt	Vodafone	78.469.000	14A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Iund1 DRI	26.450.000
08A 2 GHz	2x5 MHz abstrakt	Telekom	86.315.000	15A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Vodafone	26.482.000
09A 2 GHz (2026)	2x5 MHz abstrakt	TEF DE	54.138.000	16A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	TEF DE	25.187.000
10A 2 GHz (2026)	2x5 MHz abstrakt	Vodafone	67.631.000	17A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Telekom	29.819.000
11A 2 GHz (2026)	2x5 MHz abstrakt	Iund1 DRI	60.936.000	18A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Telekom	26.842.000
12A 2 GHz (2026)	2x5 MHz abstrakt	Iund1 DRI	60.924.000	19A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Telekom	26.842.000
Frequenzbereich 3,6 GHz				Frequenzbereich 3,6 GHz			
Block	Ausstattung	Höchstbieter	Höchstgebot	Block	Ausstattung	Höchstbieter	Höchstgebot
01K 3,6 GHz	1x20 MHz konkret	Iund1 DRI	2.200.000	20A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Telekom	29.526.000
02A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Iund1 DRI	27.735.000	21A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Telekom	28.602.000
03A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	TEF DE	28.408.000	22A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Vodafone	26.002.000
04A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Vodafone	26.725.000	23A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Vodafone	26.002.000
05A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Iund1 DRI	26.803.000	24A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Vodafone	23.870.000
06A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Vodafone	26.803.000	25A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Vodafone	23.870.000
07A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	TEF DE	26.795.000	26A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Telekom	26.279.000
				27A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Telekom	26.279.000
				28A 3,6 GHz	1x10 MHz abstrakt	Telekom	26.279.000
				29K 3,6 GHz	1x10 MHz konkret	Telekom	23.870.000
Summe				Summe			
1.607.025.000				1.607.025.000			

Eine (besondere?) neue Generation Mobilkommunikation

- bisher etwa alle 10 Jahre eine neue Generation

4G: LTE

+ Datenkommunikation (Apps für Nutzer)

2G: GSM/GPRS Mobile Telefonie



3G: UMTS Mobile Telefonie



5G: + Maschinen kommunizieren

Quelle: Deutsche Telekom

Deutschland: Frequenzauktion und Frequenzvergabe

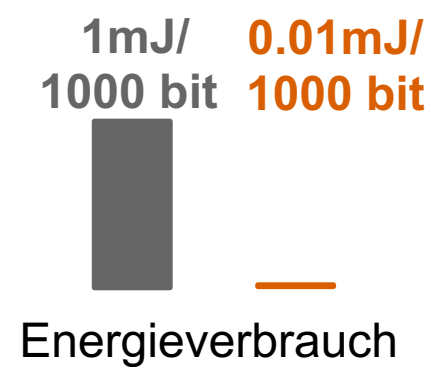
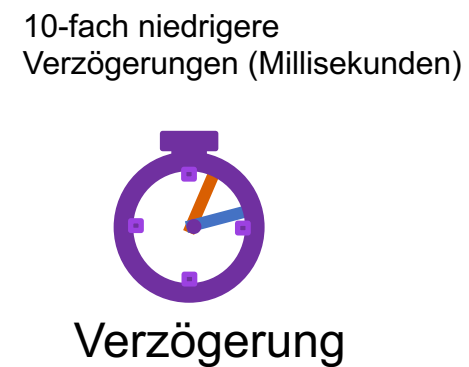
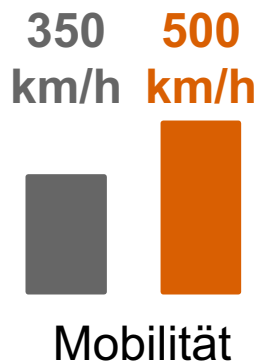
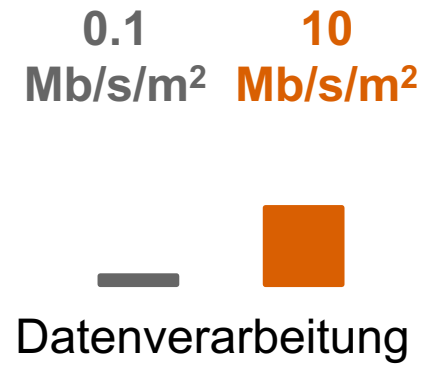
- Parallel zum Vergabeverfahren durch Auktion:
 - Antragsverfahren für Frequenzzuteilungen im Bereich 3,7 GHz – 3,8 GHz
 - zur lokalen und regionalen Nutzung
 - Ziel: regionale Netzbetreiber, kleine und mittlere Unternehmen, Start-Ups, Gemeinden und Vertreter der Land- und Forstwirtschaft → Potenzial von 5G nutzen



- D ist Vorreiter
- Diskussion auch in: UK, Japan, Schweden, USA
- Stichpunkte „Private 5G Netze“ – „non public networks“

Was ist neu? - Systemparameter von 5G im Vergleich zu 4G

4G – 5G Vergleich



5G Anwendungsfelder der NGMN

DL: 50 Mbps
UL: 25 Mbps
Latency: 10 ms

DL/UL: low
~ 1 – 100 kbps
Latency: 1 sec – 1 h

Breitbandzugang
bei hoher Teil-
nehmerdichte

**HD Video
Sharing**

DL: 1 Gbps
UL: 500 Mbps
Latency: 10 ms

Breitbandzugang
überall

**> 50 Mbit/s
flächen-
deckend**

Hohe
Teilnehmer-
mobilität

**Hochgeschwin-
digkeitszüge**

Massives
Internet
der Dinge

**Sensor- und
Aktuatornetze**

➤ **Sehr diverse teilweise sich widersprechende Anforderungen für dasselbe 5G Netz!**

Extreme
Realzeit-
kommunikation

**Taktiler
Internet**

Lifeline
Kommunikation

**Katastrophen-
einsatz**

Hoch
ausfallsichere
Kommunikation

Telemedizin

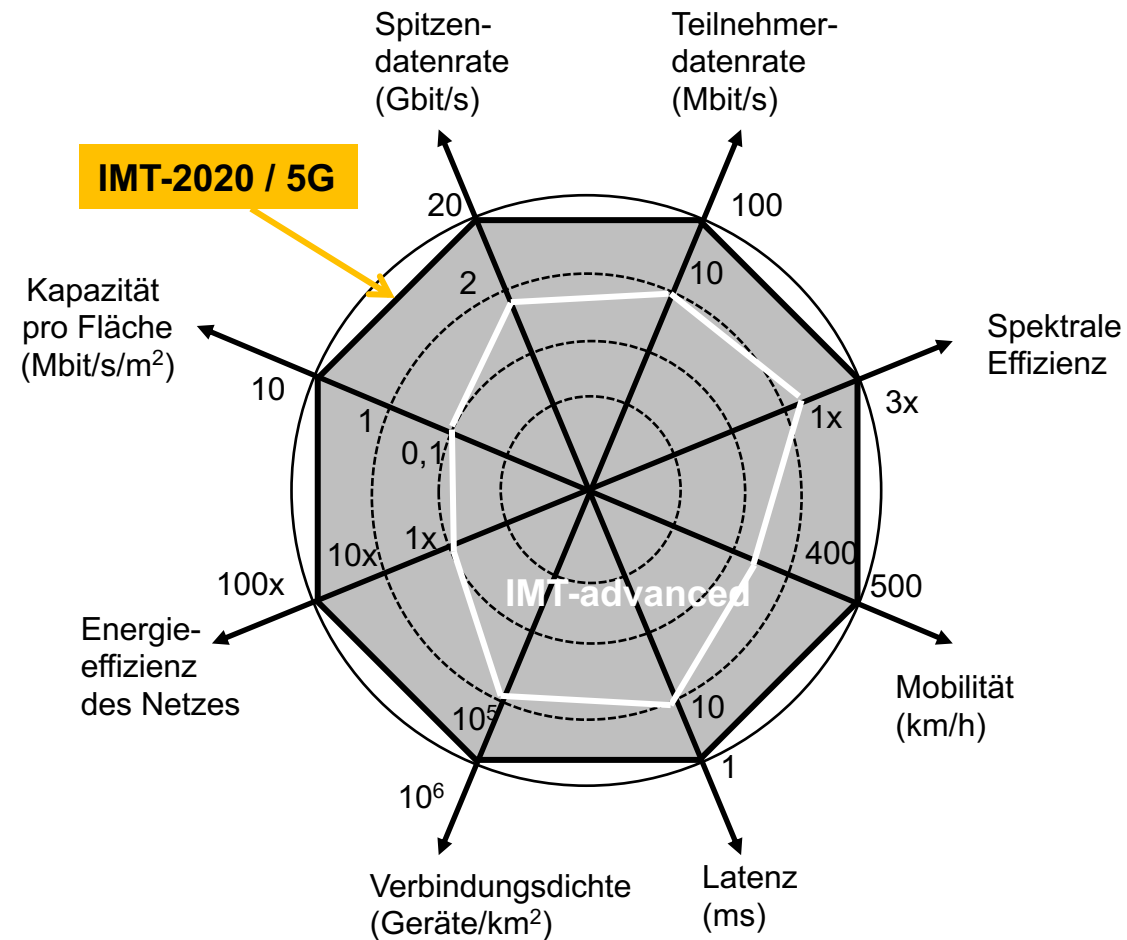
Broadcast-
ähnliche
Dienste

**Rundfunk-
dienste**

DL: 200 Mbps
UL: 500 kbps
Latency: < 100 ms

DL: 50 Mbps
UL: 25 Mbps
Latency: < 1 ms

5G aus der Sicht des Funknetzes



- 5G verspricht höhere Leistungsfähigkeit in vielen Aspekten
- Nicht alle können gleichzeitig erfüllt werden!

Drei Dienstbereiche für 5G

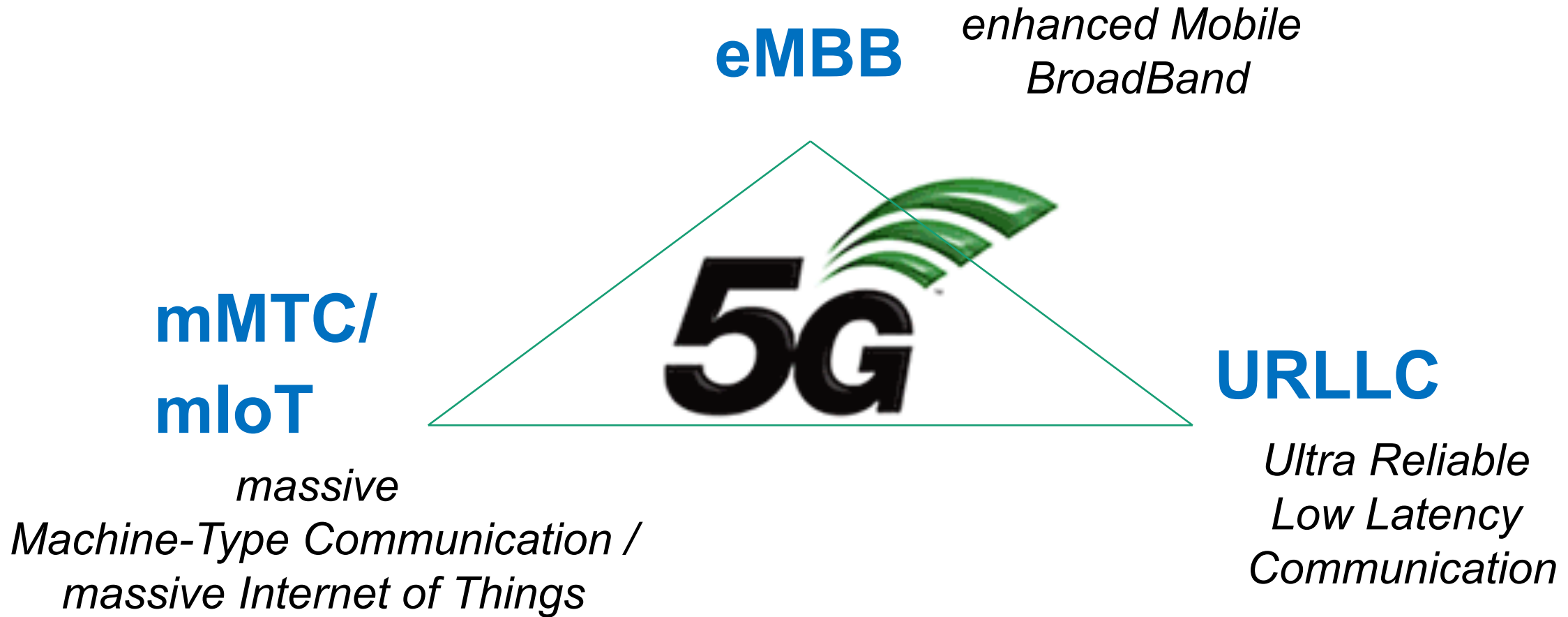
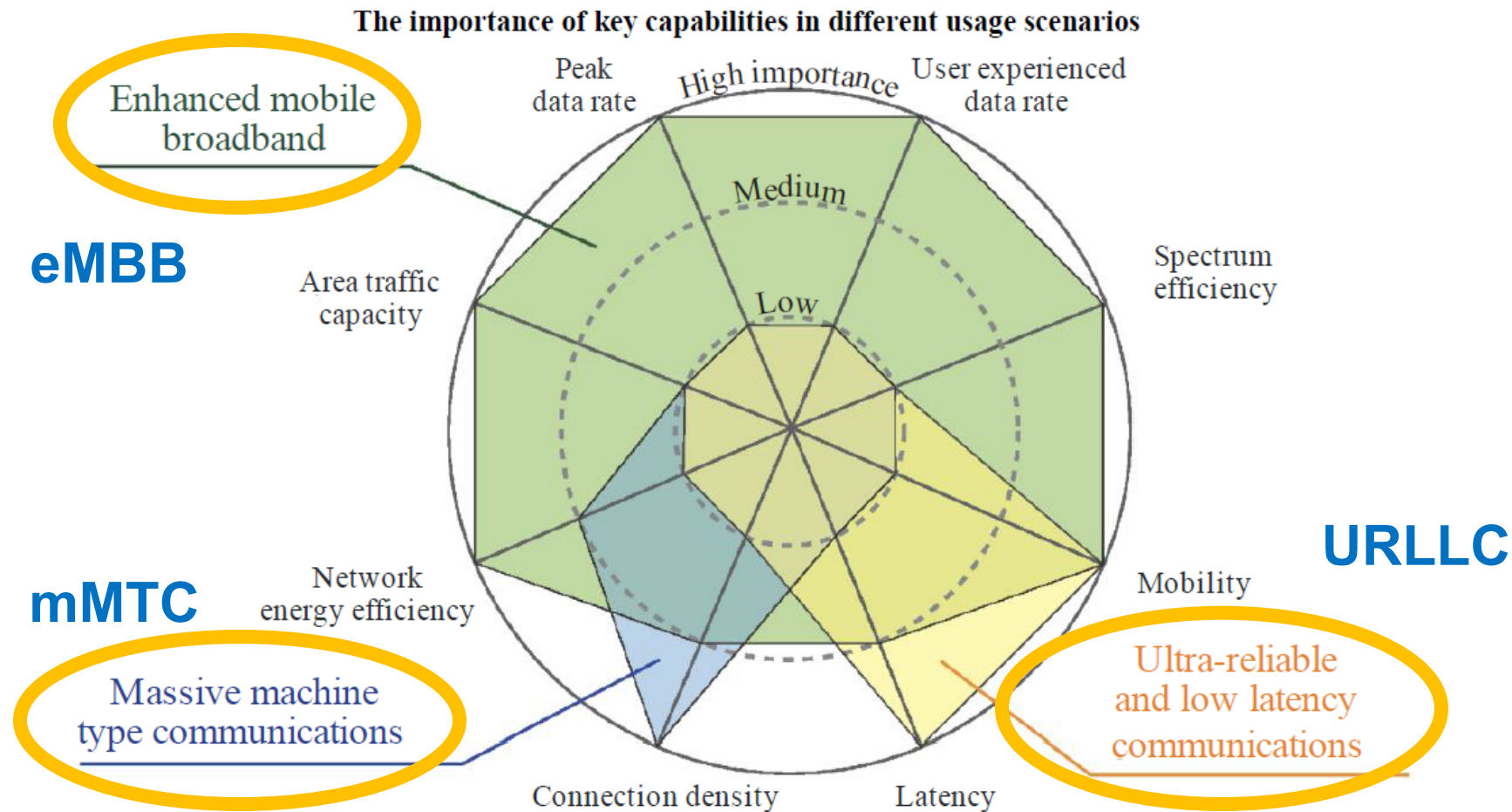


