Technische Hochschule Ingolstadt
Fakultät Informatik

Kapitel 6: Mobilfunk-Netze LTE & weitere Entwicklung

CASE_SMN WS 2023/2024

Vorlesung „Sicherheit moderner Netze“

04.12.2023

Mobilfunk-Systeme
der 4. Generation

➔ LTE, 4G

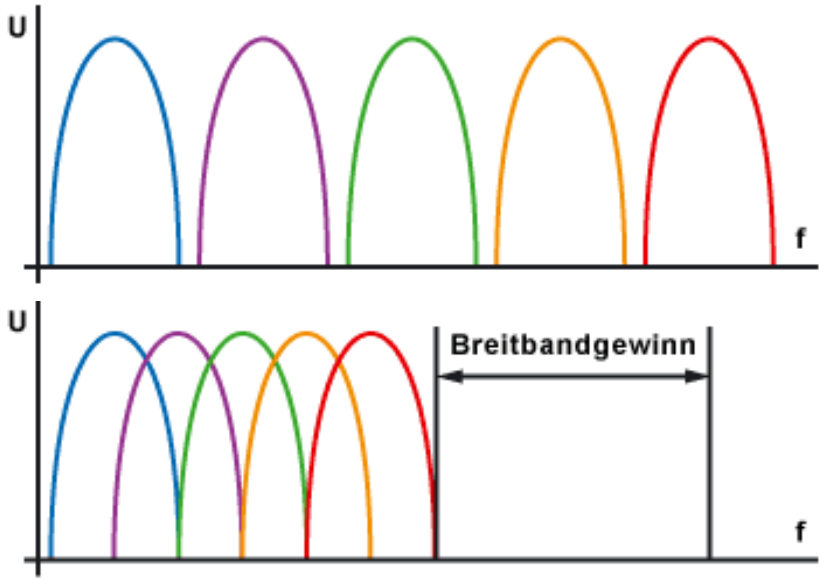
Long Term Evolution (LTE)

- Der Mobilfunkstandard der vierten Generation ist LTE (Long Term Evolution)
- **Hauptziel**:
  - Noch höhere Datenraten, hohe Flexibilität
  - Ergänzung zur UMTS / GSM: Nutzung der GPRS – Architektur („Migration“ der Netze zu LTE, aber gleichzeitig volle Nutzung von UMTS, GSM/EDGE)
  - Volle Nutzung von IP bis zum Mobilen Endgerät, Migration zum All-IP Netze (auch für Voice, IP auch auf der Luft-Schnittstelle)
- **Warum?**
  - Ständig steigender Bandbreitenbedarf und Anzahl der mobilen Nutzer
  - Noch höhere Datenraten über die Luftschnittstelle
  - Extrem hohe Flexibilität der Funkstrecke:
    - Sehr hohe Datenraten bei kurzer Entfernung / geringen Störungen
    - Geringere, anpassbare Datenraten bei größeren Entfernungen / Störungen / hoher Last in der Funkzelle
  - Ziel: All IP-Netz (mit Mobil und Festnetz-Zugang)

Anforderung an einen „guten“ Funkkanal

- **Verzerrung der Funksignal entsteht durch:**
  - Unterschiedliche Laufzeiten bei verschiedenen Frequenzen,
  - Verzerrungen (auch Frequenzabhängig)
  - Reflektionen und Dämpfung

  ➔ Ein breitbandiges Signal kann nur schlecht übertragen werden
- **Lösung:**
  - Aufteilung des verfügbaren Spektrum in viele, schmale „**Sub-Carrier**“ => „Frequenzmultiplex“
  - Die **schmalen Signale** werden weniger gestört durch die genannten Effekte wenn Guard-Bands dazwischen sind.
  - **Orthogonale Modulation**: Benachbarte Carrier stören sich nicht
    => Bandbreitengewinn
  - Störungen einzelner Sub-Carrier können kompensiert werden.
  - Bandbreite eines Subcarrier: 321,5 kHz bei WLAN, 15 kHz bei LTE



Long Term Evolution (LTE) Funkkanal

- **Anforderungen an den Funkkanal bei LTE:**
  - Nutzung unterschiedlich breiter Kanäle (1,4; 3; 5; 10; 15 und 20 MHz)
  - Sehr effiziente Modulation
  - Adaptives Verfahren zum Ausgleich schwankender Funkstrecken (unterschiedlicher Ausbreitungsbedingungen)
  - Kurze Reaktionszeiten für interaktive Nutzung (Web-Surfen, VoIP)
- **Modulationsverfahren: OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)**
  - Signal wird gleichzeitig auf viele Subträger moduliert:
    Parallele Übertragung vieler schmalbandiger Signale (= Subcarrier)
  - Die schmalbandigen Signale werden durch unterschiedliche Laufzeiten nur wenig gestört, also kaum Multipath-Fading.
  - Gute Anpassung an die verfügbare Bandbreite und Störverhalten.
  - Modulation der Nutzsignale auf die einzelnen Träger mit QAM (Quadratur-Amplituden-Modulation) abhängig von der Qualität der Übertragungsstrecke
    4 QAM … 16 QAM … 64 QAM (64 Symbole => 6 Bit)
  - Anpassung an unterschiedliche Bedingungen durch Auswahl / Anzahl der Subcarrier

LTE-Übertragungstechnik: Ressource-Blöcke

- LTE nutzt skalierbare und individuelle Kanäle (Subcarrier).
  Das Frequenzspektrum wird somit geteilt.

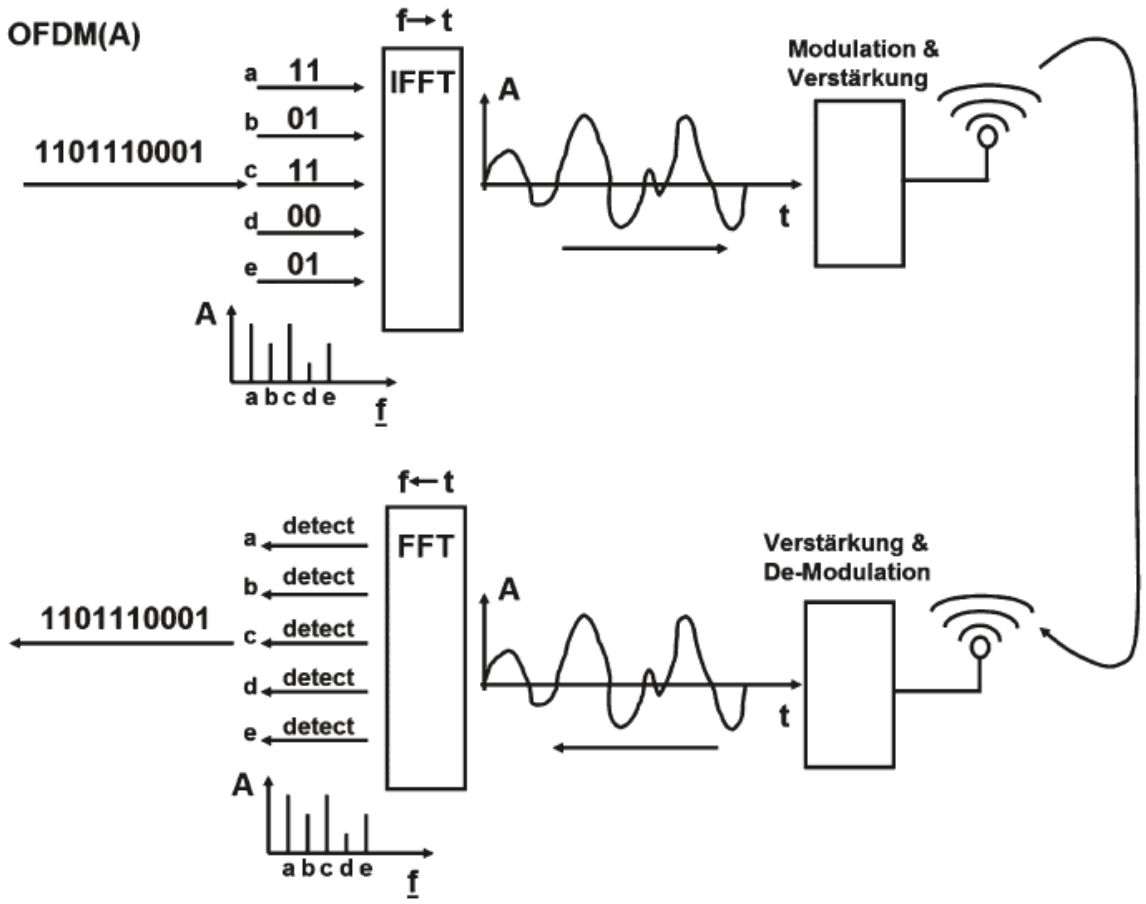
- OFDM teilt das zur Verfügung stehende Frequenzband
  (z.B. 1,4; 5, 10, 15 oder 20 MHz) in viele schmale **Subcarrier zu je 15 kHz** auf.
  - LTE kann unterschiedlich große Frequenzbänder effizient nutzen durch die Anzahl der Subcarrier:
    - 10 MHz Band => 600 Subcarrier
    - 20 MHz Band => 1200 Subcarrier
  - Die Subcarrier werden in Gruppen und Zeitblöcken zusammengefasst und jeweils einem Endgerät bei Bedarf zur Nutzdatenübertragung zugewiesen. Dabei erfolgt eine Anpassung an:
  - gewünscht Datenrate der Anwendung
  - Bandbreitenbedarf in der Funkzelle
  - Qualität der Funkverbindungen / Umgebungseinflüsse bestimmt das gewählte Modulationsverfahren 4 QAM → 64 QAM je Subcarrier

Prinzip von OFDM (Downstream)

OFDM:
Eingangs-Bitfolge wird parallelisiert.

Modulation der einzelnen Teile auf Subcarrier (hier: a bis e)