Abbildung Anforderungen auf die 3 Haupt-Dienste von 5G



M.2083-04

➤ Nicht alle Aspekte werden für alle Dienste gleichzeitig benötigt

Zusammenfassung – Zwischenstand

- Hinsichtlich der zu unterstützenden Dienste unterscheidet sich 5G deutlich von der vorangegangenen Generationen
- Datendienste mit (noch) höheren Datenraten (eMBB)
- Industriekommunikation (Ultra Reliable Low Latency Com.)
- Internet of Things (Massive Machine Type Communication)
- sehr unterschiedliche Anforderungen an die Technik
- sind gleichzeitig in einem physikalischen Netz für unterschiedliche Betreiber zu unterstützen (→ *Slicing*)

5G Anwendungsbeispiele

Olympische Winterspiele 2018 Pyeong-chang



5G Tablet
~3.2Gbps

5G Trial Services

Omni View



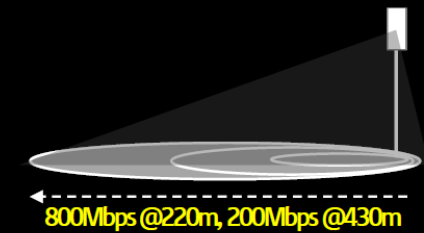
Sync View



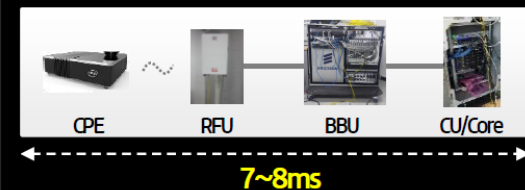
Interactive Time Slice



Coverage



E2E Round Trip Time



5G Mobile CPE
~900Mbps



5G Autonomous Car



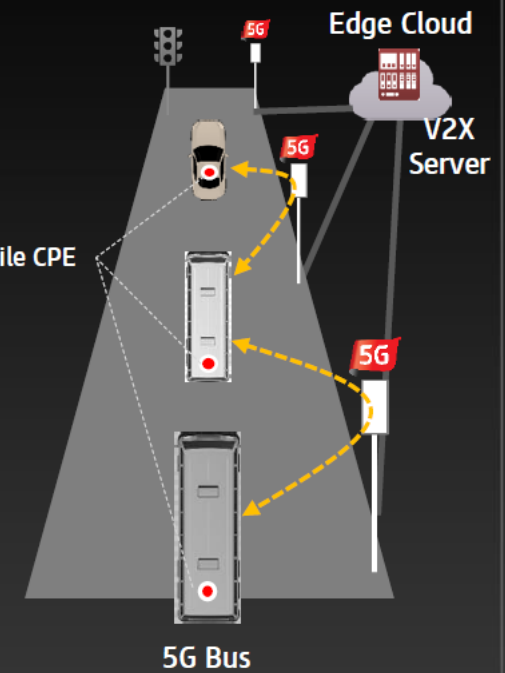
5G Drone



5G Pyeong-chang: 5G Autonome Busse

4. 5G Connected Car

Sharing All the Sensor Data of Autonomous Cars with 5G



- Self-driving Tech.
- Precise Positioning Tech.
- V2V Video Sharing
- Platooning (3 vehicles)
- 5G Massive Multi-channel Streaming
- Low Latency V2I

Weitere 5G Dienstbeispiele aus aktuellen Testfeldern

Speed of innovation with the wider ecosystem

The image contains three circular graphics, each representing a different 5G use case. Each graphic includes an icon at the top, a central image with text overlays, and logos at the bottom.

- 5G smart sea port:** Features an icon of a port with a crane and a ship. The central image shows a person's hand pointing at a large digital map on a screen, with a smaller inset showing 'Real-time video' of a port area. Logos for HPA (Hamburg Port Authority) and T-Mobile are at the bottom.
- 5G V2X connectivity:** Features an icon of a car and a truck. The central image shows the interior of a car with a steering wheel and a dashboard. Text overlays include 'Automated driving', 'HD maps', and 'Infotainment'. Logos for BMW GROUP, MINI, and Rolls-Royce Motor Cars Limited are at the bottom.
- 5G industrial automation:** Features an icon of a factory and a robotic arm. The central image shows a person's hands operating a tablet that displays a control interface for a robot. Text overlays include 'Ultra-reliable, low-latency connectivity'. Logos for Bosch and Nokia are at the bottom.

Traffic lights management, data processing from mobile sensors and virtual reality

Different automotive and public safety slices running over the same network

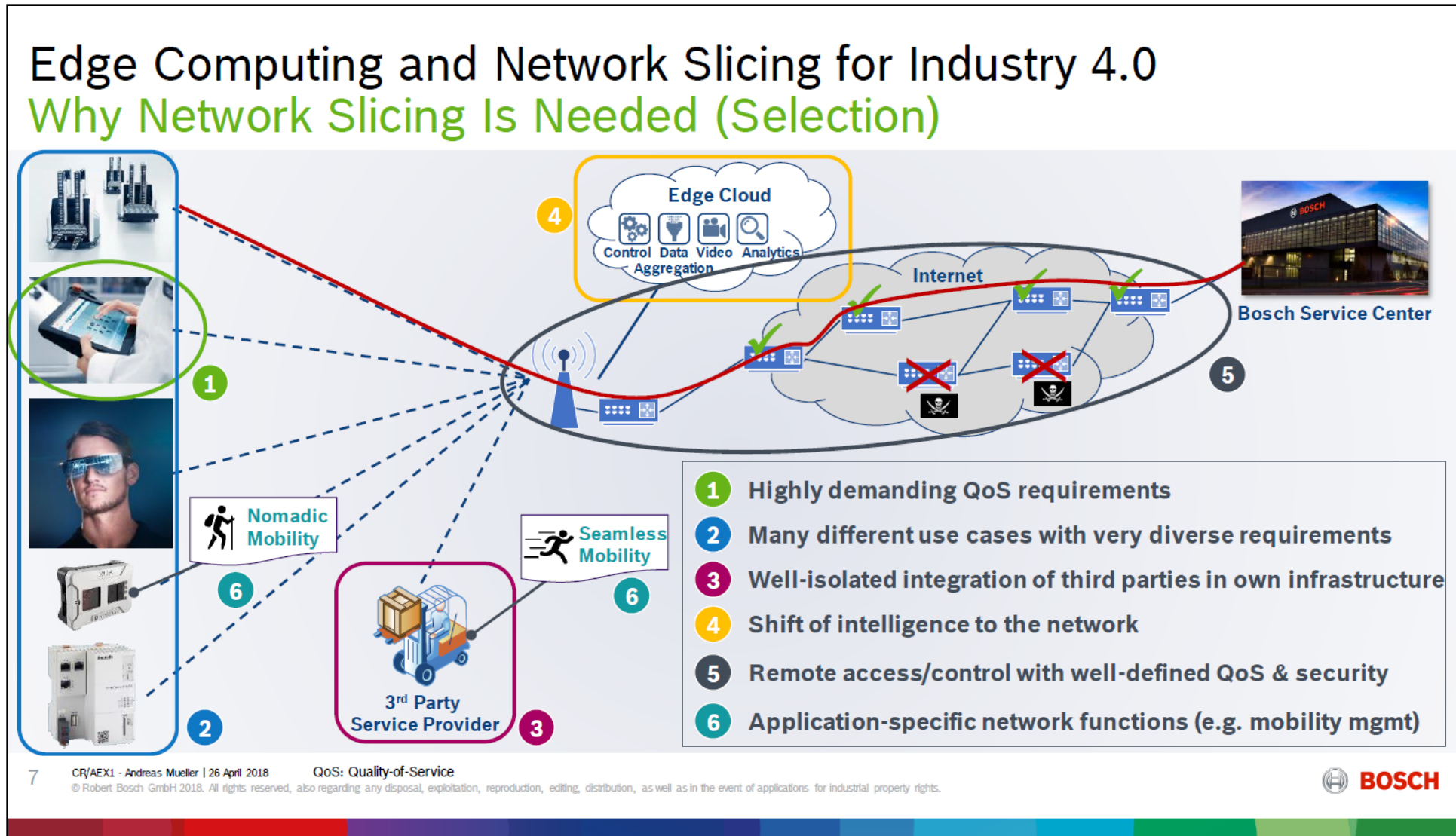
Coupling advanced interactive robots with wireless perimeter intrusion detection

5G und Industrie 4.0

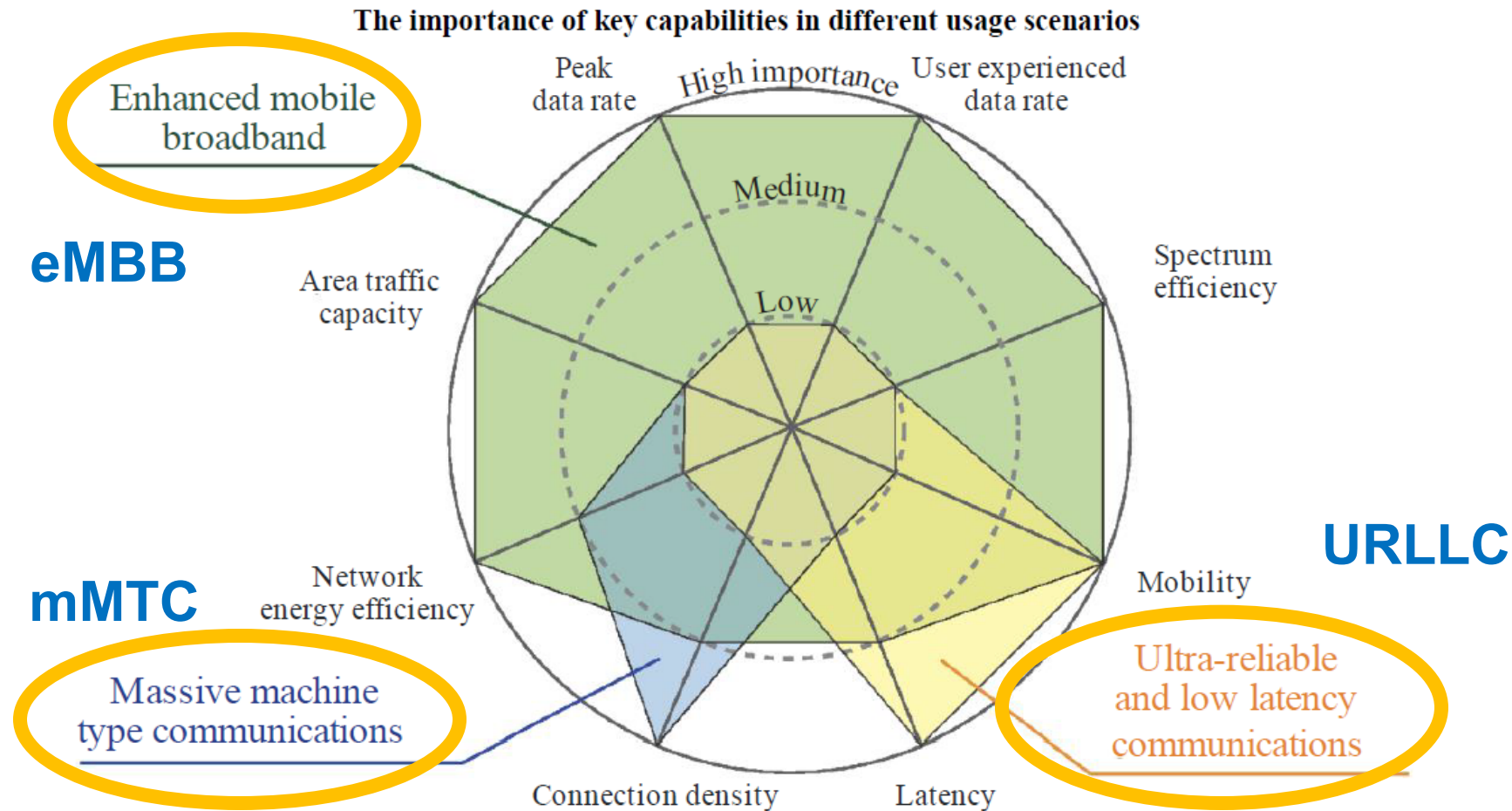
Edge Computing and Network Slicing for Industry 4.0 The Role of 5G for Industry 4.0