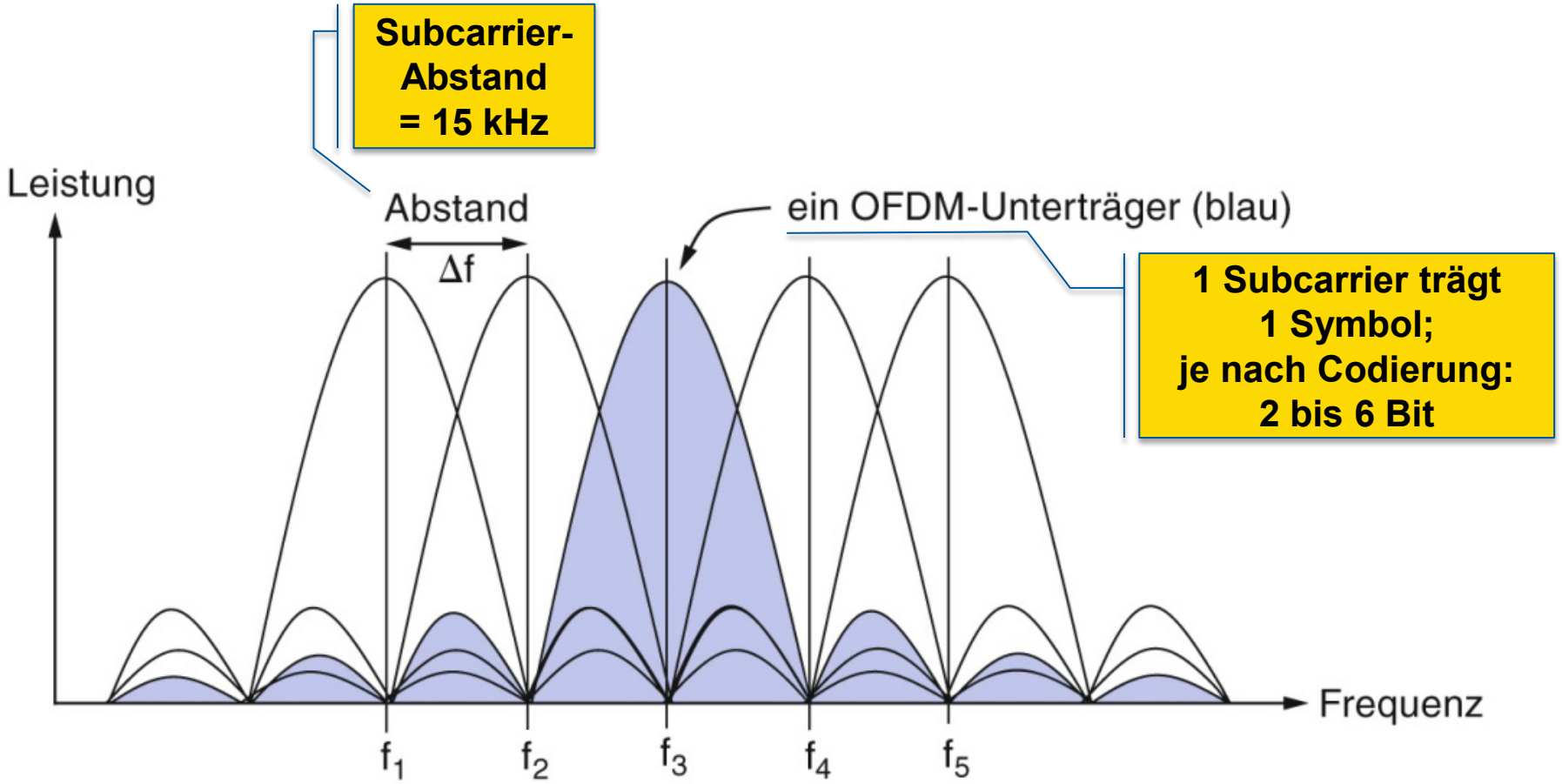
Inverse Fast Fourier Transformation (I-FFT):
Abbildung der zeit-basierten parallelen Signale als **Amplitude** un **Phase** auf unterschiedlichen Frequenzen (Subcarrier, im 15 kHz Abstand)



[Quelle: Sauter, 2018]

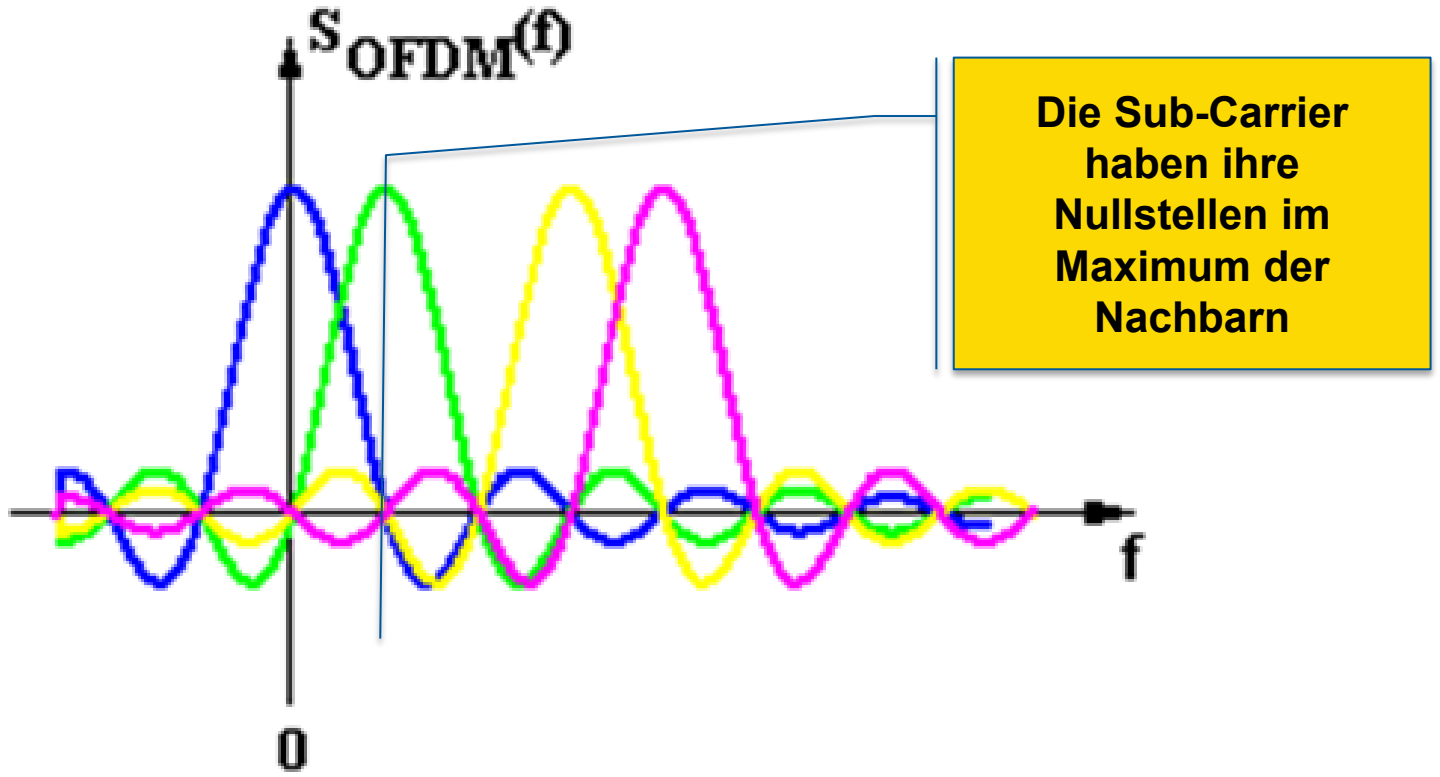
Modulation bei LTE: OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

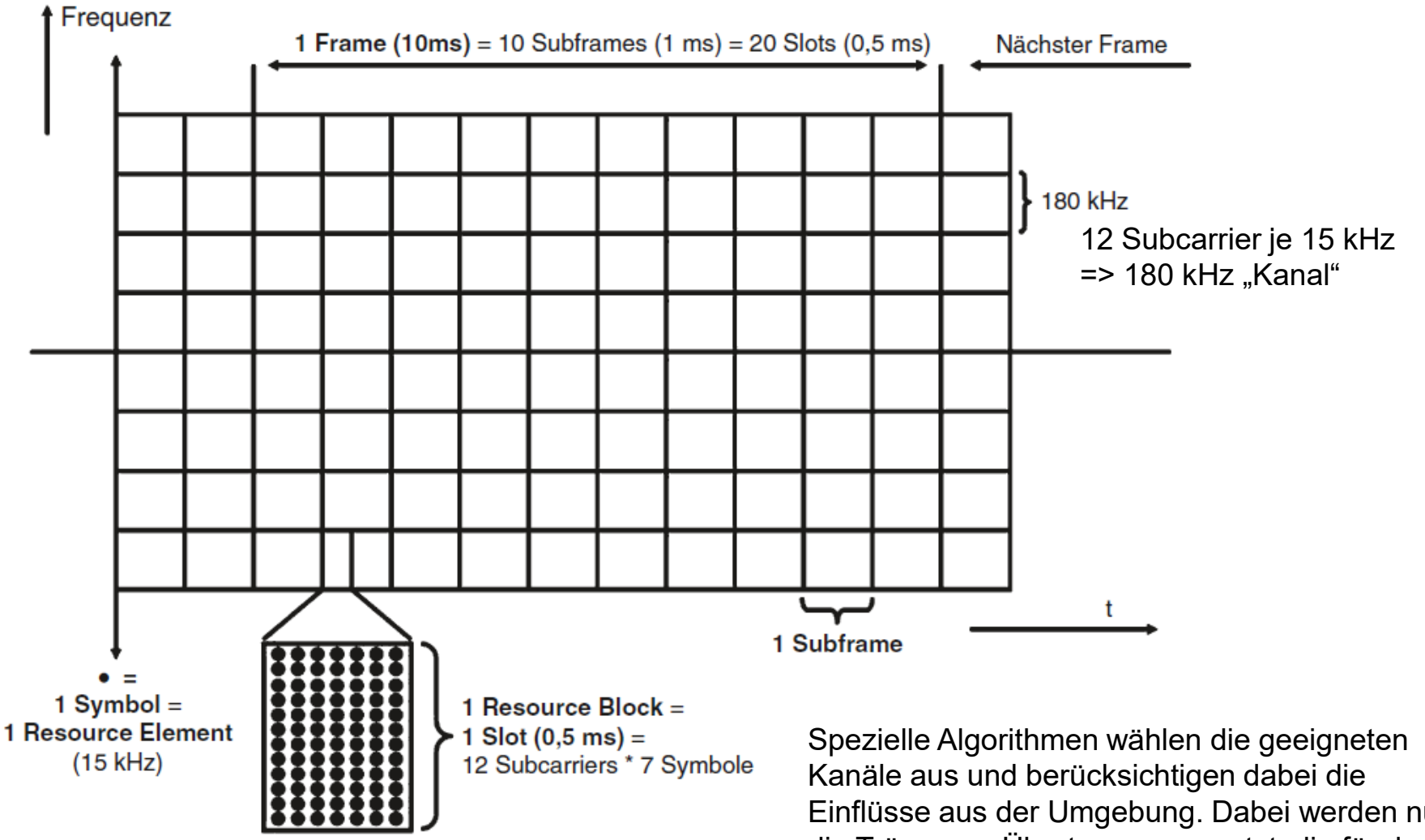


[Quelle: Tanenbaum, 2012]

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)



LTE-Übertragungstechnik: Ressource Grid

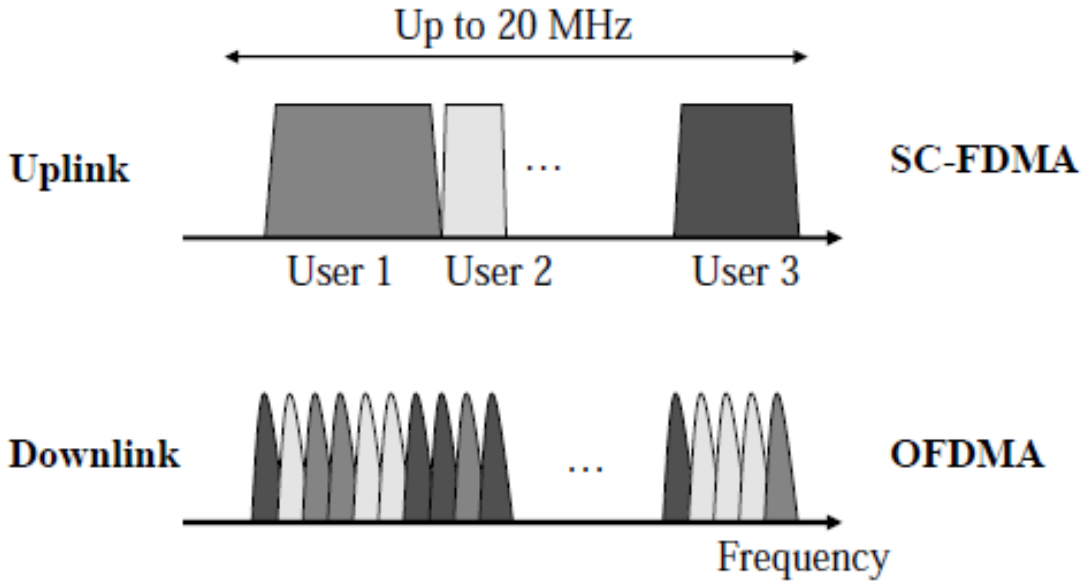


Spezielle Algorithmen wählen die geeigneten Kanäle aus und berücksichtigen dabei die Einflüsse aus der Umgebung. Dabei werden nur die Träger zur Übertragung genutzt, die für den Nutzer am günstigsten sind.

[Quelle: Sauter, 2018

LTE: Vergleich Uplink - Downlink

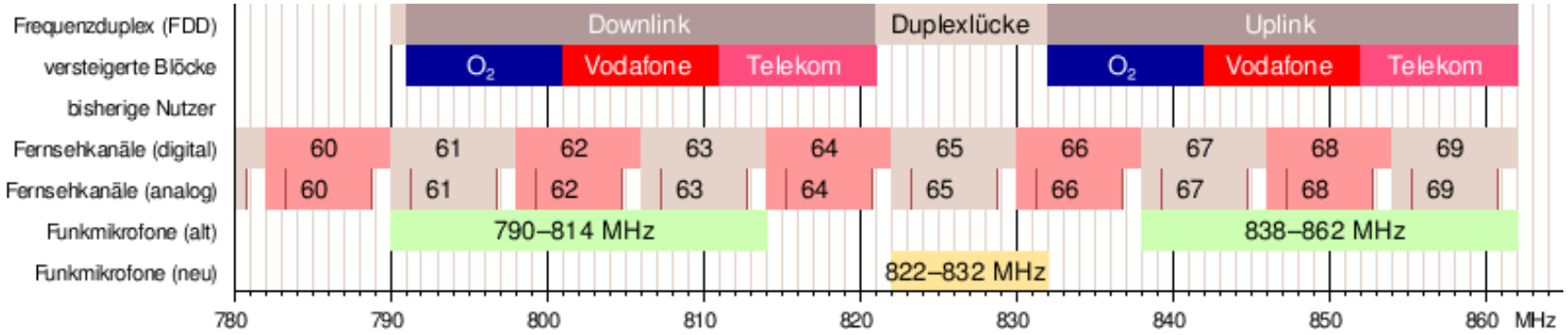
- Downlink: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)
- **Uplink:** Single Carrier – Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)
  Einträgerzugriffsverfahren, sehr ähnlich zu OFDMA.
  SC-FDMA benötigt geringere Leistungsschwankungen (Peak – Average) und erlaubt dadurch einfacher Leistungsverstärker. Zusätzlich ergibt sich noch ein geringerer Energieverbrauch im Smartphone.



[Quelle: Holma: LTE for UMTS, Wiley, 2009]

LTE-Frequenzen -1-

- Frequenzen für LTE (in D):
  - **800 MHz Band** für großflächige Versorgung mit Internet-Access, „Digitale Dividende“
  - Nutzung der ehemaligen TV-Kanäle



- Versteigerung vom Mai 2010:

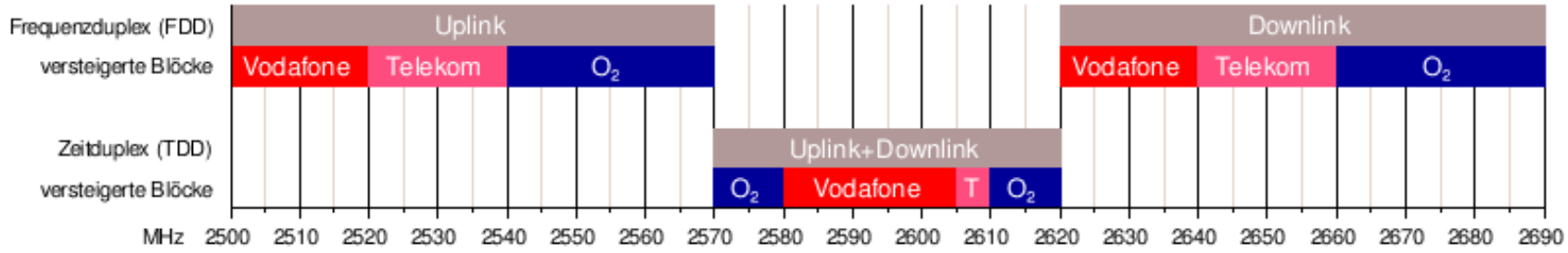
Nutzer	Uplink	Downlink	Preis
Deutsche Telekom	852–862 MHz	811–821 MHz	1,153 Mrd. €
Vodafone	842–852 MHz	801–811 MHz	1,210 Mrd. €
O_2	832–842 MHz	791–801 MHz	1,212 Mrd. €

Je 10 MHz!!

[Quelle: BNetzA, Wikipedia, 4/2019]

LTE-Frequenzen -2-

- Frequenzen für LTE (in D):
  - **2,6 GHz Band**: 20 MHz für hohe Datenraten (bei begrenzter Reichweite)



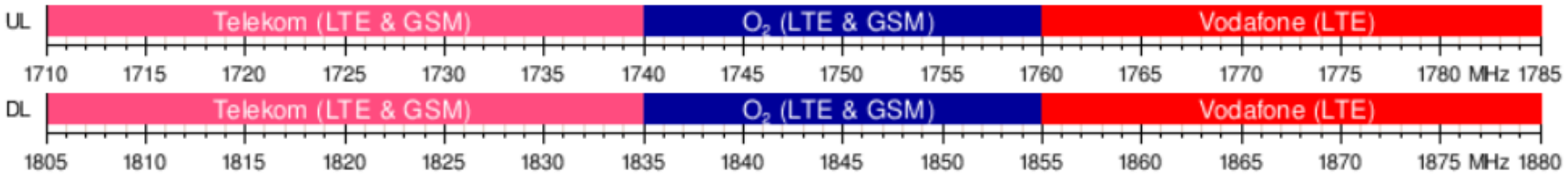
  - Versteigerung vom Mai 2010:

Nutzer	Frequenzduplex (FDD)			Zeitduplex (TDD)	
	Uplink	Downlink	Preis	Uplink+Downlink	Preis
Deutsche Telekom	2520–2540 MHz	2640–2660 MHz	76,228 Mio. €	2605–2610 MHz	8,598 Mio. €
Vodafone	2500–2520 MHz	2620–2640 MHz	73,464 Mio. €	2580–2605 MHz	44,96 Mio. €
E-Plus	2540–2550 MHz	2660–2670 MHz	36,67 Mio. €	2570–2580 MHz	16,502 Mio. €
O_2	2550–2570 MHz	2670–2690 MHz	71,415 Mio. €	2610–2620 MHz	16,458 Mio. €

[Quelle: BNetzA, Wikipedia, 4/2019]

LTE-Frequenzen -3-

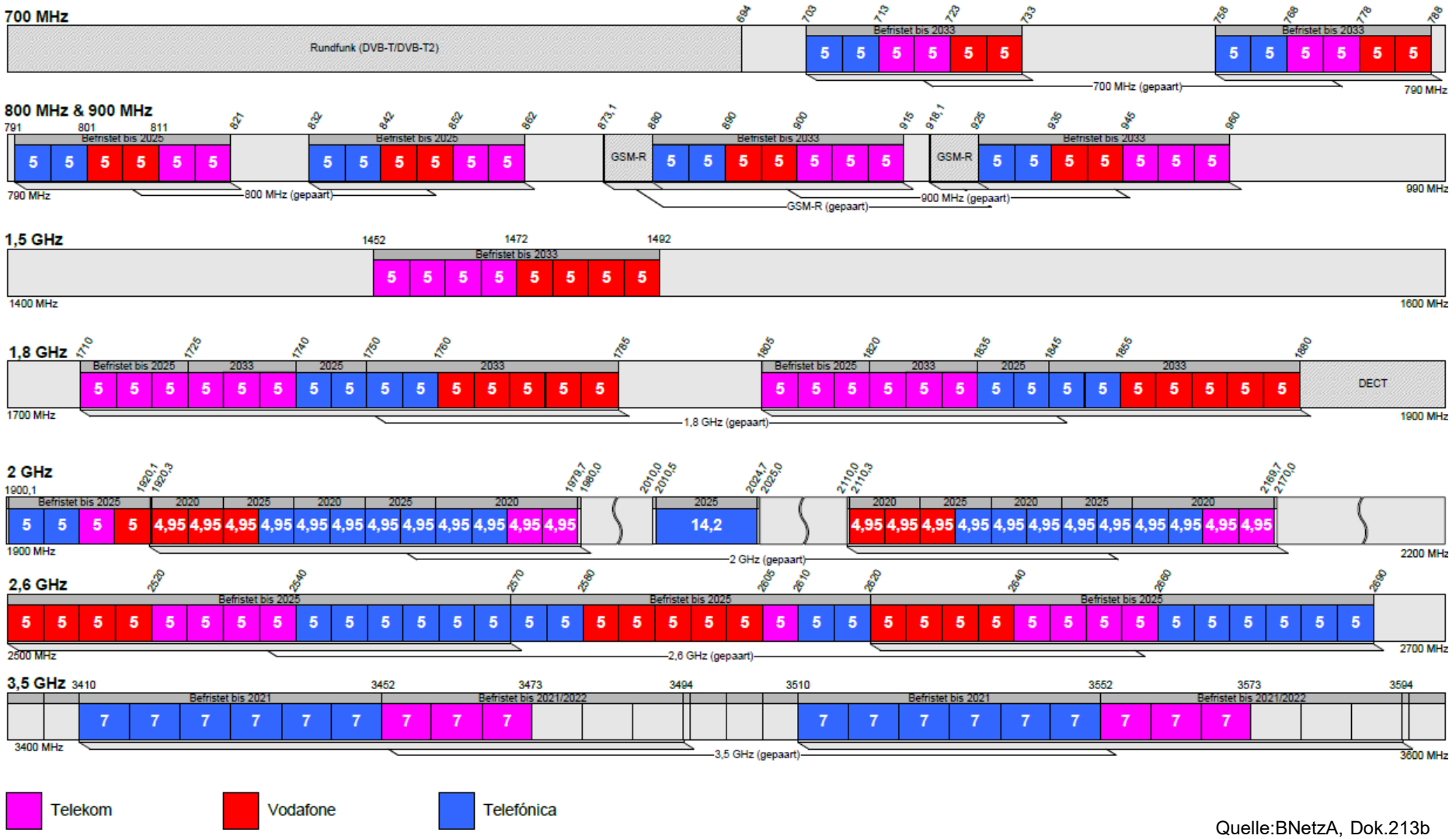
- Frequenzen für LTE (in D):
  - Außerdem beginnen die Mobilfunk-Betreiber die vorhandenen Frequenzen mit LTE zu Nutzen: Beispiel **1800 MHz Band**



  - BNetzA hat die Nutzung der schon vergebenen Bänder mit neuer Funktechnik gestattet, sofern die benachbarten Frequenzen (z.B. mit GSM oder UMTS) nicht gestört werden
  - „Refarming“ => neue Zuordnung der Frequenzen eines Netzbetreibers zu den nachgefragten Mobilfunktechnologien, die Frequenzzuteilung ist nicht mehr an eine Technologie gebunden.
  - Technisch Konsequenz im Netz: „Single RAN“ (RAN = Radio Access Network); Software defined Radio mit dem leicht ein Wechsel der Mobilfunktechnologie möglich ist.
  - Schon heute wird 3G (UMTS) allmählich reduziert (weniger Spektrum/Bandbreite) zu Gunsten von LTE
  - 2G (GSM) wird als Basis-Versorgung in Europa aber bleiben für eine sicheren Sprachdienst

[Quelle: BNetzA, Wikipedia, 4/2019]

Frequenzspektrum in den Bereichen 700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1,5 GHz, 1,8 GHz, 2 GHz, 2,6 GHz und 3,5 GHz

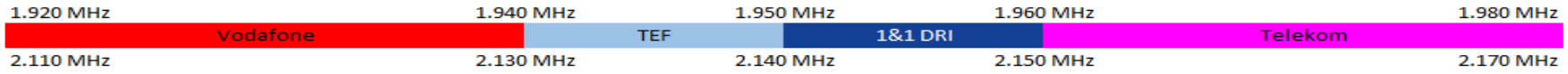


Quelle:BNetzA, Dok.213b
https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Projekt2016/Frequenzen700bis1800_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Versteigerung der Frequenzen 2019:

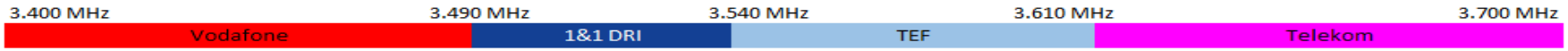
Im Bereich bei 2 GHz

Bandlage 01.01.2021 bis 31.12.2025



Bandlage 01.01.2026 bis 31.12.2040

Im Bereich bei 3,6 GHz



Bandlage im Bereich 3,6 GHz

	Drillisch Netz AG	Telefónica Germany GmbH & Co. OHG	Telekom Deutschland GmbH	Vodafone GmbH
2 GHz	2 x 10 MHz	2 x 10 MHz	2 x 20 MHz	2 x 20 MHz
3.6 GHz	50 MHz	70 MHz	90 MHz	90 MHz
Summe	70 MHz	90 MHz	130 MHz	130 MHz

Die Auktion endetet nach 497 Runden bei 6.549.651.000 €.