➤ **Industrie 4.0 als ein großer Treiber für 5G**

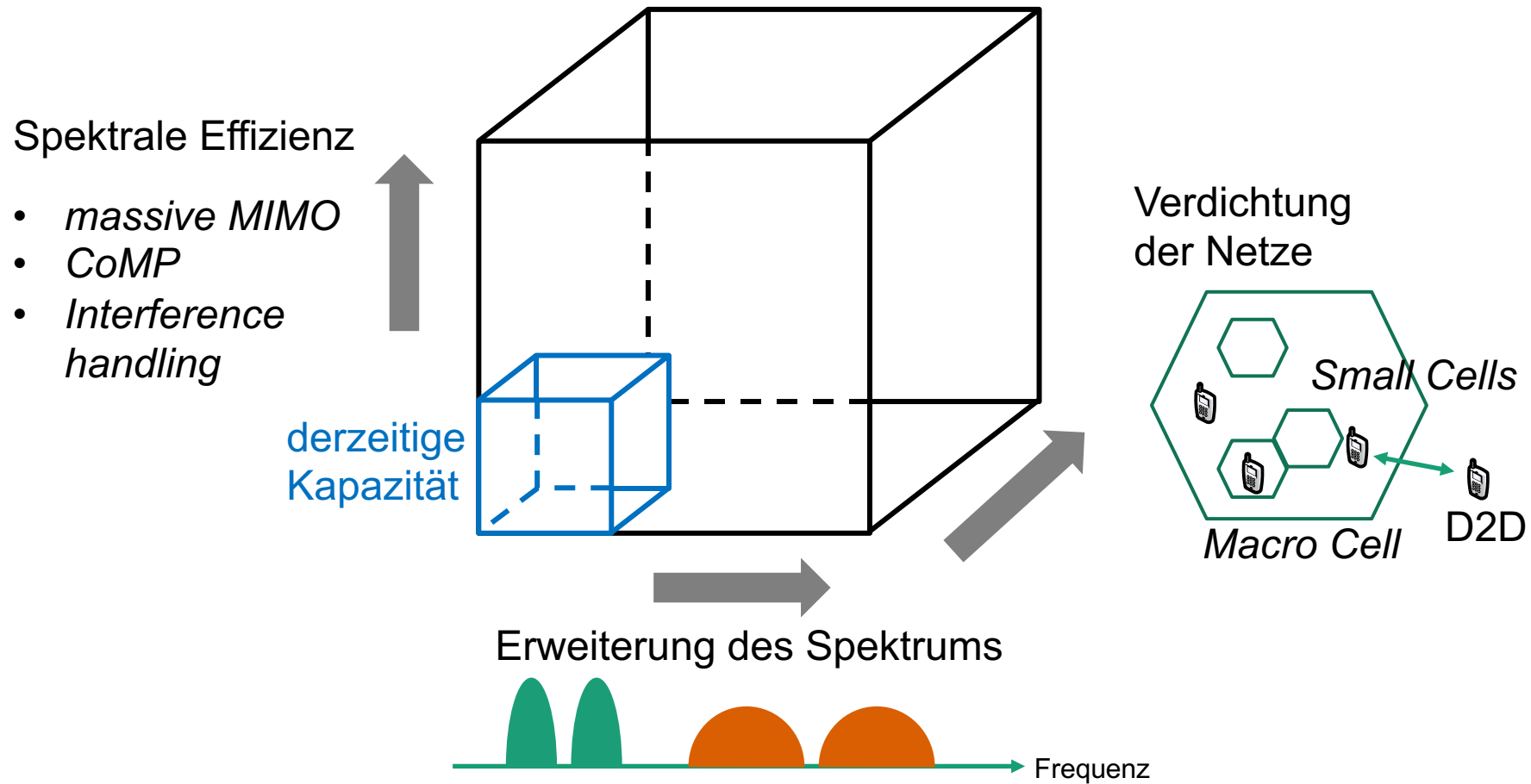


Zurück zu den 3 Haupt-Diensten von 5G



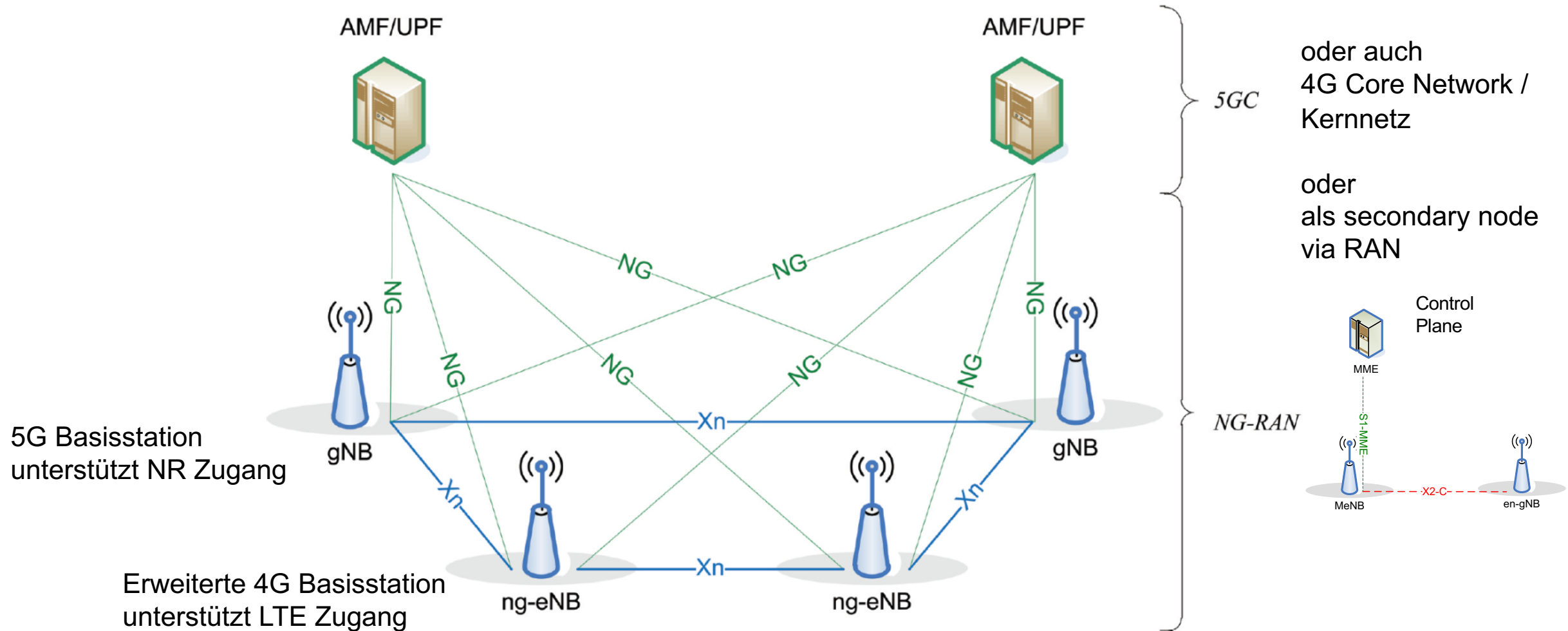
M.2083-04

Für 5G benötigte Leistungsfähigkeit: Funknetz (Radio Access Network, RAN)



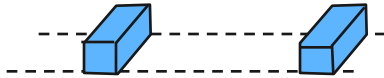
Mehr zu *New Radio (NR)* und *5G Radio Access Network (RAN)*

- New Radio (5G Funktechnologie)
- NG-RAN (New / Next Generation Radio Access Network)

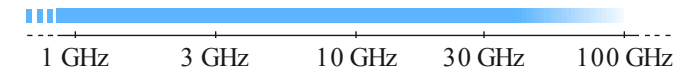


New Radio (NR) - Übersicht

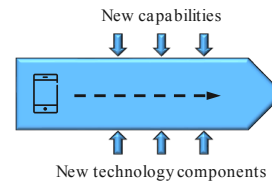
Ultra-lean



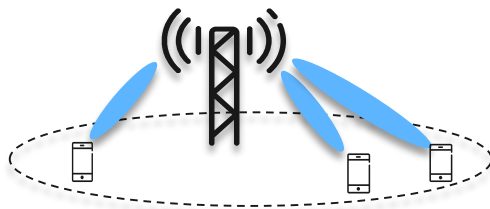
Wide spectrum range



Forward compatibility



Multi-antenna

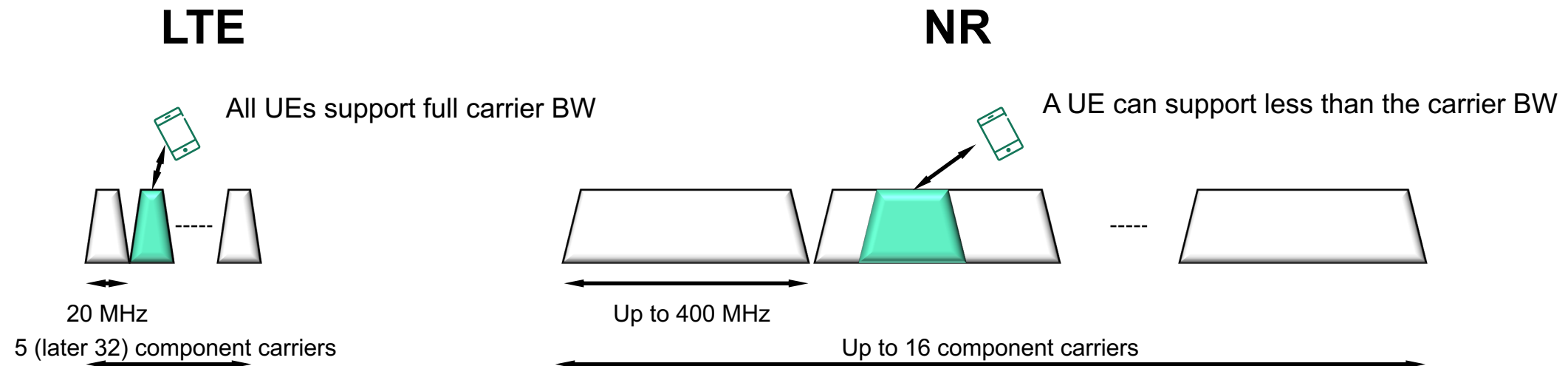


Low latency



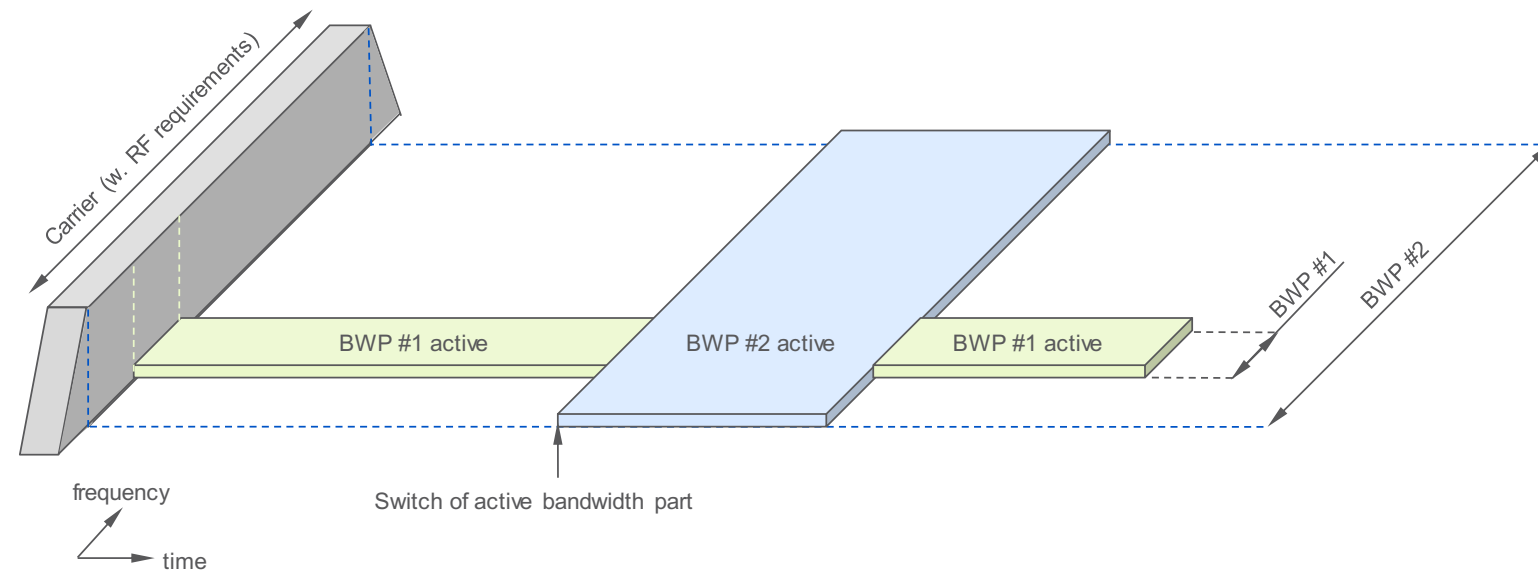
Bandbreiten

- Bis zu 400 MHz Component-Carrier Bandwidth (20 MHz bei LTE)
- Bis zu 16 Component Carriers
 - Gesamtbandbreite hängt vom Frequenzband ab
- Nicht alle Geräte müssen die volle Network Carrier Bandbreite unterstützen



Bandwidth Parts

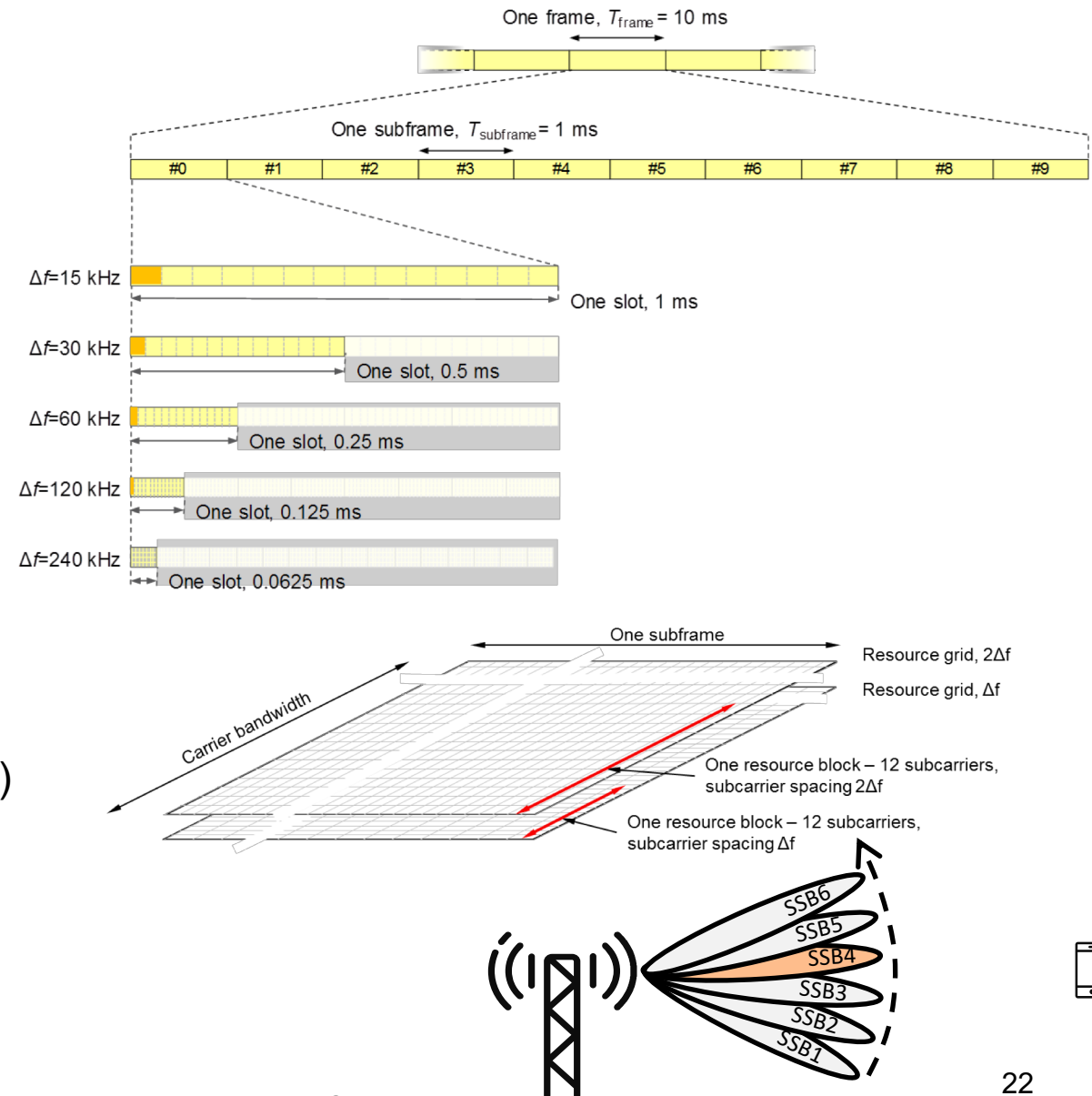
- Zur Unterstützung von UEs, die nicht die ganze Carrier Bandwidth unterstützen
- Zur Unterstützung von Bandbreitenanpassung (reduzierter UE Energieverbrauch)
- Bis zu 4 Bandwidth Parts per Carrier, von denen einer aktiv ist
- Ein UE darf nicht außerhalb des aktiven Bandwidth Parts senden oder empfangen
- Konfiguration eines Bandwidth Parts umfasst viele verschiedene Parameter



Weitere Neuerungen bei NR im Überblick

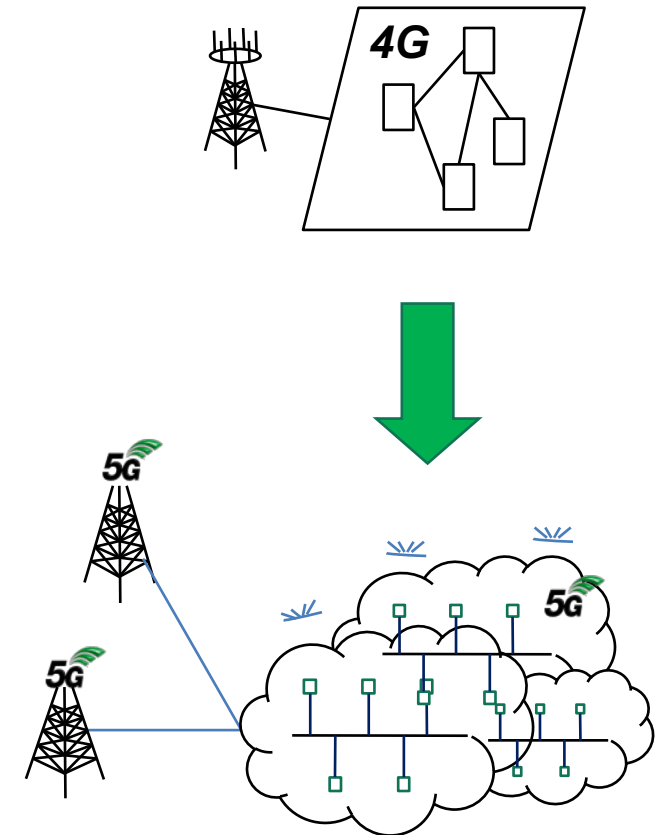
- Rahmenstruktur (15 kHz subframe = LTE)
 - kürzere Subframes unterstützt
- Senden nicht durch Slot-Grenzen beschränkt
- Resource Grid (ähnlich wie bei LTE, eine Grid per Numerologie (Slots))
- Carrier Aggregation (bis zu 16 Carrier)
- Reserved Resources; NR-LTE Coexistence
- Transportkanal Verarbeitung (ähnlich zu LTE)
 - LDPC coding
 - Multi-antenna handling
 - OFDM and DFTS-OFDM in UL
 - Hybrid ARQ (per CBG/code block group retransmission)
- Zell-Suche und Systeminformation
 - Beamforming!

→ ähnlich zu LTE, aber deutlich mehr Möglichkeiten

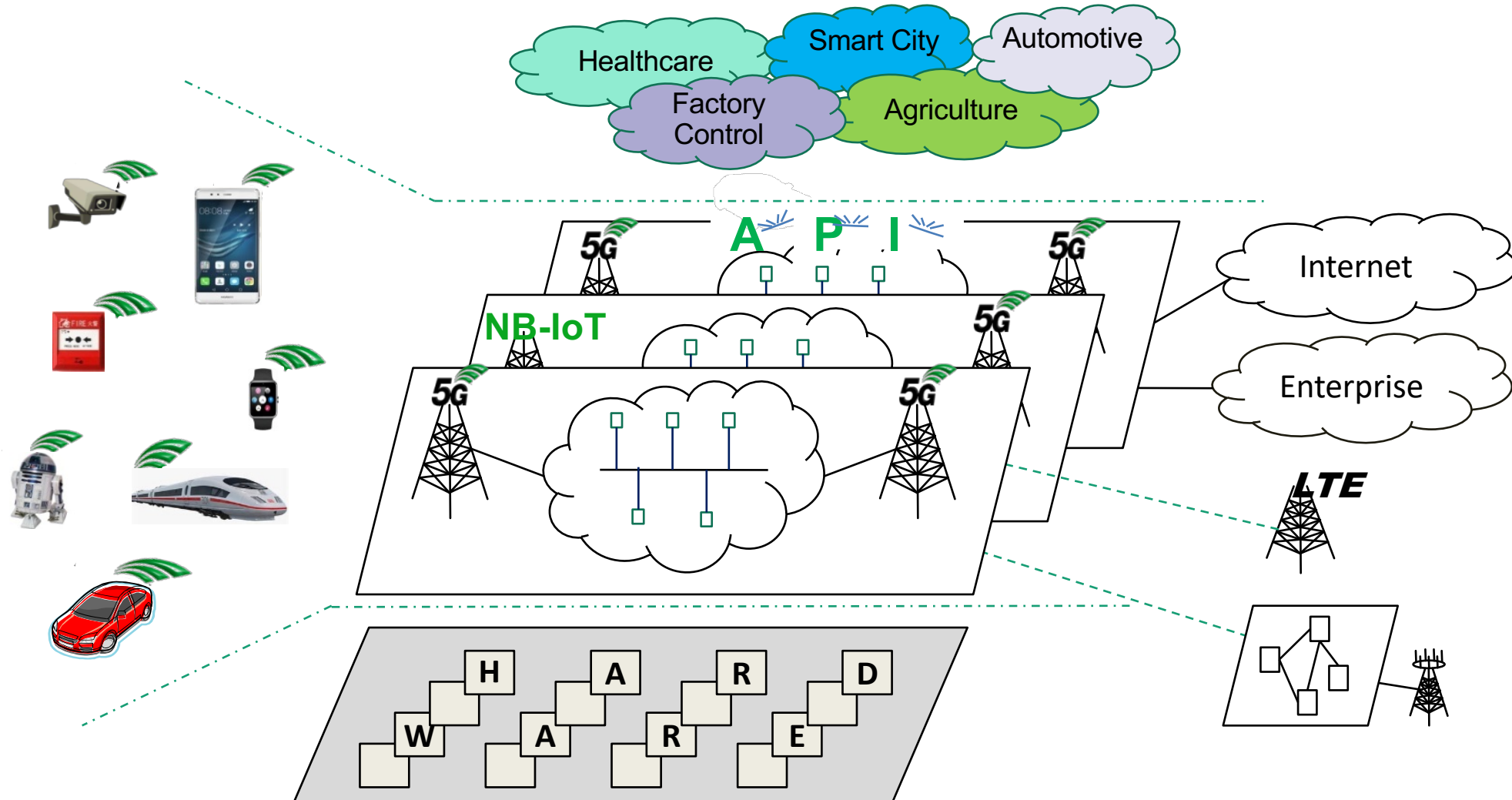


Für 5G benötigte Leistungsfähigkeit: Festnetz (Core Network, CN)

- Sogenannte „Software and service centric transformation“ (gilt teilw. auch fürs RAN)
- Ein Core Network für alles → Flexible Unterstützung
- Telecom Operator → Viele unterschiedliche Stakeholder
- Telefone → Dinge / Maschinen
- Prozeduren → Dienste
- Statische Topologie → On-demand Ressourcen
- Dedizierte Hardware → Orchestrierte Ressourcen
 - Netzfunktionen → Virtualisierung
 - Ein einziges Netz → Viele Slices



5G Dienstsysteem Perspektive

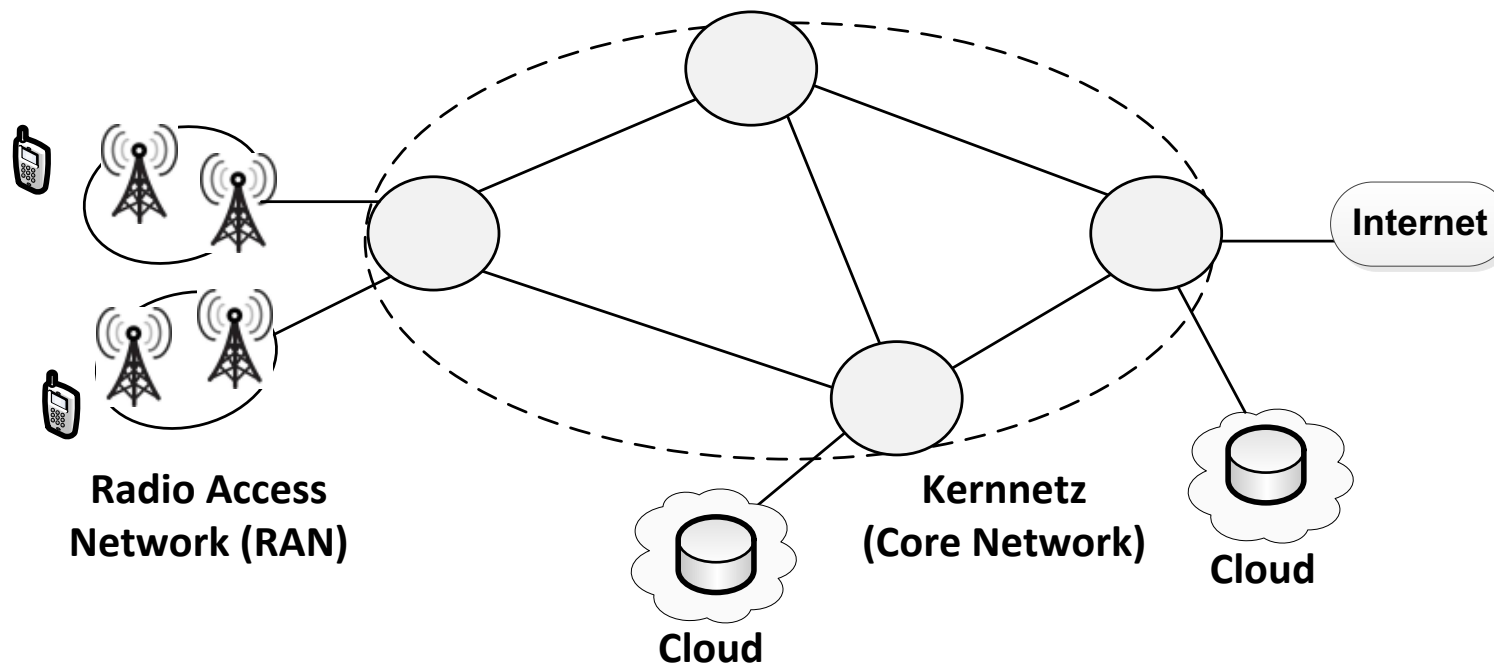


5G *Core Network* Technologien

- Orchestrierung und Virtualisierung – Entkopplung der logischen Funktionen von der Hardware
- Slicing – logische Ende-zu-Ende Netze massgeschneidert auf den Kunden
- Edge Computing – Ressourcen dort, wo sie benötigt werden