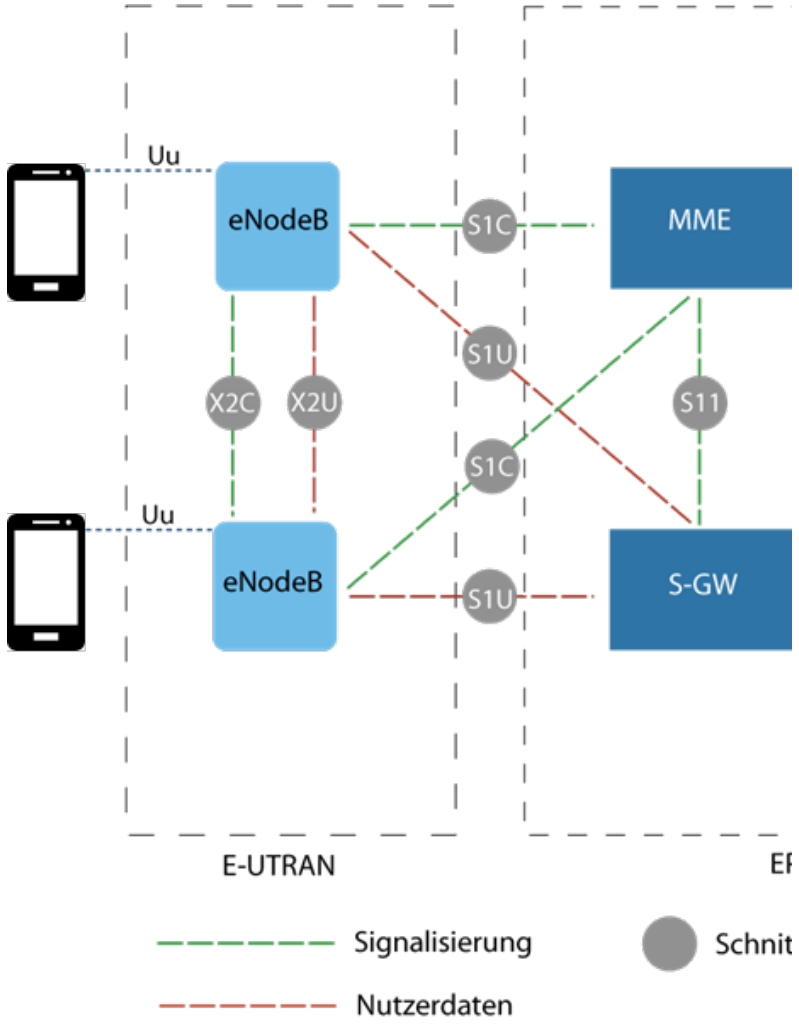
[Quelle: www.bundesnetzagentur.de 8/2019]

[https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html]

*LTE: **Evolved** UTRAN*

- Alle Radio-Funktionen (Luftschnittstelle) sind in der Basisstation konzentriert
  - „eNodeB“ => evolved NodeB
  - Enthält alle Funktionen der Luftschnittstelle, kein RNC mehr erforderlich
  - Schnittstellen zum Core-Netz (S1)
    - Für Signalisierung zum MME (Management Mobility Entity)
    - Für Nutz-Daten zum S-GW (Serving-Gateway)
  - Schnittstellen zu anderen eNodeB (X2): Direkter Austausch der eNodeB untereinander für Handover, Leistungsregelung, Interferenzen,…
- Trennung von Signalisierung und Nutzdaten.
- Transport nur auf IP

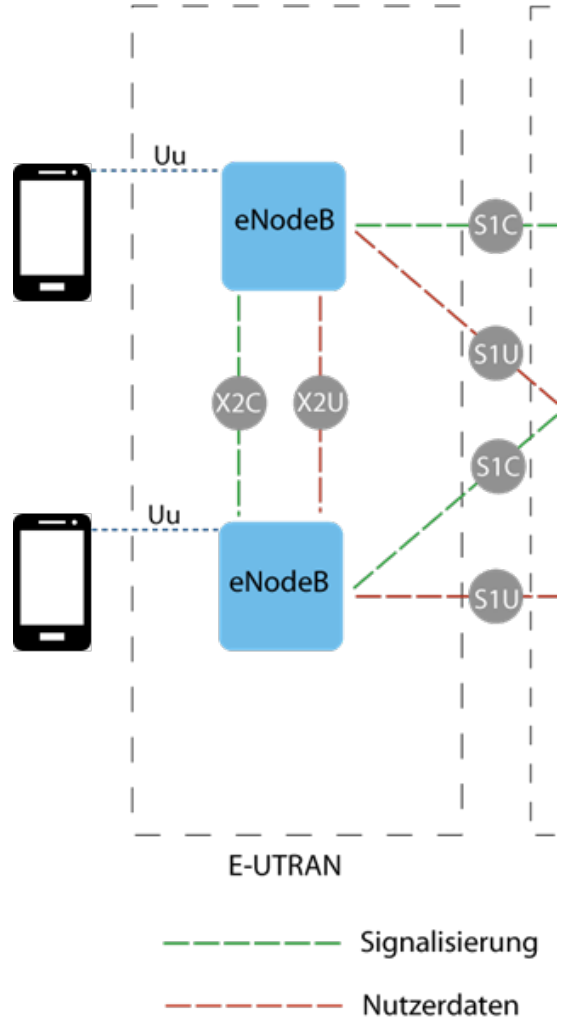
UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network



Funkteil eines LTE-Netzes: eNodeB

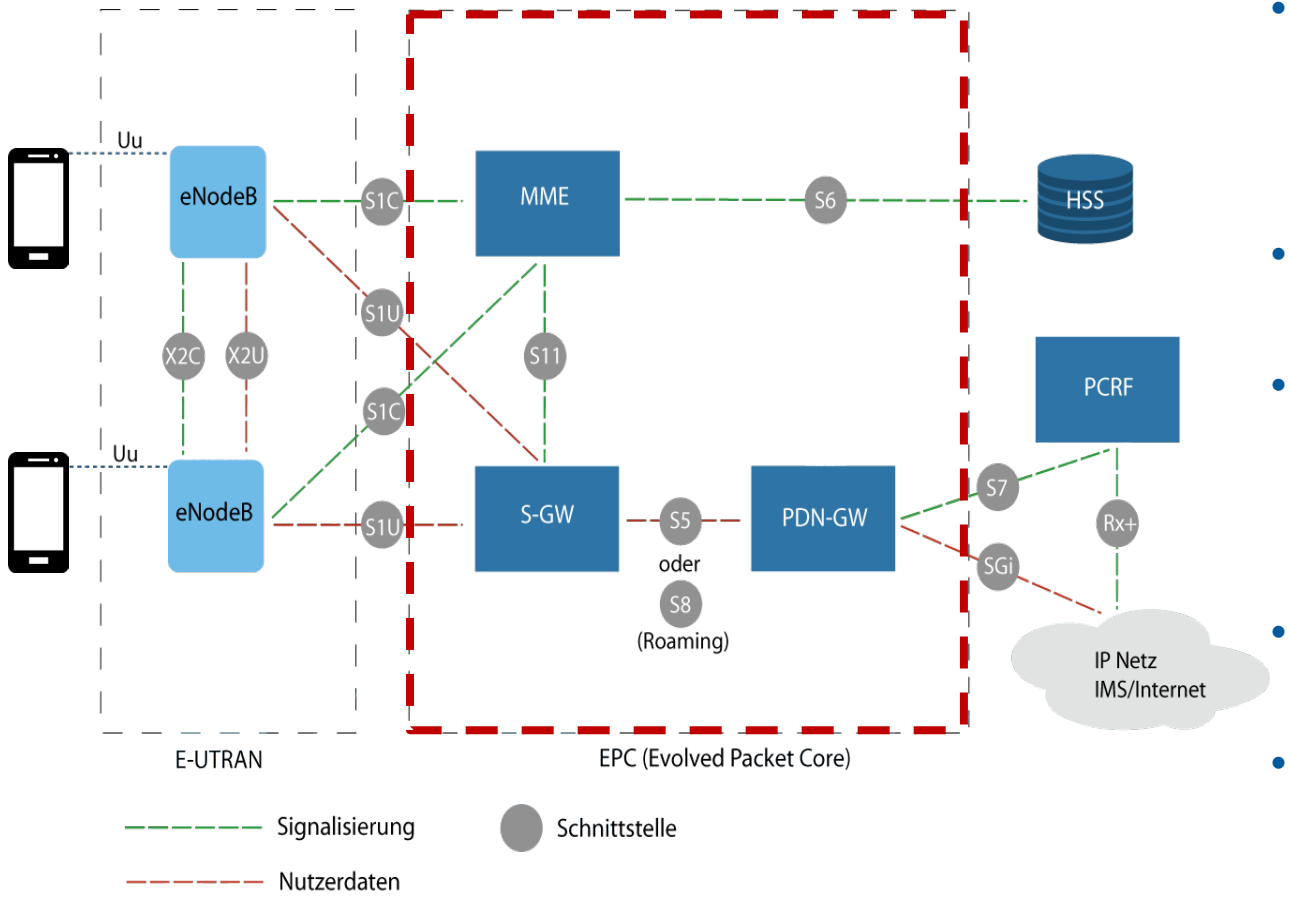
Aufgaben eines eNodeB:

- Steuerung der Luft-Schnittstelle (Air-Interface)
- User Management und die Aufteilung der Ressourcen auf dem Air Interface an mehrere gleichzeitige Teilnehmer („Paketvermittlung“ durch Zuteilen der Ressource-Blöcke eines Subframes)
- Sicherstellung von Quality of Service (QoS)-Attributen für einzelne Verbindungen, z.B.:
  - maximale Verzögerungszeit
  - Bereitstellung einer minimalen Bandbreite in Abhängigkeit des Nutzerprofils.
- Mobilitätsmanagement
- Interferenzmanagement, also die Reduktion des Einflusses der eigenen Sendetätigkeit auf die Übertragungen der Nachbarstationen.