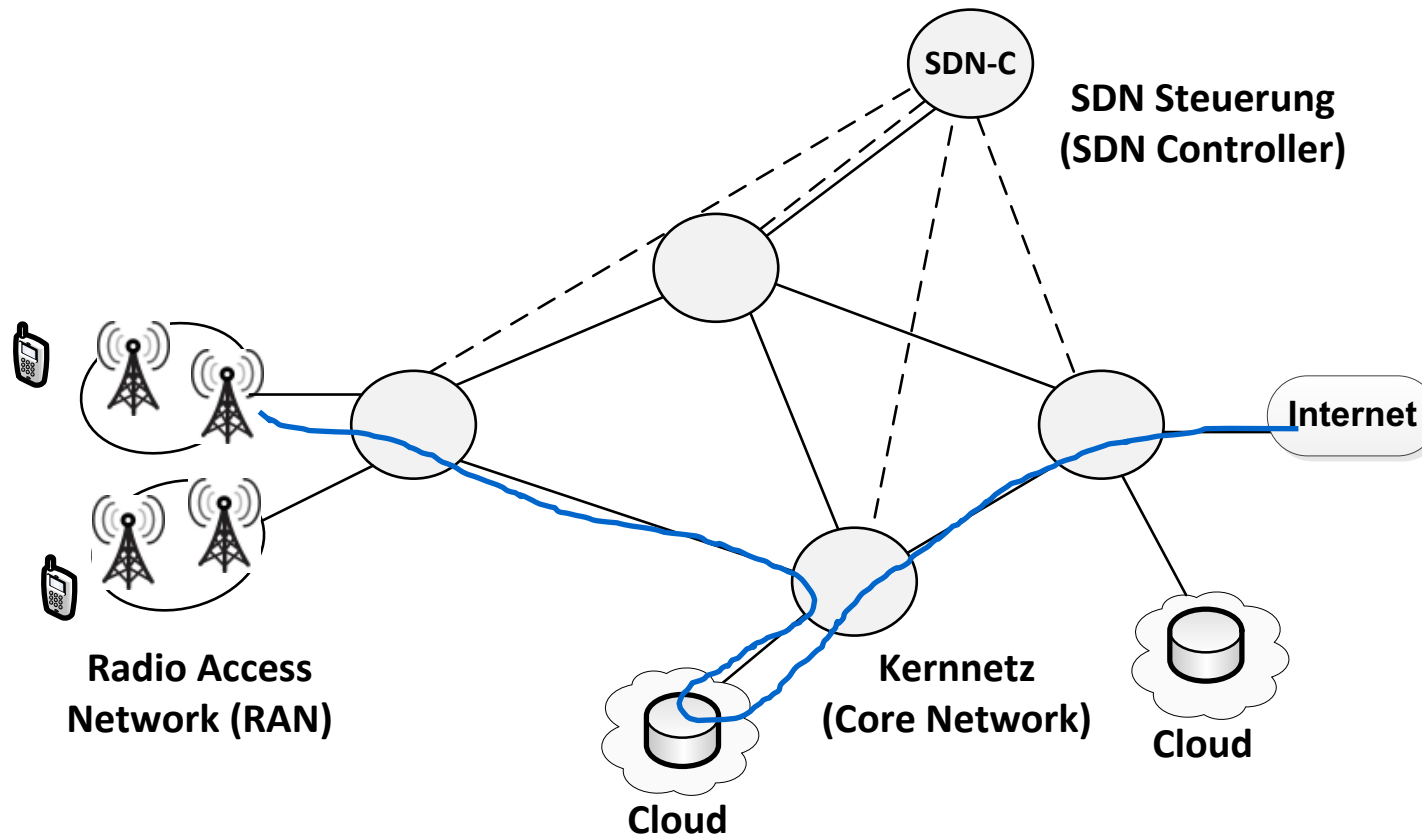
Kurzeinführung in 5G Konzepte (*Core* und *Radio Network*) für Flexibilität

Sogenannte *Softwarization of Networks*



- Software Defined Networking (SDN)
- Network Function Virtualization (NFV)
- Edge Clouds
- Netzvirtualisierung
- Cloud Radio Access Network (Cloud-RAN)

Software Defined Networking (SDN) Konzept



- Trennung der Steuerungsebene von der Weiterleitungsebene
- (quasi) zentrale Steuerung
- Flexible Allokation und Steuerung von Kommunikationsflüssen zwischen Netzfunktionen, Clouds, etc.

Network Function Virtualization Konzept

- Netzfunktionen (bisher auf dedizierter Hardware) werden in die Cloud ausgelagert
- Virtual Network Functions (VNF): Firewall, DNS, caching, NAT, Gateway, ...
- Kosteneinsparung durch Virtualisierung (Skalierung)
- Flexible Zuordnung

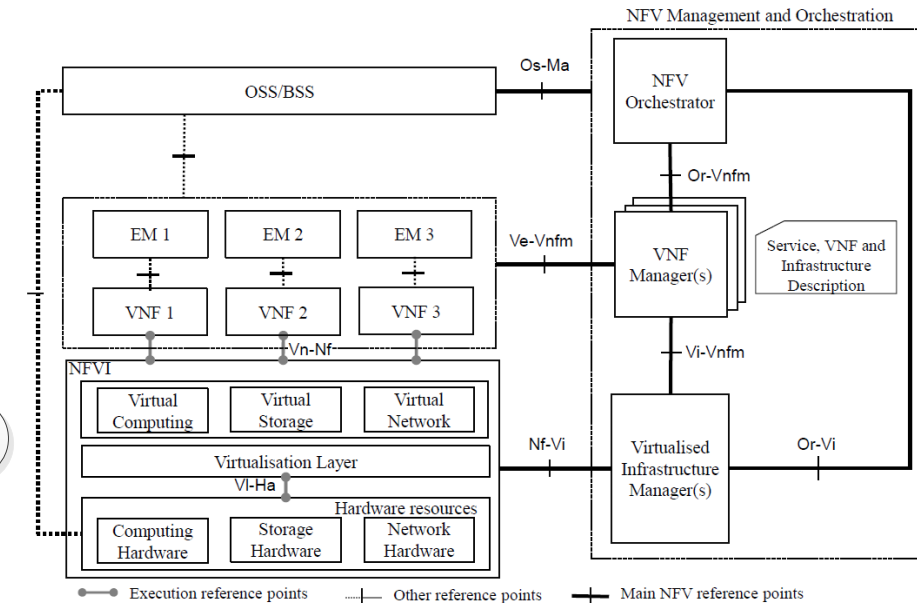
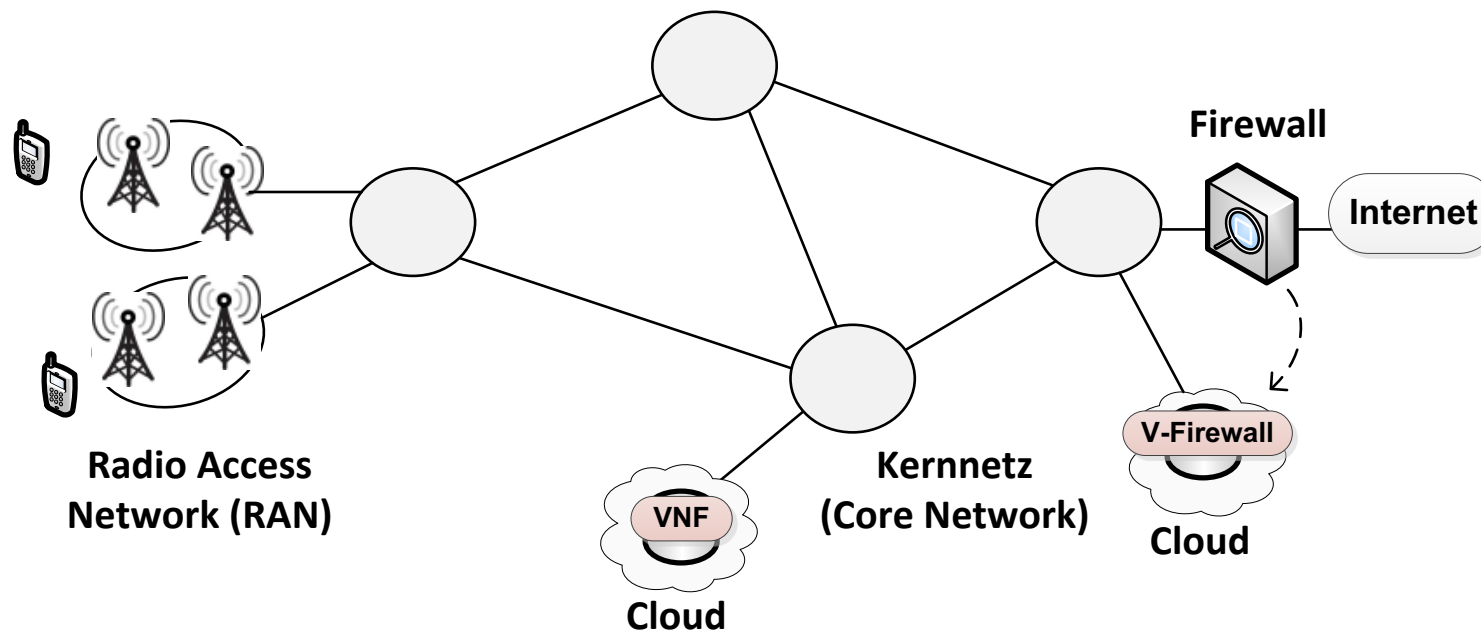
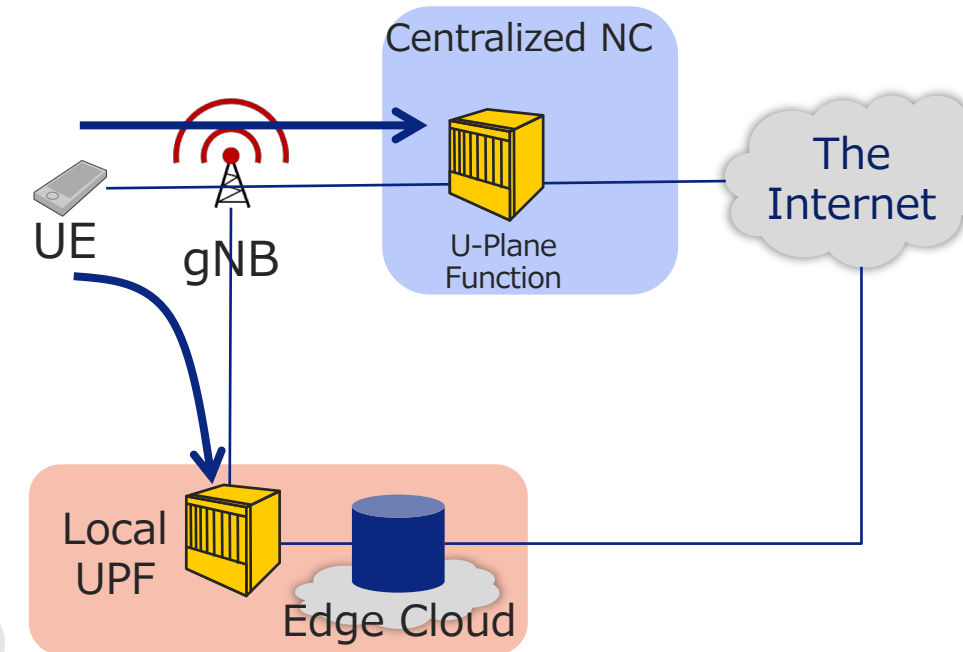
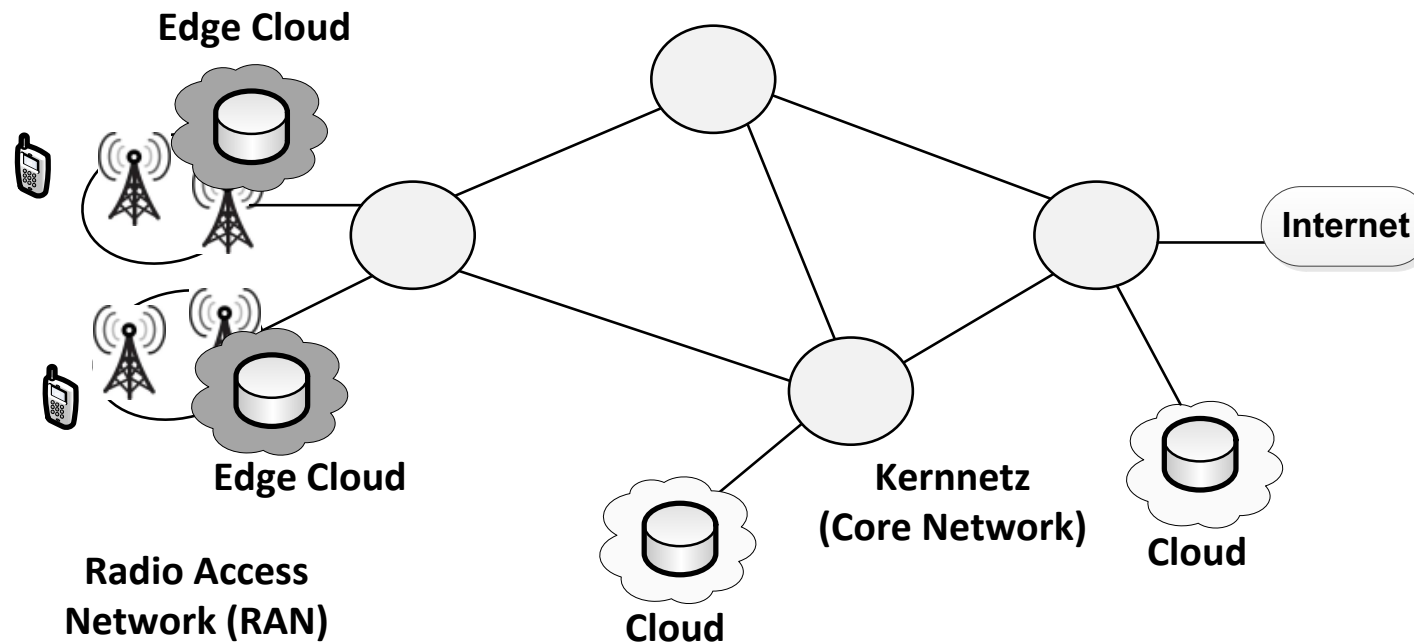


Figure 4: NFV reference architectural framework

Quelle: Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework, ETSI GS NFV 002 V1.2.1 (2014-12)

Edge Clouds

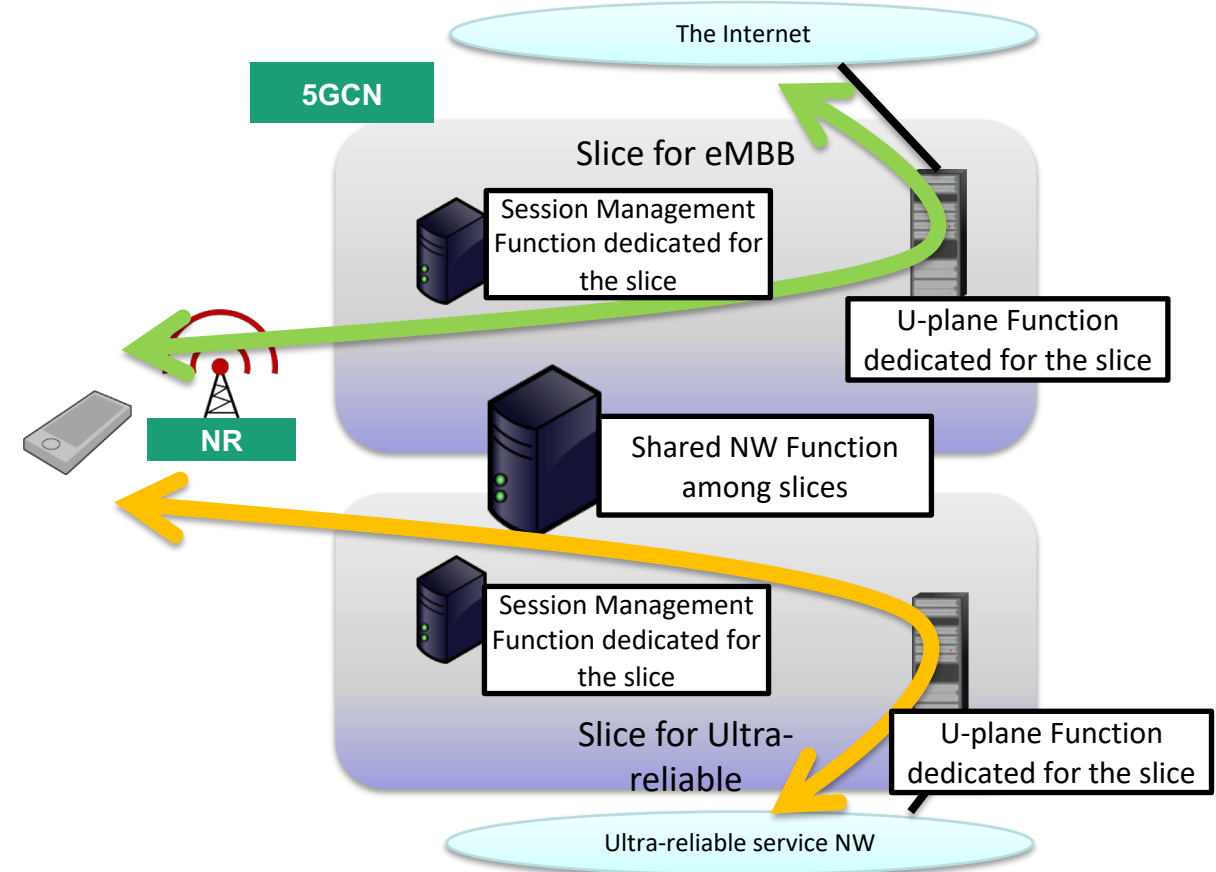
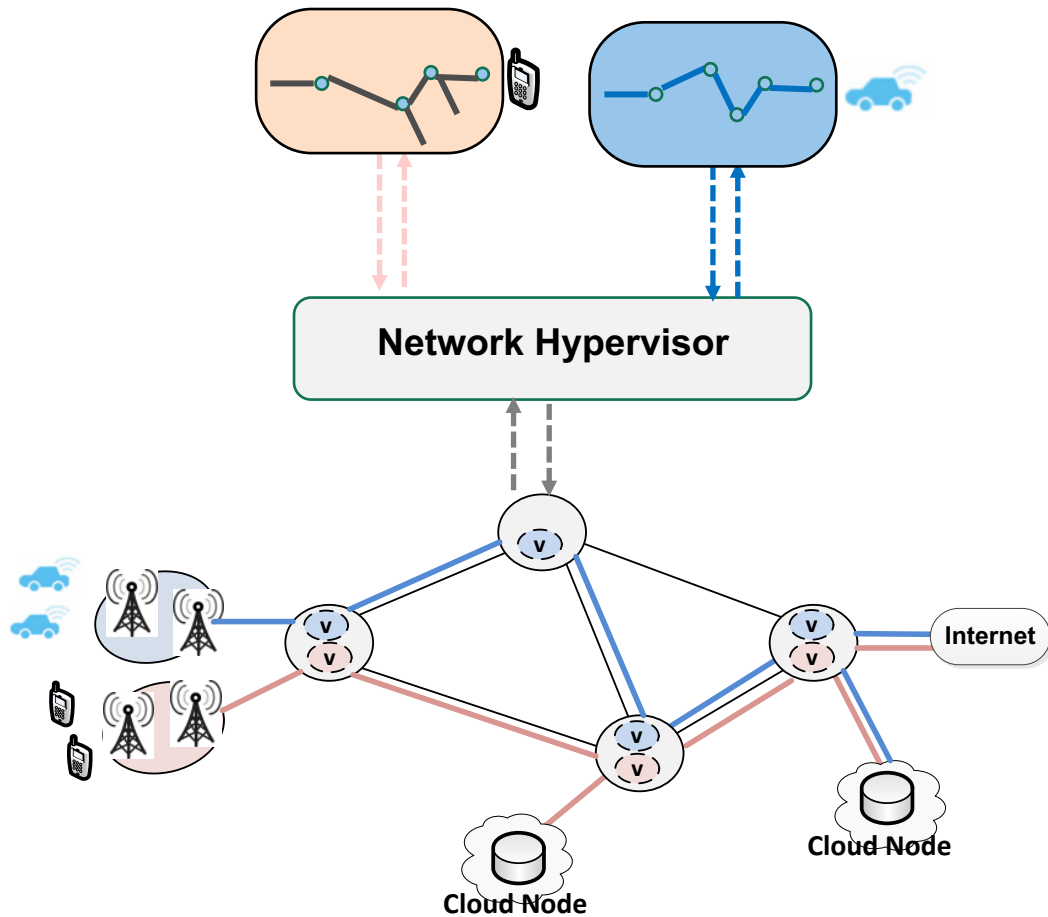
- Flexible Platzierung von Funktionen im Netz
nahe an den Endgeräten, z.B. an der Basisstation
- Kürzere Verzögerungen
- Spezielle lokale Dienste: Steuerung, Datenanalyse, Datenverarbeitung (z.B. Video)



Quelle: Eric Guttman (3GPP): System and Core Network Aspects, Workshop on 3GPP submission towards IMT-2020, Brussels, Oct. 24-25, 2018.

Netzvirtualisierung: 5G Network Slicing

- Virtuelle, logische Netze im selben physikalischen Netz
- Unterschiedliche Betreiber

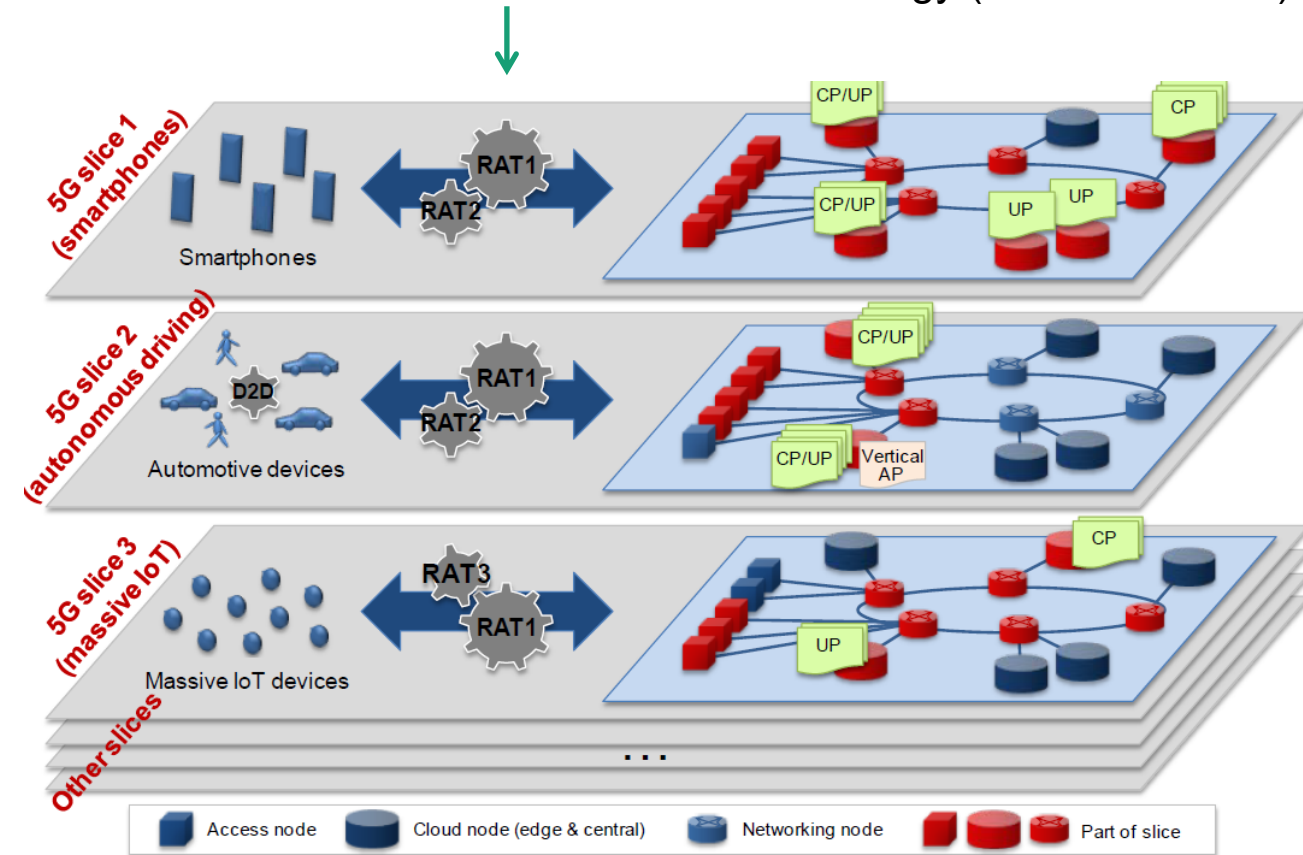
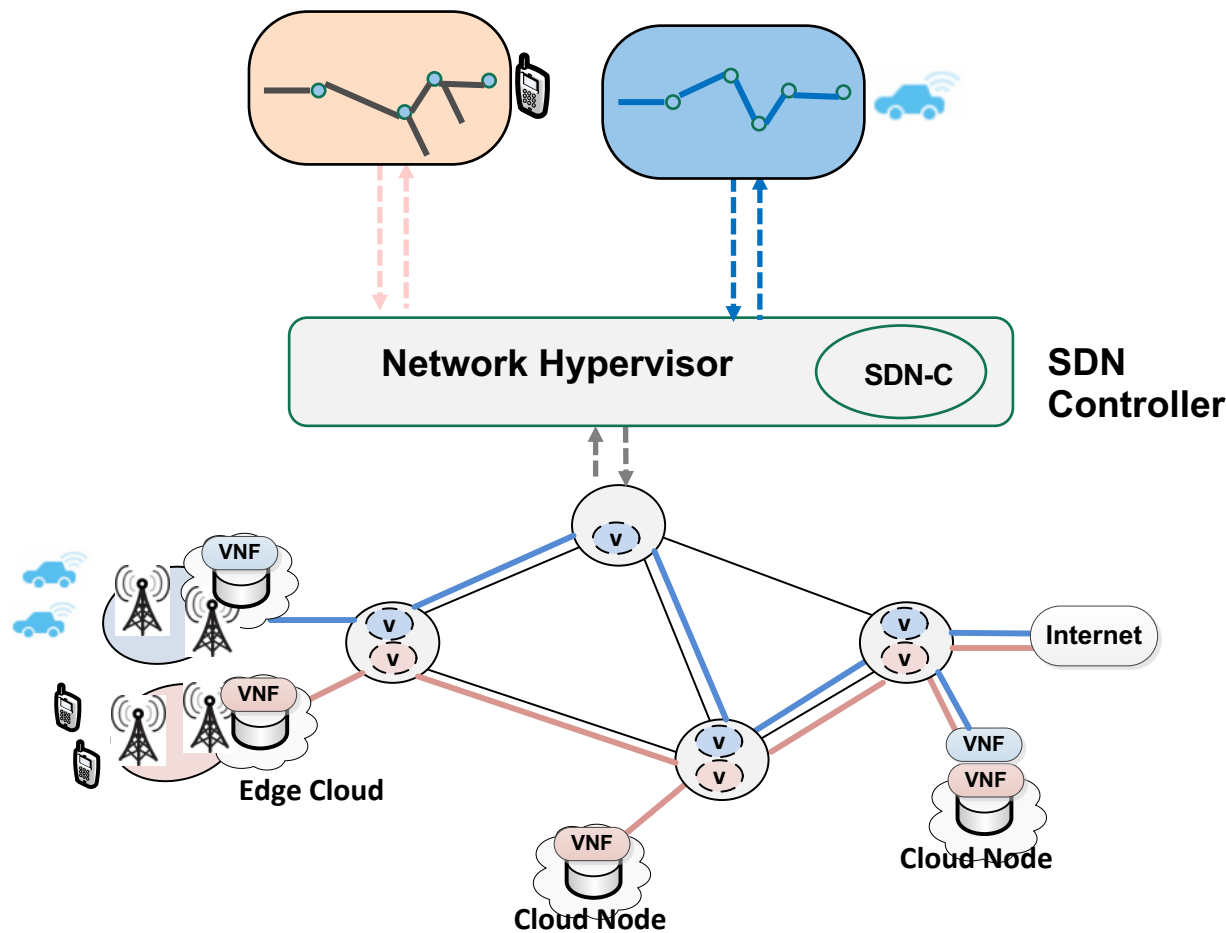


Quelle: Eric Guttman (3GPP): System and Core Network Aspects, Workshop on 3GPP submission towards IMT-2020, Brussels, Oct. 24-25, 2018.