LTE-Netzarchitektur: EPC

Neue Struktur des Core Netze
Evolved Packet Core (EPC):



- **MME**: Mobility Management Entity
- **S-GW**: Serving-Gateway zur Weiterleitung der IP-Nutzdaten
- **PDN-GW**: Packet Data Network Gateway
- S-GW + PDN-GW = Service-Architecture-Evolution-Gateway (**SAE**)
- **HSS**: Home Subscriber Server
- **PCRF:** Policy and Charging Rules Function

EPC Elemente: MME

- **MME:** Mobility Management Entity
  - Für die Benutzerverwaltung im LTE-Netz
  - Nur Signalisierung zwischen eNodeB und Core Netz
- **Aufgaben einer MME**
  - Authentifizierung: Nach Meldung des LTE-Endgeräts fordert MME die Authentifizierungsinformationen von der Datenbank des Home Subscriber Server (HSS) an. MME erhält dann u.a. die Daten zur Verschlüsselung am Air Interface.
  - Aufbau der Bearer (Nutz-Kanäle), Steuerung der IP-Tunnel zwischen eNodeB und Gateway
  - Mobility Management: Deaktivierung des Air Interfaces und des Tunnels (nach 20…30 sec Inaktivität)
  - Unterstützung des Handover (falls kein X2 Interface zwischen den beteiligten eNodeB vorhanden ist)
  - Interworking mit UMTS- oder GSM-Netzen: MME kann bei Bedarf ein Endgerät an ein anderes Mobilfunknetz abgeben.

EPC Elemente: SAE, Serving-Gateway, PDN-Gateway

- **SAE:** SAE-GW: Service Architecture Evolution-Gateway
  Logisch unterteilt in:

- **S-GW:** Serving Gateway (~ Router mit speziellen Funktionen)
  - Steuert den Nutzverkehr in einem bestimmten, definierten Gebiet
  - Weiterleitung der Nutzdaten (IP) vom eNodeB zum PDN-Gateway im IP-Tunnel
  - Vergleichbar mit SGSN

- **PDN-GW:** Packet Data Network-Gateway
  - Übergang vom LTE-Netz (EPC) zum Internet / Firmennetz
  - Vergabe von IP-Adressen an die Endgeräte
  - Aufbau und Verwaltung der IP-Tunnel für die Nutzdaten
  - Vergleichbar mit GGSN

Weitere Elemente im LTE-Netz

- **HSS:** Home Subscriber Server
  - Authentifizierung und Autorisierung der Nutzer
  - Aufgaben und Funktion vergleichbar mit HLR
  - Verwendet modernere Protokolle
  - Enthält die geheimen Schlüssel der Nutzer

- **PCRF:** Policy and Charging Rules Function
  - IP-Verkehr muss generell überwacht und begrenzt werden
  - Policies definieren z.B. die max. Bandbreite (je Dienst), welche Dienste oder Applikationen genutzt werden können
    z.B. welche Dienste sind aktiviert / bestellt (subskribiert) sind.
- In den Netzelementen, **z.B. im eNodeB, S-GW / P-GW:**
  - Überwachung des Verkehrs am „Policy Enforcement Point“
  - Flow Based Charging, mit charging control und online credit control, für service data flows und application traffic.
    Bsp.: Begrenztes Datenvolumen (500 MB Monat), Max. Gebühren im Ausland,…

LTE-Advanced (Rel. 10 und weitere) ➔ 5G

- 2014 beginnt die Einführung der nächsten Weiterentwicklung von LTE, die aber voll kompatibel zum bestehenden LTE-Netz ist:
  „LTE Advanced“
- **Anforderungen an LTE Advanced sind:**
  - Gesteigerte Spitzendatenraten von DL 1 Gbps, UL 1 Gbps
  - Höhere spektrale Effizienz von 16bps/Hz in Rel. 8 bis 30 bps/Hz in Rel. 10
  - Höhere Anzahl gleichzeitig aktiver Nutzer
  - Höhere Datenraten am Zellrand, z.B. für DL 2x2 MIMO mindestens 2,4 bps/Hz/Zelle
- **Die wichtigsten neuen Funktionen, die mit LTE Advanced eingeführt werden:**
  - Carrier Aggregation, Frequenzband-übergreifende Nutzung eines Endgeräts
  - Verbesserte Nutzung von Multi-Antennentechniken (z.B. 8x8 MIMO im DL)
  - Unterstützung von Relay Nodes (RN).

5G
oder
was kommt nach LTE / 4G?

Was ist 5G Mobilfunk?

5G ist in allen Medien, aber was ist völlig neu? *(ein erster Blick drauf)*

- **Eine neue Luftschnittstelle (Funktechnik)?**

  Bisher: **2G = TDM mit 22,8 kbit/s Kanälen,**

  3G = CDMA mit flexiblen TDM-Kanälen (=> Spreizcode)

  4G = OFDM mit All-IP für Sprache und Daten

  5G => weiterhin OFDM und All-IP

- **Ein neuer Netzkern (Core-Netz)?**

  Bisher: **2G = TDM-Leitungsvermittelte Sprache (wie Telefon)**

  + GPRS-Erweiterung (IP)

  3G = Soft Switching (IP-Transport für Sprache und Daten im Core)

  4G = All IP-Netz mit Evolved Packet Core

  5G = weiterhin all-IP

https://www.telekom.com/de/konzern/themenspecials/special-5g

https://www.youtube.com/watch?v=c3bkMfYM9rQ#action=share

https://www.golem.de/news/netzwerke-warum-5g-nicht-das-bessere-wi-fi-ist-1912-145178.html

Für was ist 5G Mobilfunk?

- **eMBB – Enhanced Mobile Broadband**

Da das 5G-Netz um ein Vielfaches schneller ist als sein Vorgänger LTE, ermöglicht es neue Anwendungen wie Enhanced Mobile Broadband oder kurz eMBB. Dieser Anwendungsbereich stellt eine **extrem hohe Datenra**te zur Verfügung. Somit unterstützt das 5G-Mobilfunknetz Dienste mit hohen Breitbandanforderungen. Zu diesen zählen Virtual und Augmented Reality.

- **mMTC – Massive Machine Type Communications**

Der neue Mobilfunkstandard macht nicht nur Dienste mit hohen Breitbandanforderungen möglich, sondern optimiert ebenfalls die **Machine-to-Machine-Kommunikation** und **das Internet der Dinge (IoT).** Dafür sorgt das Anwendungsprofil mMTC: Denn mittels Massive Machine Type Communication wird eine riesige Anzahl von Geräten oder Komponenten miteinander vernetzt. Low-Cost- und Low-Energy-Geräte kommunizieren mittels mMTC an den verschiedensten Orten effizient mobil über 5G. Typische Anwendungsbereiche für diese Technik sind unter anderem:

  - Smart Cities,
  - Logistik,
  - Smart Agriculture,…

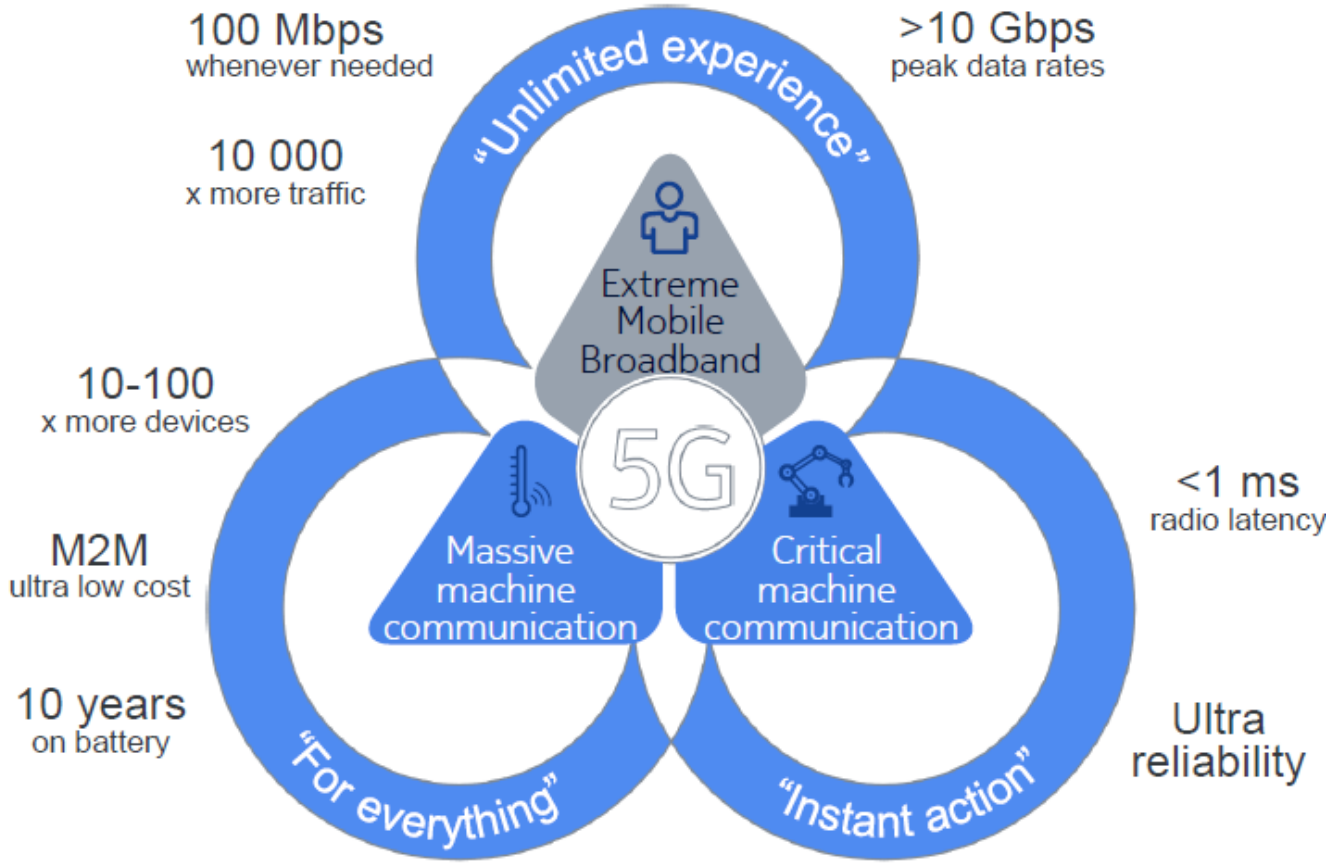
- **uRLLC – Ultra-Reliable and Low-Latency Communications**

Zeitkritische Anwendungen mit geringster Latenzzeit – auch das macht die 5G-Technologie möglich. Dienste, die besonders kurze Antwortzeiten von 1 ms benötigen und nicht ausfallen dürfen, werden dank Ultra-Reliable and Low-Latency Communications möglich. Beispiele dafür sind:

  - Autonomes Fahren
  - Automatische Fahrassistenten
  - Predictive Maintenance (dient zur proaktiven Instandhaltung von Maschinen)
  - Car-to-Car-Kommunikation

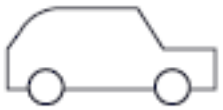
Quelle: https://www.telekom.de/unterwegs/was-ist-5g