Kombinierte Konzepte für 5G

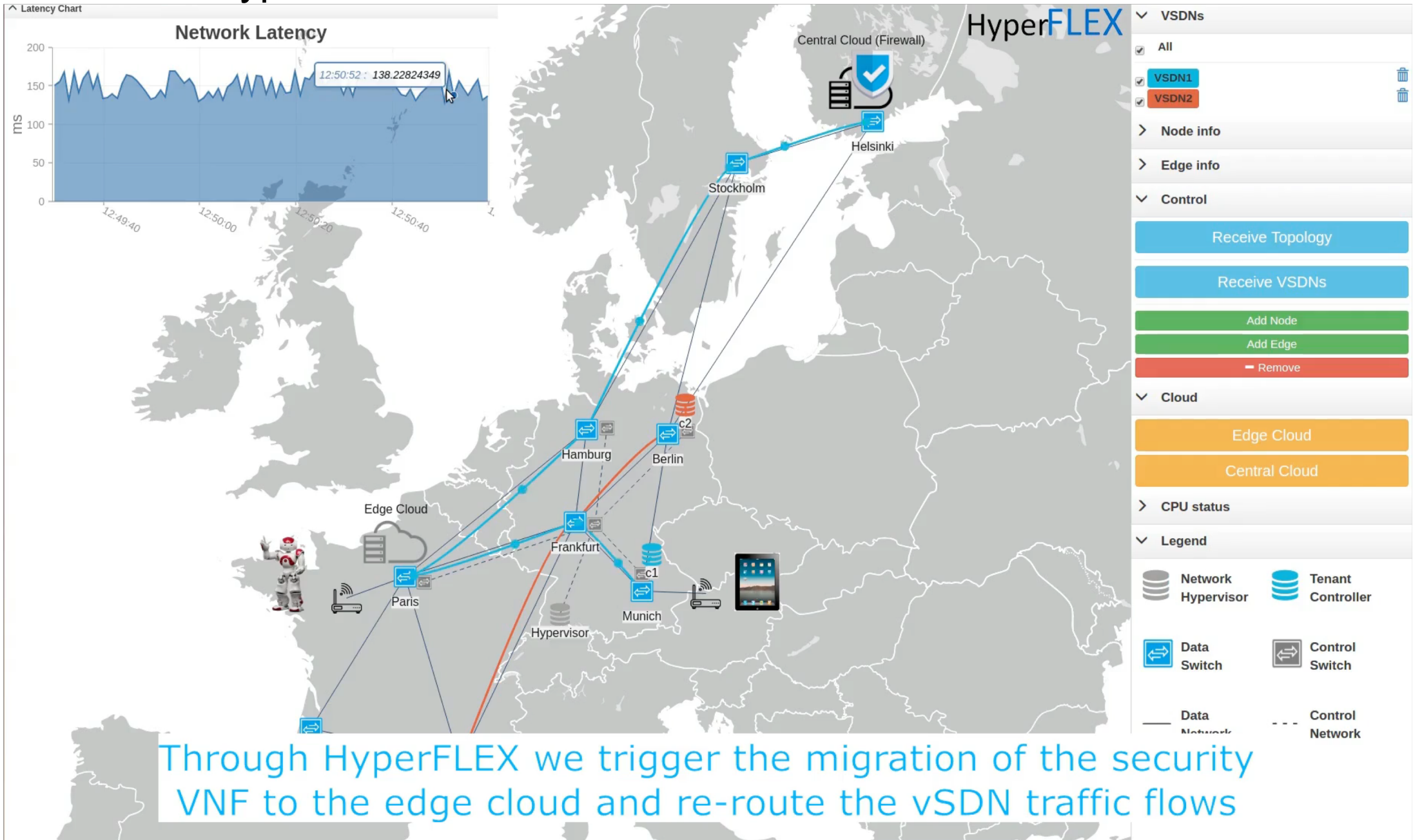
- Schematisches 5G Netz mit den Technologien SDN, NFV, Edge Cloud und Netzvirtualisierung

RAT: Radio Access Technology (Luftschnittstelle)



Quelle: 5G Initiative Team, NGMN 5G White Paper, 2015, <https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN-5G-White-Paper-V1-0.pdf>

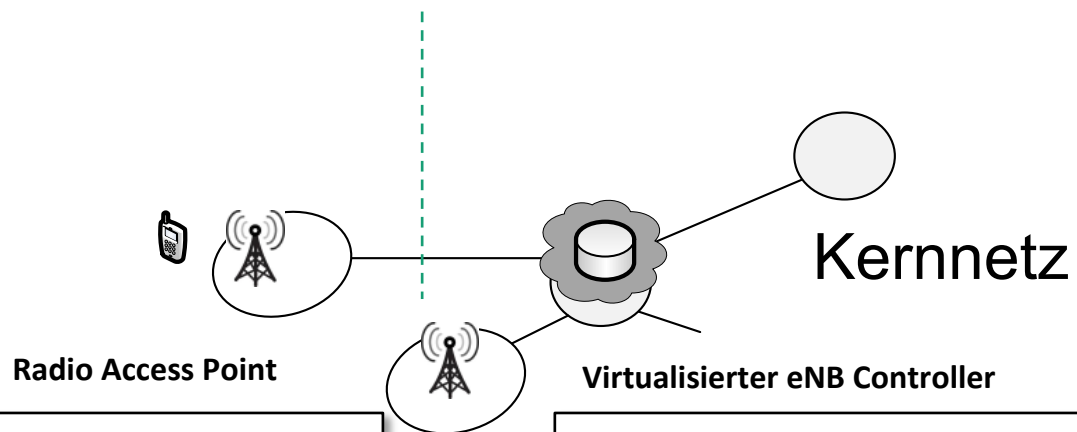
Demovideo HyperFlex



CloudRAN Konzept

- Radio Access Network:
Funktionenaufteilung bei CloudRAN

Trennung der Funktionen

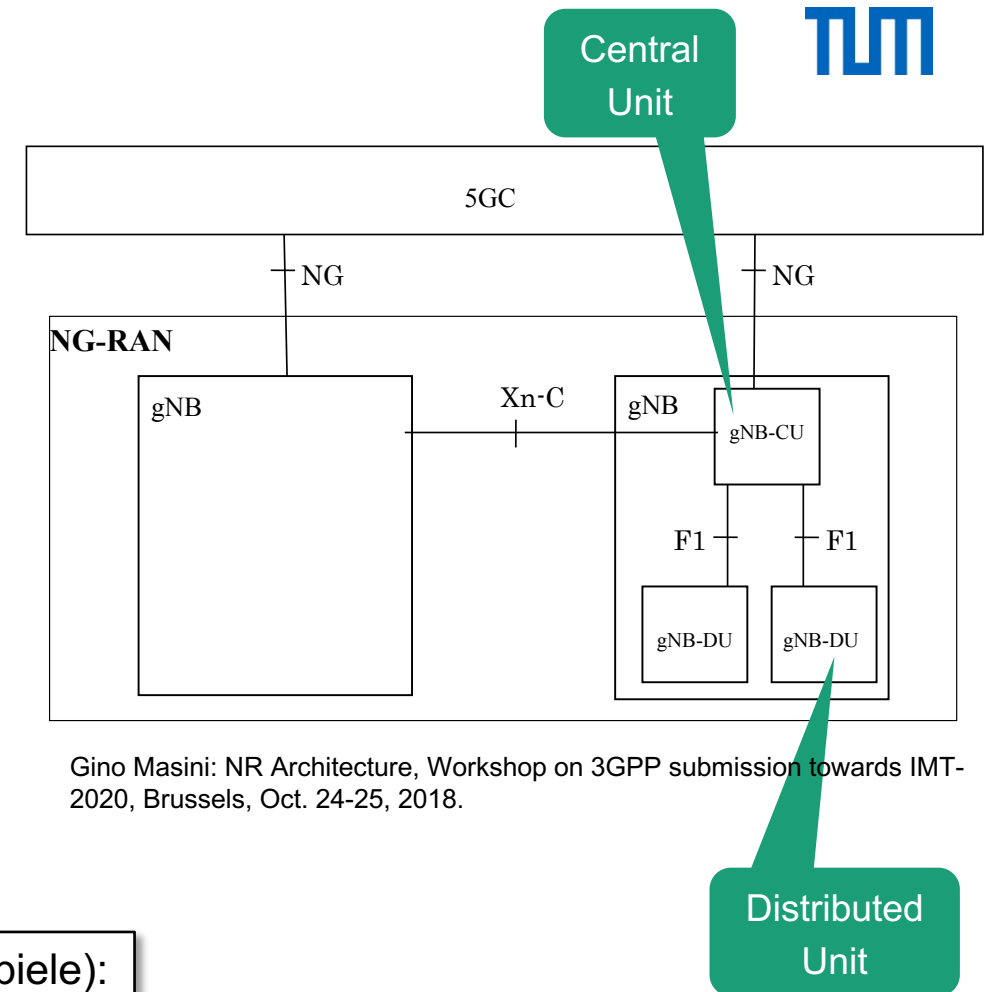


Lokale Funktionen (Beispiele):

- *Radio Frequency processing*
- *A/D Conversion*
- *Lower Physical Layer (incl. detector)*

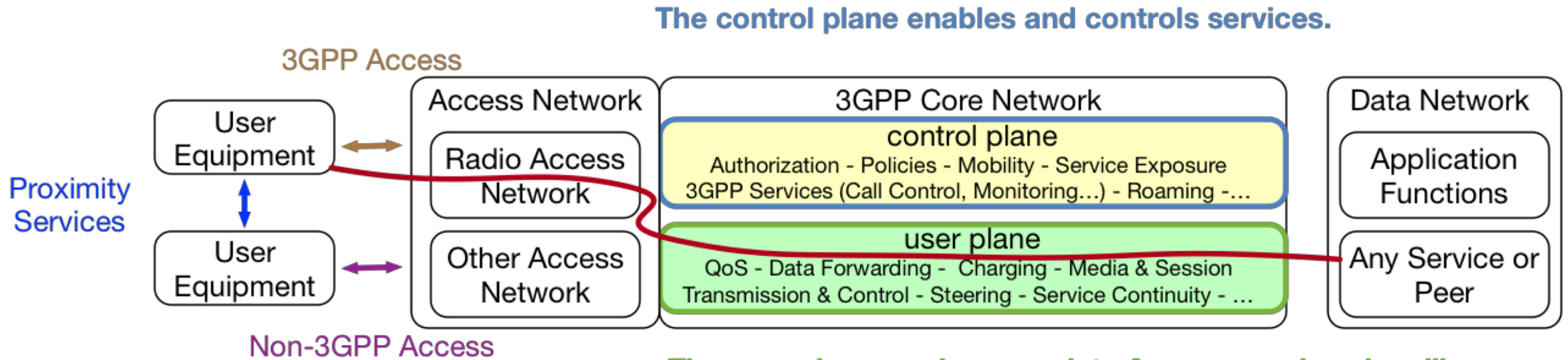
Funktionen in der Cloud (Beispiele):

- *RLC Layer*
- *MAC Layer (Multiplexing, HARQ)*
- *Upper Physical Layer (incl. FEC)*



Gino Masini: NR Architecture, Workshop on 3GPP submission towards IMT-2020, Brussels, Oct. 24-25, 2018.

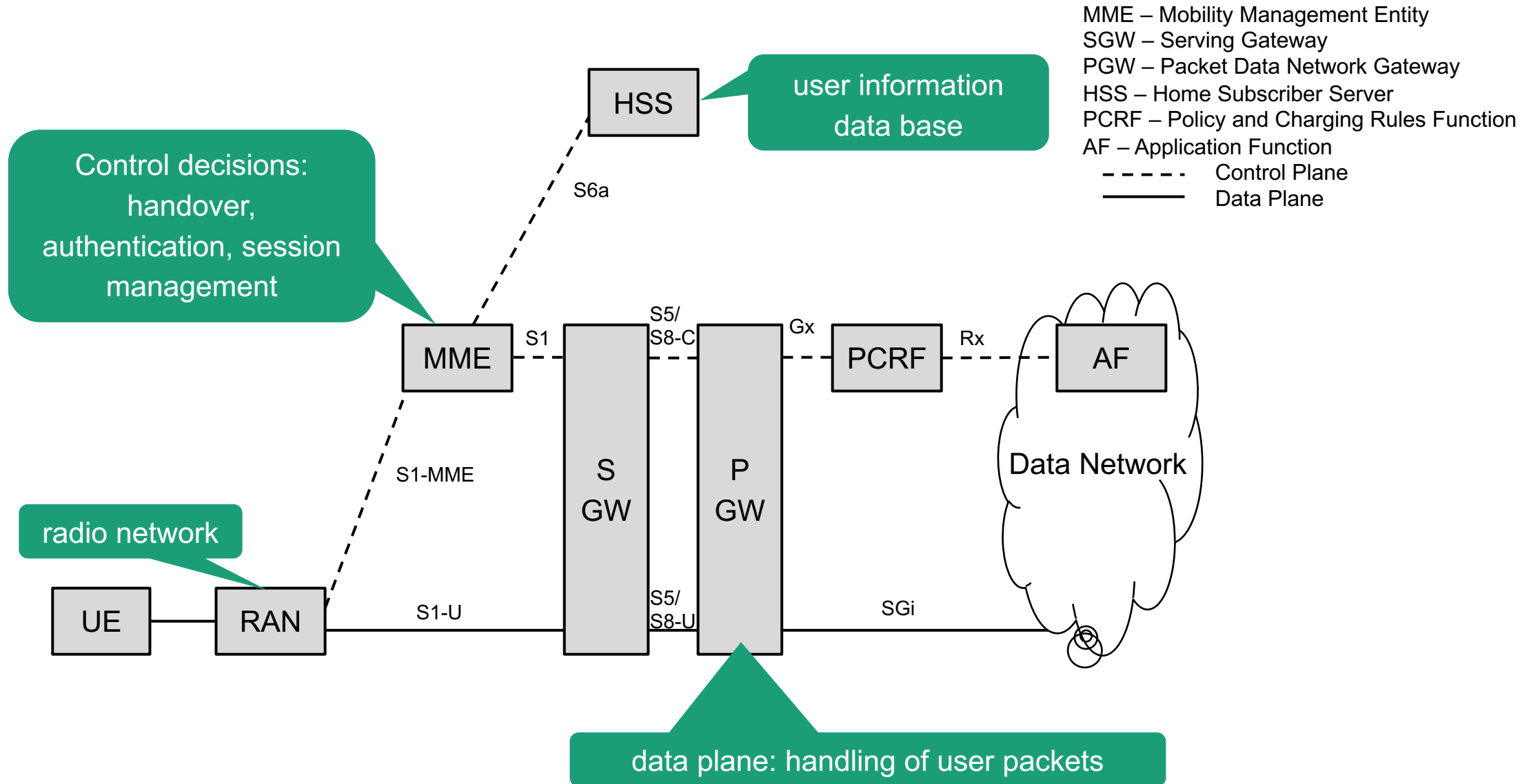
Wie sieht die 5G Architektur im Detail aus?