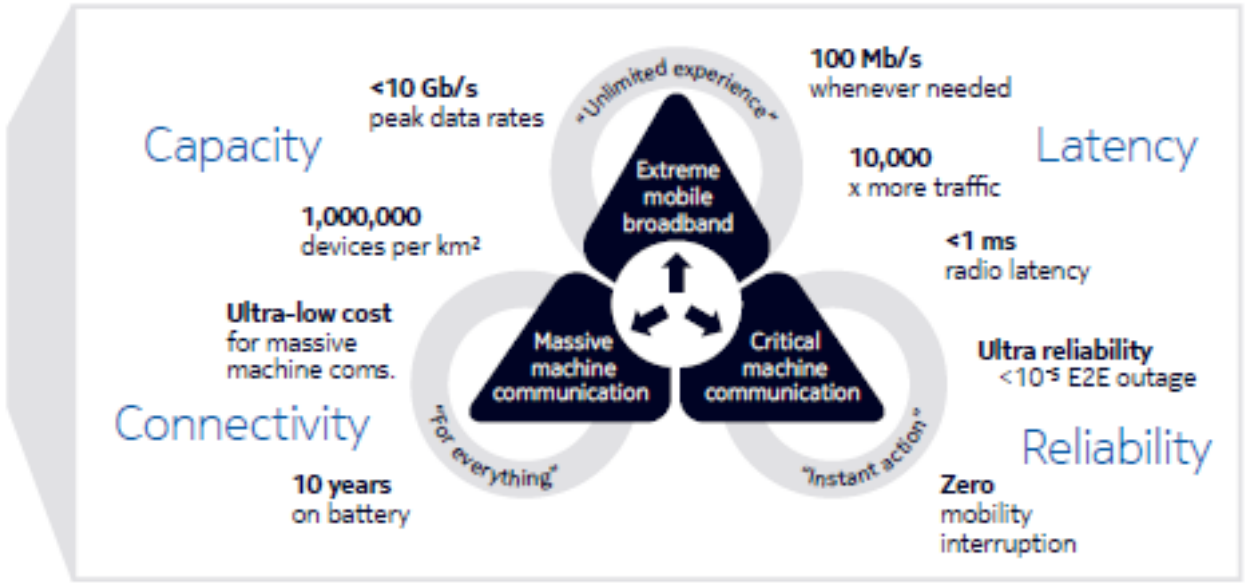
“5G Enables New Capabilities Beyond Mobile Broadband”
➔ Das 5G-Versprechen



[Quelle: Nokia Vortrag an THI 7/19, © 2019 Nokia]

“5G Enables New Capabilities Beyond Mobile Broadband”
➔ Das 5G-Versprechen





Ziele von 5 G:

- Viel höhere Datenraten
- Sehr geringe Latenzzeit => sehr schnelle Reaktionen, Realzeit Steuerung
- Unterstützung von IoT => sehr geringe Datenraten, große Reichweite, wenig Energie

[Quelle: Nokia White paper 5G New Radio Network]

Entwicklung der Mobilfunk-Standards / -Generationen

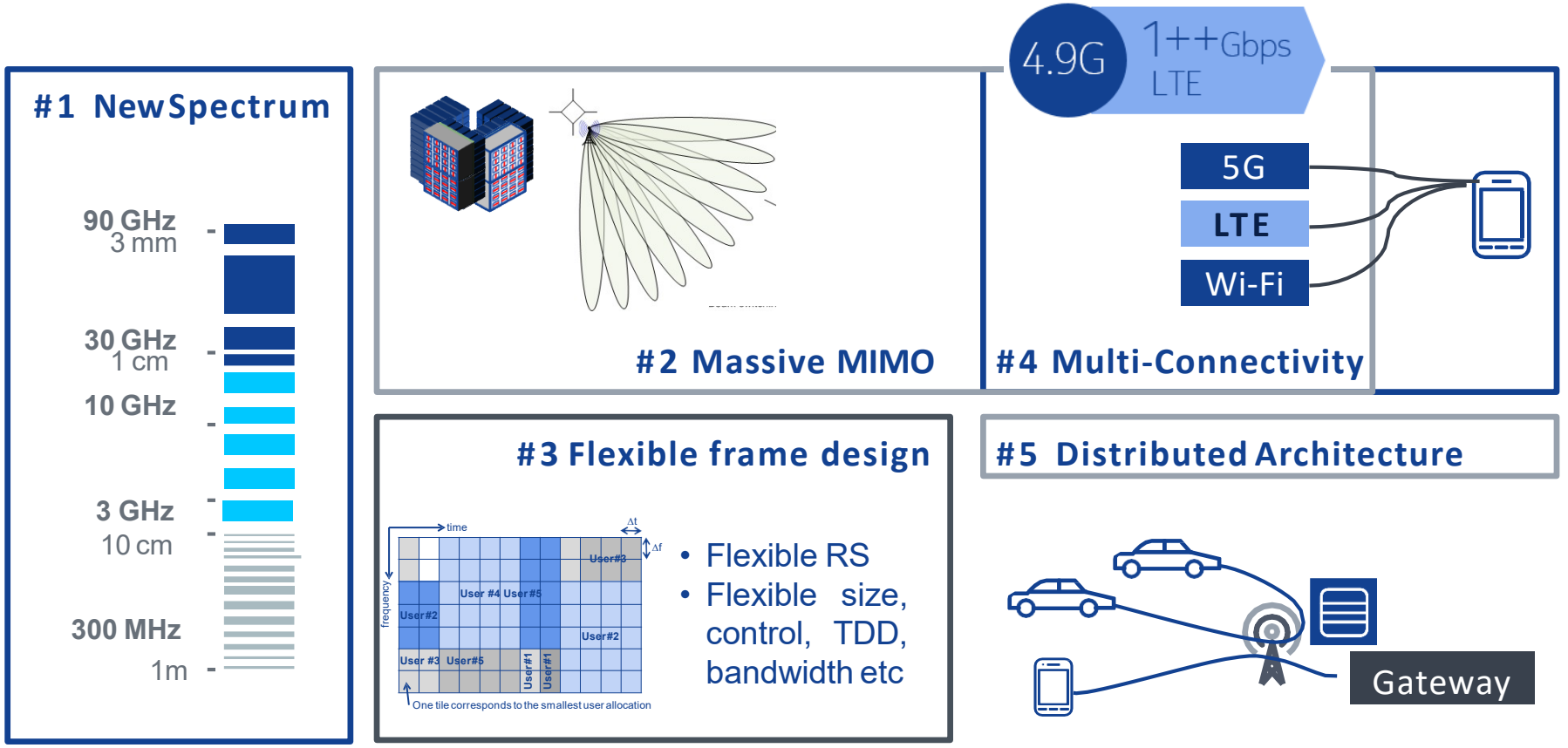
- The first 3GPP standards focused on providing voice and MBB data solution. Although Machine Type Communications (MTC) is possible, the technologies were not optimized for this

	2G GSM	2.7G EDGE	3G WCDMA	3.5 HSPA, HSPA+	4G LTE	4G LTE-Advanced	4,5G LTE-A Pro	5G
3GPP Release	Rel. 97	Rel. 98	Rel. 99	Rel. 5,6,7	Rel. 8,9	Rel. 10,11,12	Rel. 13,14	Rel 15, 16
Use case	Digital voice & messaging Digital fidelity cellular phones	Enhanced 2G Higher data rates	Voice, Data & Video Signals Video Telephony / Internet surfing	Enhanced 3G Higher data rates	Data and Voice over IP Wireless broadband	Enhanced 4G Higher peak rates	4G Evolution towards 5G +IoT and Public safety	eMBB, critical MTC, massive MTC 4th industrial revolution
Channel access	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	WCDMA	WCDMA	OFDMA	OFDMA	OFDMA	Modified OFDMA
Bandwidth	200 kHz	200 kHz	5 MHz	5 MHz	20 MHz	100 MHz	640 MHz	Up to 2 GHz
Service	CS	CS/PS	CS/PS	PS	PS	PS	PS	PS
Architecture	Controller	Controller	Controller	Controller	Distributed	HetNet	Cloud	Cloud, co-existence, slicing
DL speed	40 Kbps	500 Kbps	384 Mbps	14-84 Mbps	150-300 Mbps	1 Gbps	3 Gbps	>10 Gbps
Latency	~500 ms	~300 ms	~150ms	~50 ms	~10ms	~10ms	~5ms	<1ms

4 © 2019 Nokia

[Quelle: Nokia Vortrag an THI 7/19, © 2019 Nokia]

5 Kern-Elemente die 5G Anforderungen ermöglichen

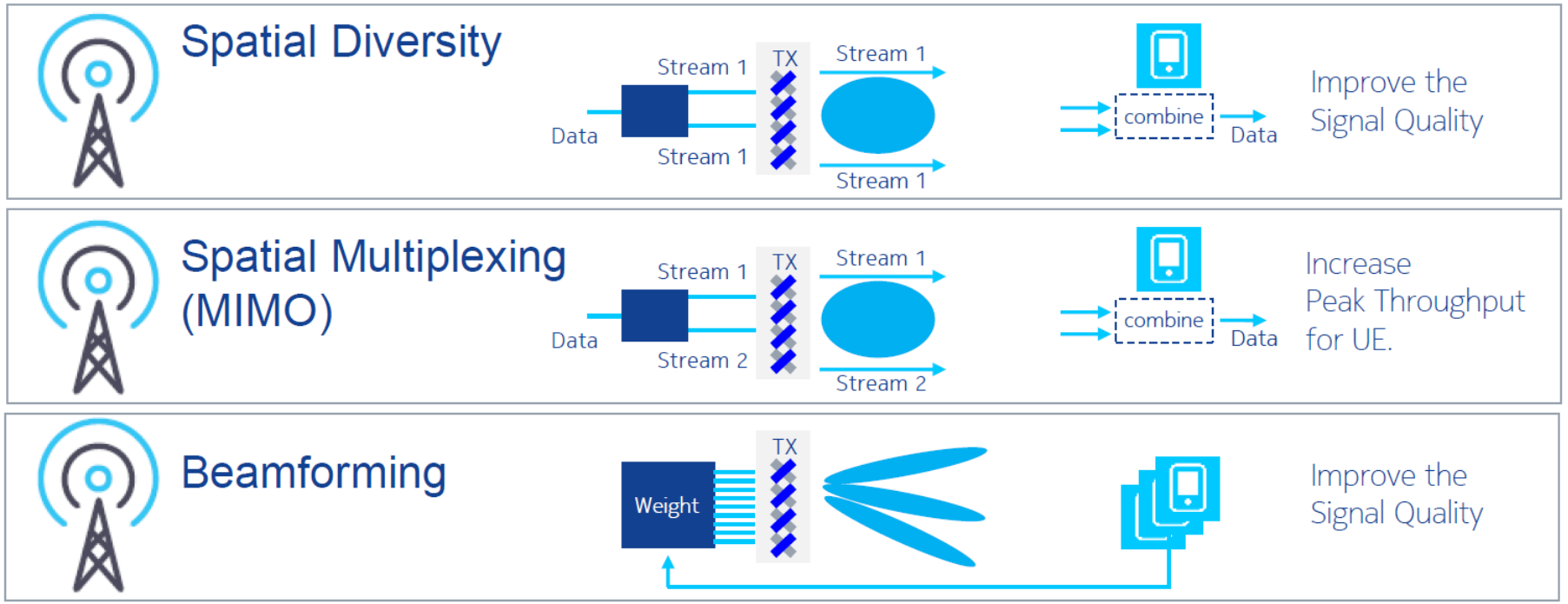


- Spektrum in höheren Frequenzen => geringere Reichweite aber hohe Bandbreite => kleine Zellen
- Kleine Funk-Zellen => Sichtverbindung => höherer Modulationen sind möglich (bis zu 256 QAM)
- Gleichzeitige Nutzung mehrerer Frequenzbänder => Carrier Aggregation, Einbinden WiFi (LAA)
- Edge Computing => Verarbeitung der Daten nahe an der Quelle im Netz

[Quelle: Nokia Vortrag an THI 7/19, © 2019 Nokia]

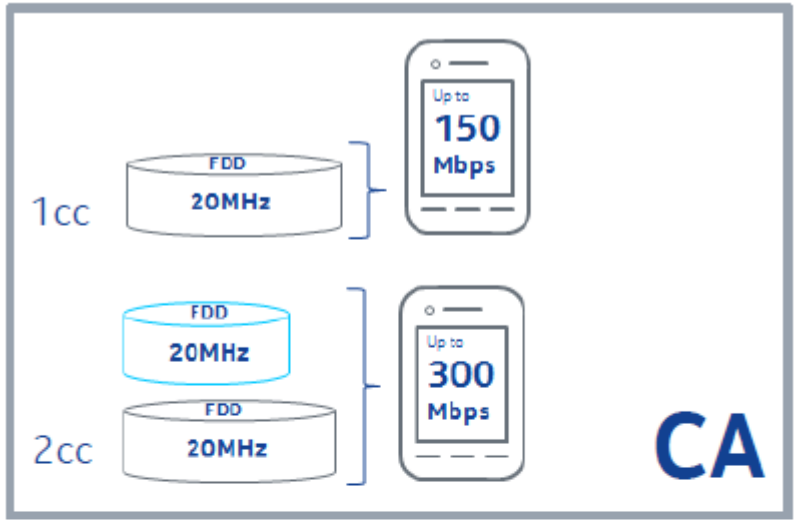
Mehrfache Antennen und Beam Forming

Three main principles exists for transmitting signals over multiple antenna
3GPP combines these different principles into different transmission modes (next slide).



[Quelle: Nokia Vortrag an THI 7/19, © 2019 Nokia]

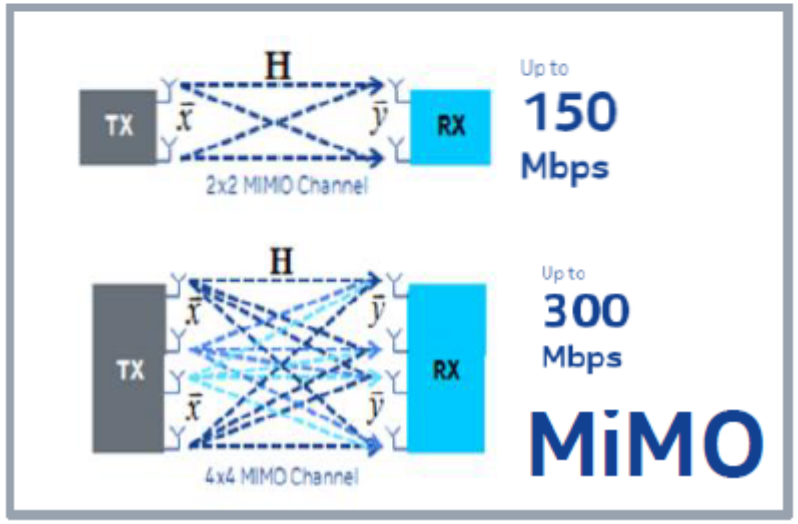
Höherer Durchsatz: Carrier Aggregation und MiMo

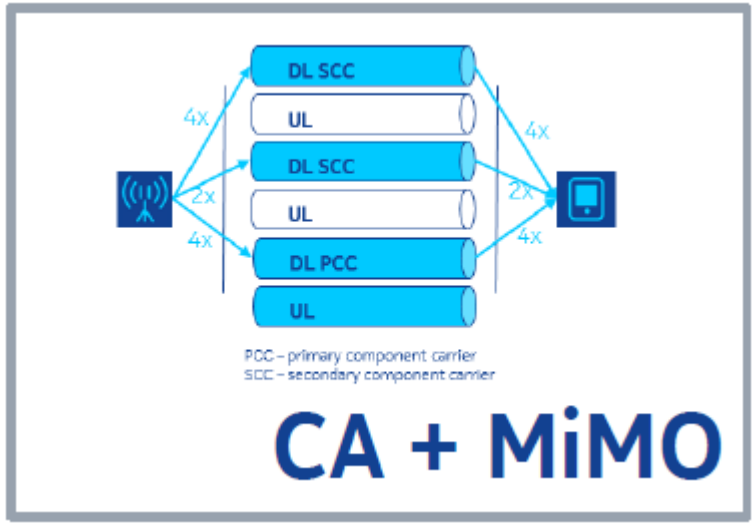


Carrier Aggrgation:
Bündeln von Kanälen in unterschiedlichen Frequenzbändern

Auch in Kombination mit WiFi
=> Licensed Assisted Access

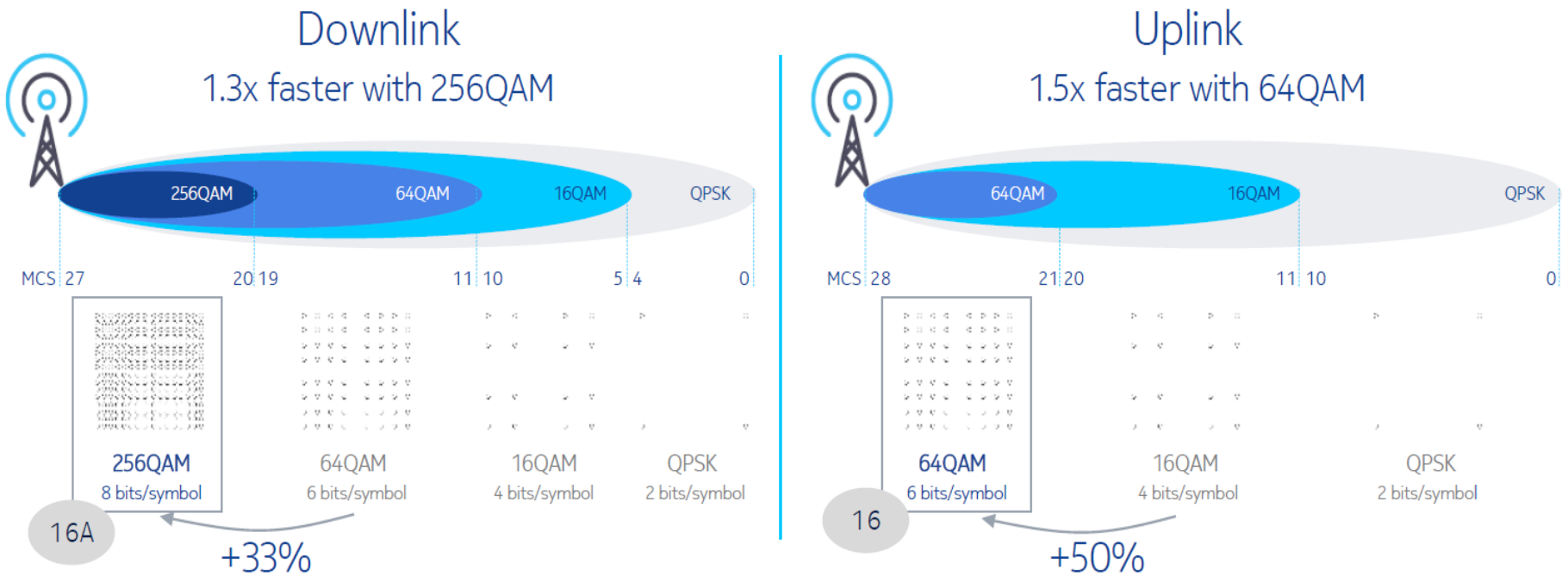
Und MiMo / Massive MiMO / Beamforming





[Quelle: Nokia Vortrag an THI 7/19, © 2019 Nokia]

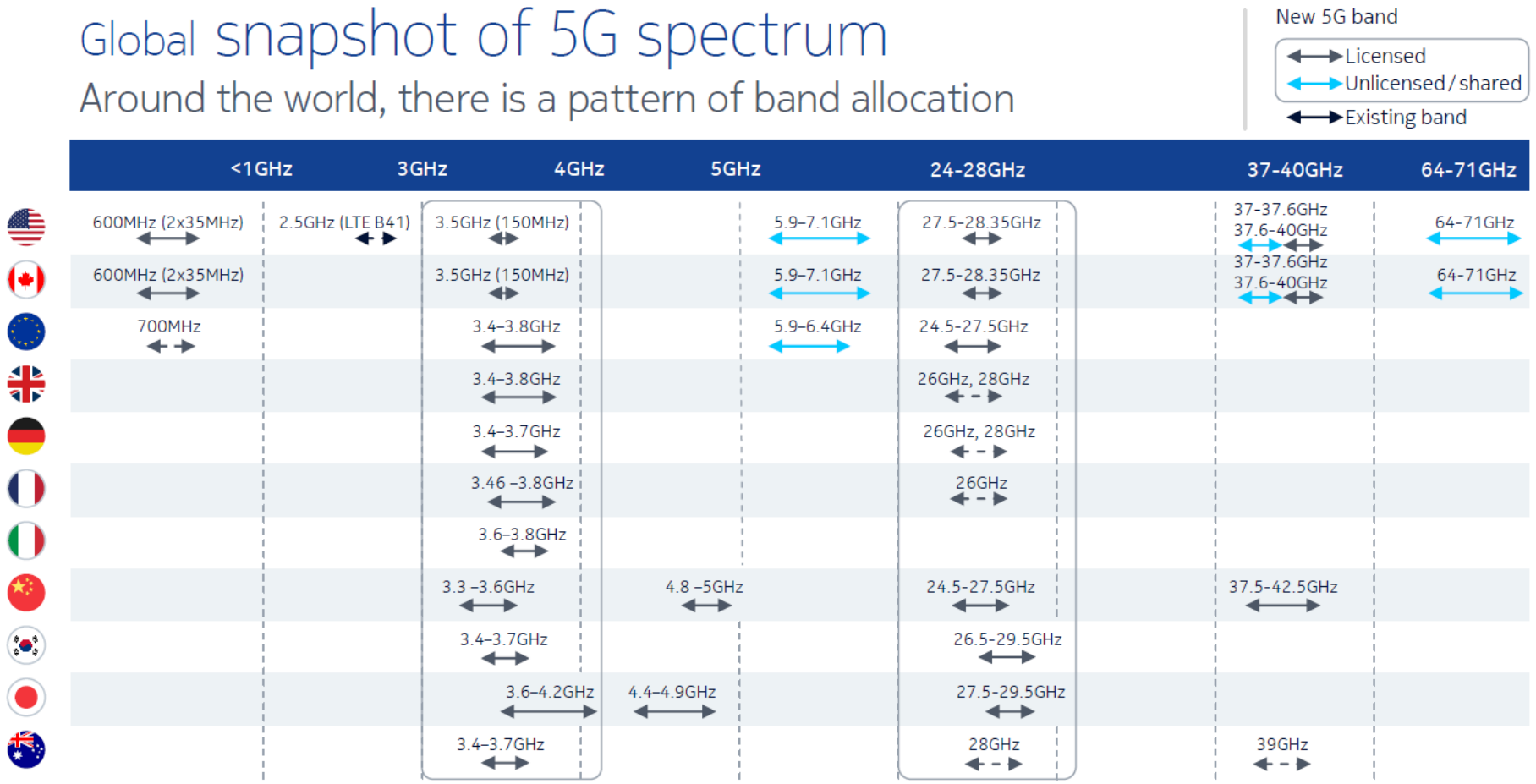
Höhere Modulation, abhängig von der Entfernung



- Sehr hohe Datenraten bei guter Verbindung (~ Sichtverbindung)
- Anpassung der Modulation an die Entfernung von Basisstation

[Quelle: Nokia Vortrag an THI 7/19, © 2019 Nokia]