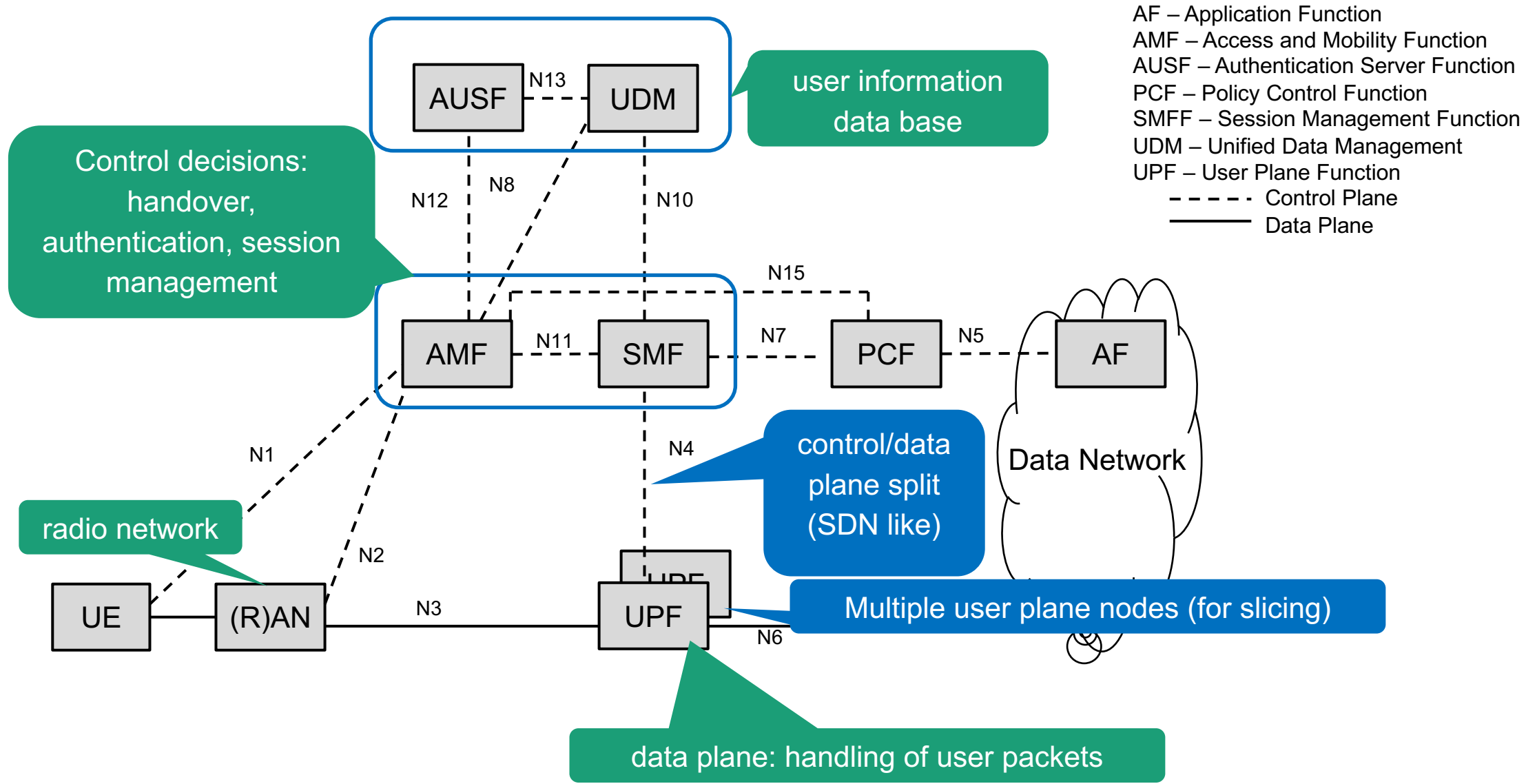
The user plane carries user data & some service signalling.

Many services are delivered 'end to end' via the user plane.

4G Architektur: Evolved Packet Core (EPC)



5G Architektur



Wie werden die 3 Haupt-Dienste von den Architekturkonzepten unterstützt?

Enhanced Mobile BroadBand

- Enhancements of the user plane
 - **Small / infrequent data communication**, high latency communication, power savings mode...
 - Exposure Functions, APIs, Common API Framework – to enable external interworking with 3GPP.
- Support for diverse deployments, improved coverage
 - Control and operation support **small cell deployments**
 - New 3GPP accesses: wire line-wireless convergence, satellite access
- **Improved QoS model**: Packet flows & related policies
- Radio aspects

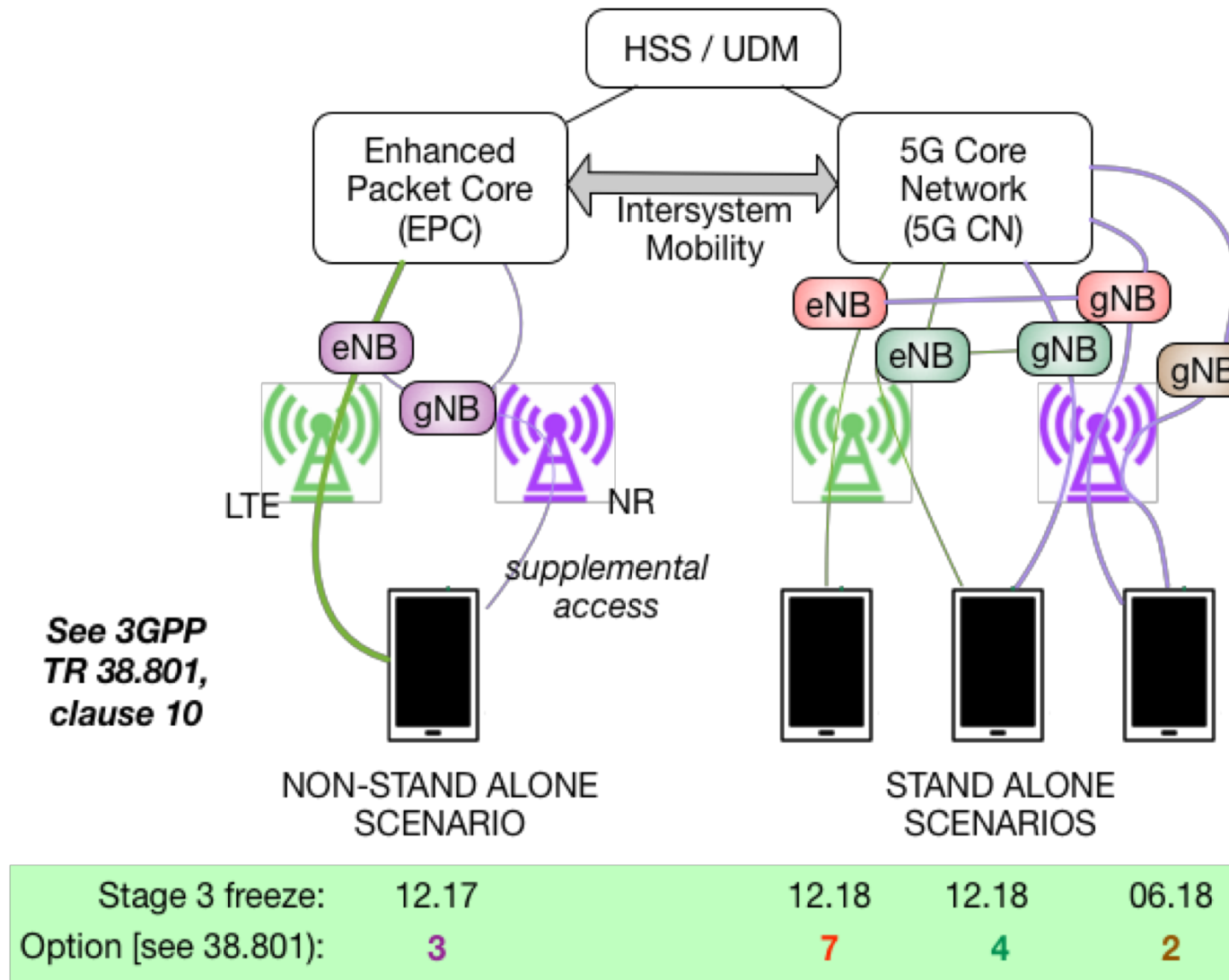
Massive Internet of Things

- Network virtualization and Orchestration
 - Network automation enables MNO to provide NW services much faster than existing system ->TTM for customers
 - **NFV** enables OPEX reduction by network automation
->Enables automated service with selected NW functions based on SLA (with **NW slicing**)
- Radio aspects

Ultra Reliable Low Latency Communication

- **Network slicing**
 - Resource isolation from other service -> No service impact caused by other slices failure
 - **Customized NW functions** and/or capacities to ensure SLA
- **Edge Computing**
 - Applications can be hosted at “Edge-side” -> Low Latency compared with centralized
- Radio aspects

5G Deployment



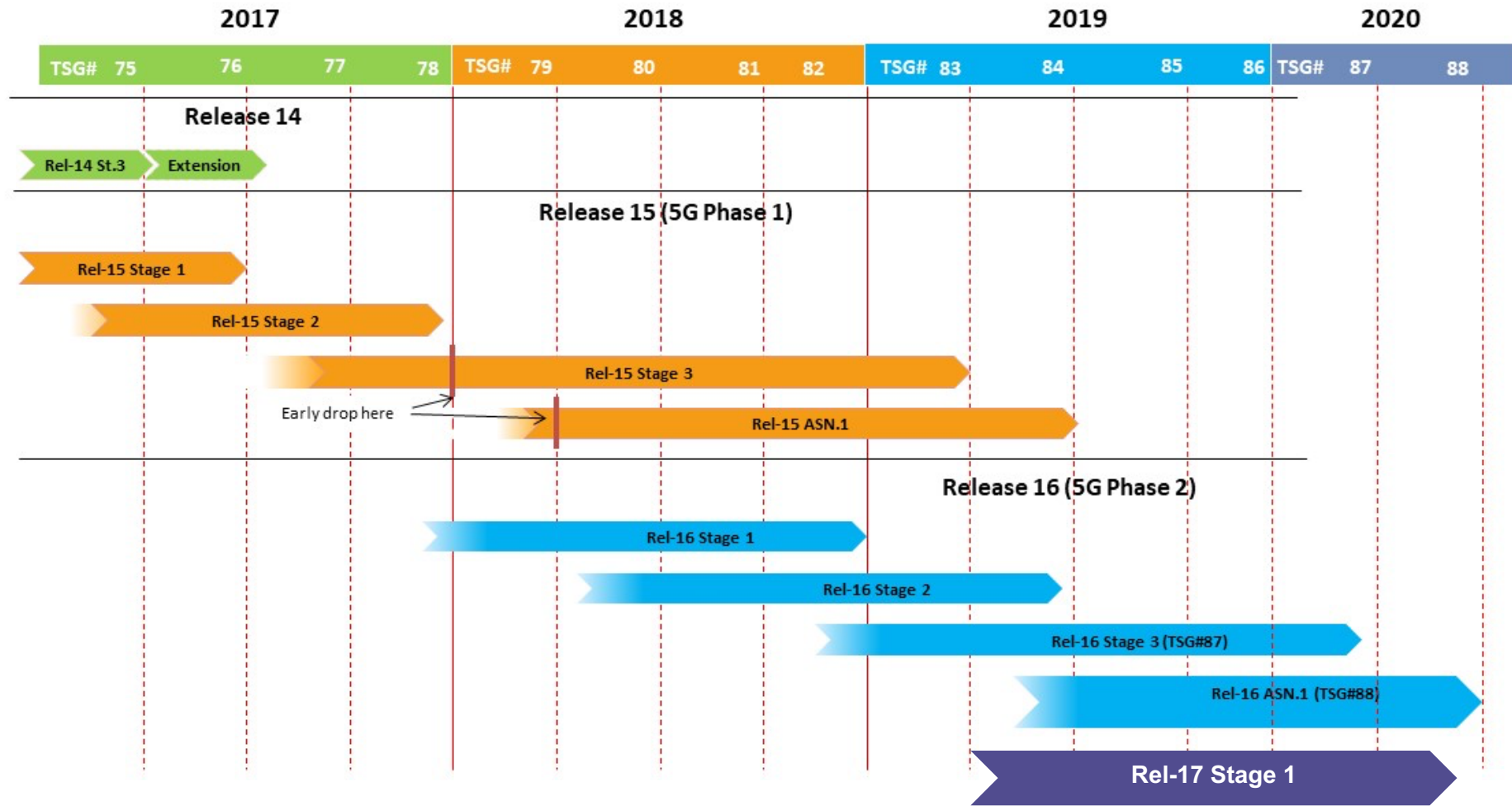
Private 5G

- 3GPP Standardisierung für „Non-Public Networks“
- Identifikation von Privaten Netzen: Private Network ID
- Zugangsbeschränkung zu privaten Netzen
 - „Closed acces groups“
- Zusammenarbeit zwischen privaten und öffentlichen Netzen: Roaming, Service Continuity
- Realisierungsoptionen (Beispiele):
 - Komplette Trennung vom öffentlichen 5G Netz
 - Multi-Operator Radio Access Network (MORAN) (geteilte Basisstation getrenntes Spektrum/Kernnetz)
 - Multi-Operator Core Network (MOCN) (geteiltes Spektrum/Basistation, gentrennte Kernnetze)
 - Via Public Network Operator mittels Network Slicing



- Spektrumsvergabe für lokale Netze:

5G Standardisierung



Neu in Release 16 und 17

- Rel-15: 5G Basissystem, Fokus auf eMBB
- Rel-16 zusätzlich 5G Vertical support
 - Vehicle Communication, Mission Critical Communications, Industrial Automation and Verticals, Audio Visual Production,
- Rel-16 Systemerweiterungen für mMTC und URLLC (ongoing)
 - 5G LAN, High Precision Positioning, Cellular IoT for 5G, URLLC capabilities, Fixed and Satellite as 3GPP accesses, ONAP interworking, QoS Monitoring, Network Automation, protocol and core network improvements...
- Rel-17 – noch mehr Verticals und Dienstbausteine (Start im Januar 2019)
 - Logistik, eHealth, unmanned aerial vehicles (UAV), ...

Zusammenfassung

- Hinsichtlich der zu unterstützenden Dienste unterscheidet sich 5G deutlich von der vorangegangenen Generationen
- Hauptmerkmale: Flexibilität, mehrere Betreiber und Dienste
- Datendienste mit (noch) höheren Datenraten (eMBB)
- Industriekommunikation (Ultra Reliable Low Latency Com.)
- Internet of Things (Massive Machine Type Communication)
- sehr unterschiedliche Anforderungen an die Technik
- sind gleichzeitig in einem physikalischen Netz für unterschiedliche Betreiber zu unterstützen (→ *Slicing*)
- Standardisierung erstreckt sich über mehrere Releases (nur Rel-15 ist fertig)

Quellen

- W. Kellerer: Zukunft der Telekommunikationsnetze im Lichte technologischer Entwicklungen. In: Bernd Holznagel (Hrsg.) 20 Jahre Verantwortung für Netze – Bestandsaufnahme und Perspektiven, Beck Verlag, München, 2018, Seiten 253 – 272.
- Webseite der Bundesnetzagentur: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/>
- Havish Koorapaty: NR Physical Layer Design: Physical layer structure, numerology and frame structure, Workshop on 3GPP submission towards IMT-2020, Brussels, Oct. 24-25, 2018.
- Eric Guttman: System and Core Network Aspects, Workshop on 3GPP submission towards IMT-2020, Brussels, Oct. 24-25, 2018.
- Eric Guttman: Anticipations for the Final IMT-2020 Submission: Rel-16 Outlook for System and Core Network Aspects, Workshop on 3GPP submission towards IMT-2020, Brussels, Oct. 24-25, 2018.
- Gino Masini: NR Architecture, Workshop on 3GPP submission towards IMT-2020, Brussels, Oct. 24-25, 2018.
- Future of Networking Symposium on „5G“ at the Intl. Conference on Networked Systems (NetSys2019), Garching b. München, March 18-21, 2019, www.netsys2019.org → presentations available via stream
- A. Blenk, A. Basta, W. Kellerer. HyperFlex: An SDN virtualization architecture with flexible hypervisor function allocation. Integrated Network Management (IM), 2015 IFIP/IEEE International Symposium on. IEEE, 2015.
- HyperFLEX: <https://github.com/tum-lkn/HyperFLEX>