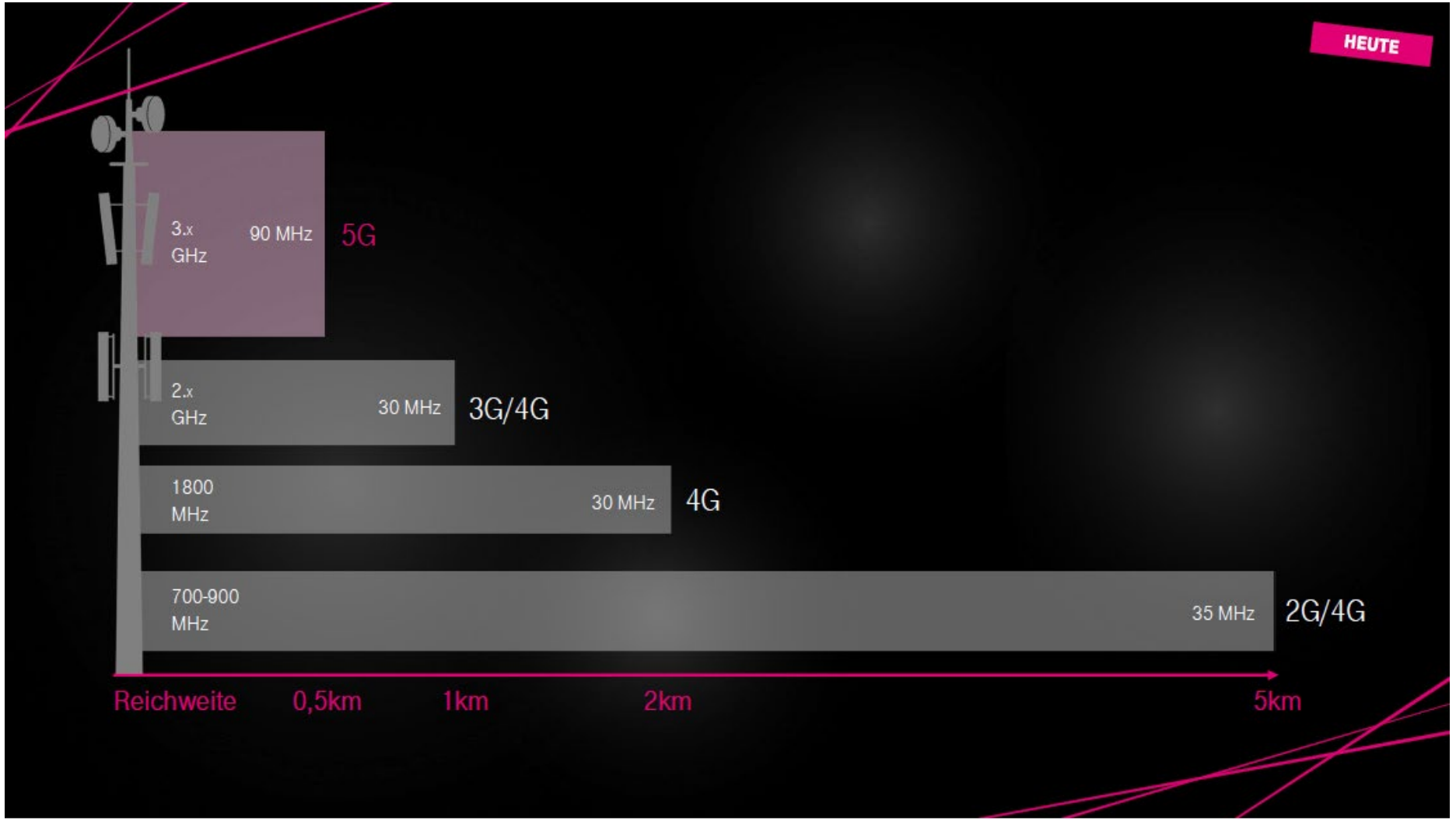
Welche Frequenzen werden für 5G vergeben



Neue Frequenzbänder für 5G.
Die bestehenden Frequenzen werden auch von 4G / 5G genutzt werden.

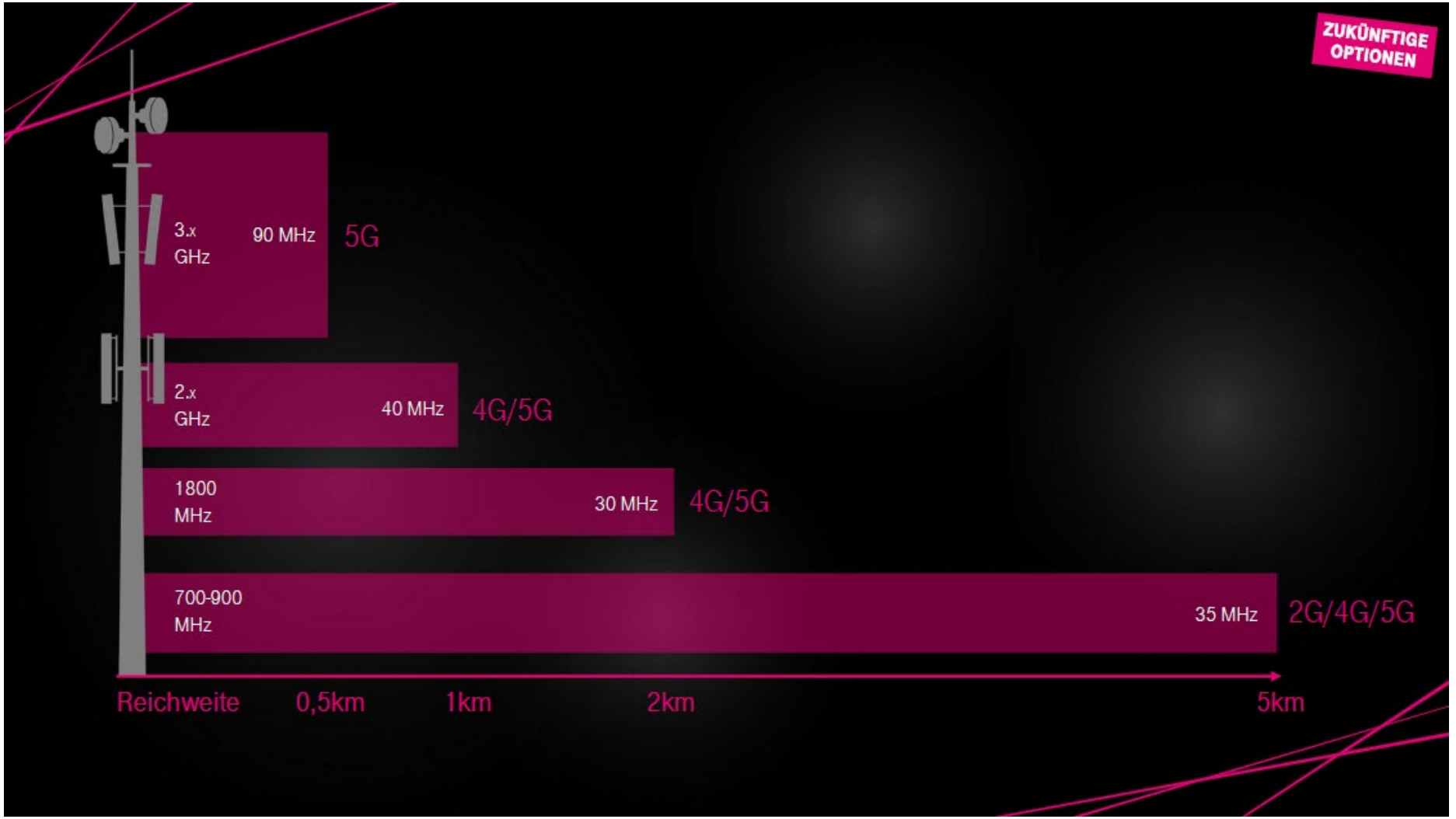
[Quelle: Nokia Vortrag an THI 7/19, © 2019 Nokia]

Frequenz-Nutzung heute bei DT



[Quelle: Vortrag Dirk Wössner zu 5G, DT, 11/19, © 2019 Deutsche Telekom]

Frequenz-Nutzung geplant bei DT

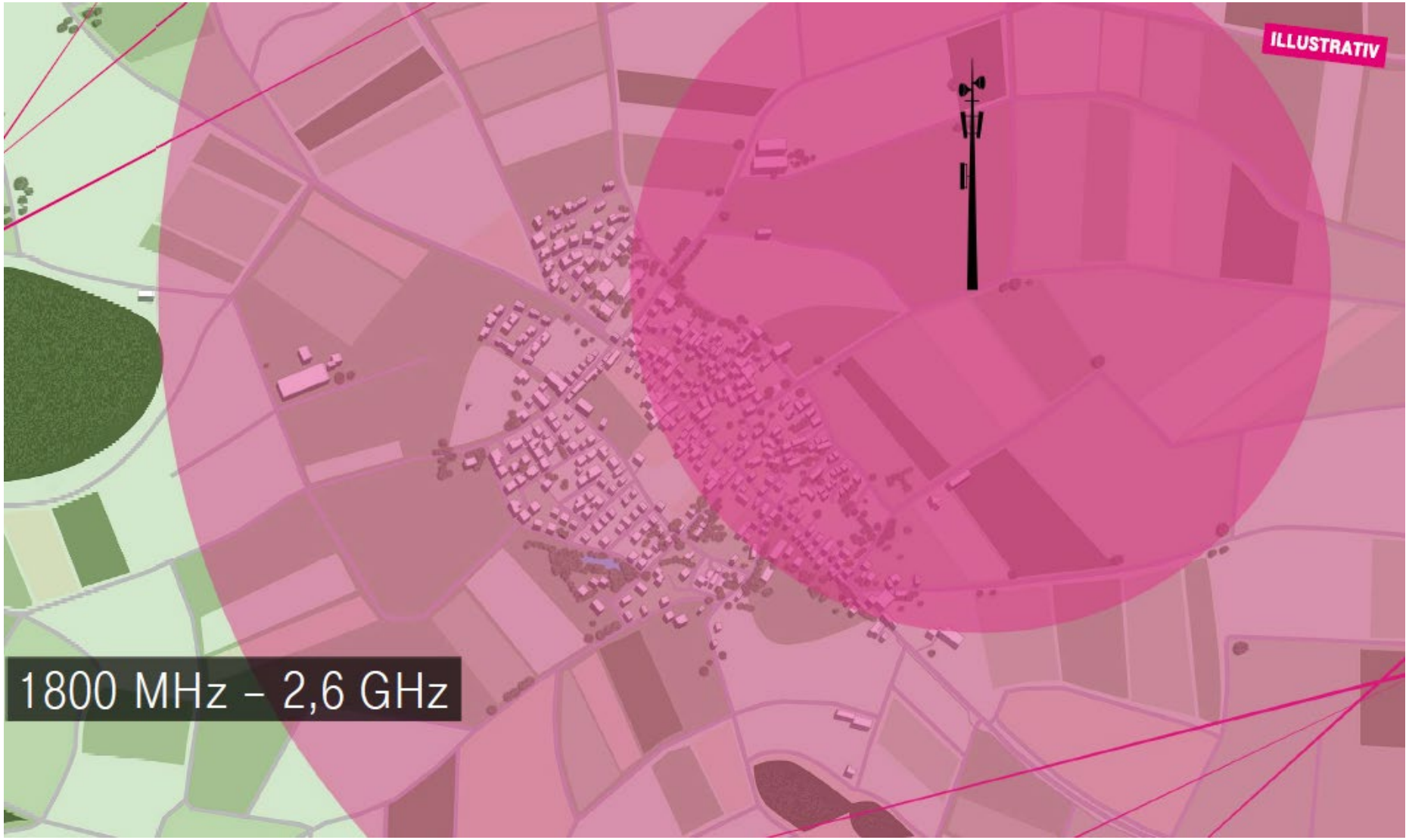


[Quelle: Vortrag Dirk Wössner zu 5G, DT, 11/19, © 2019 Deutsche Telekom]

Versorgung eines Dorfs: 1. im Low-Band

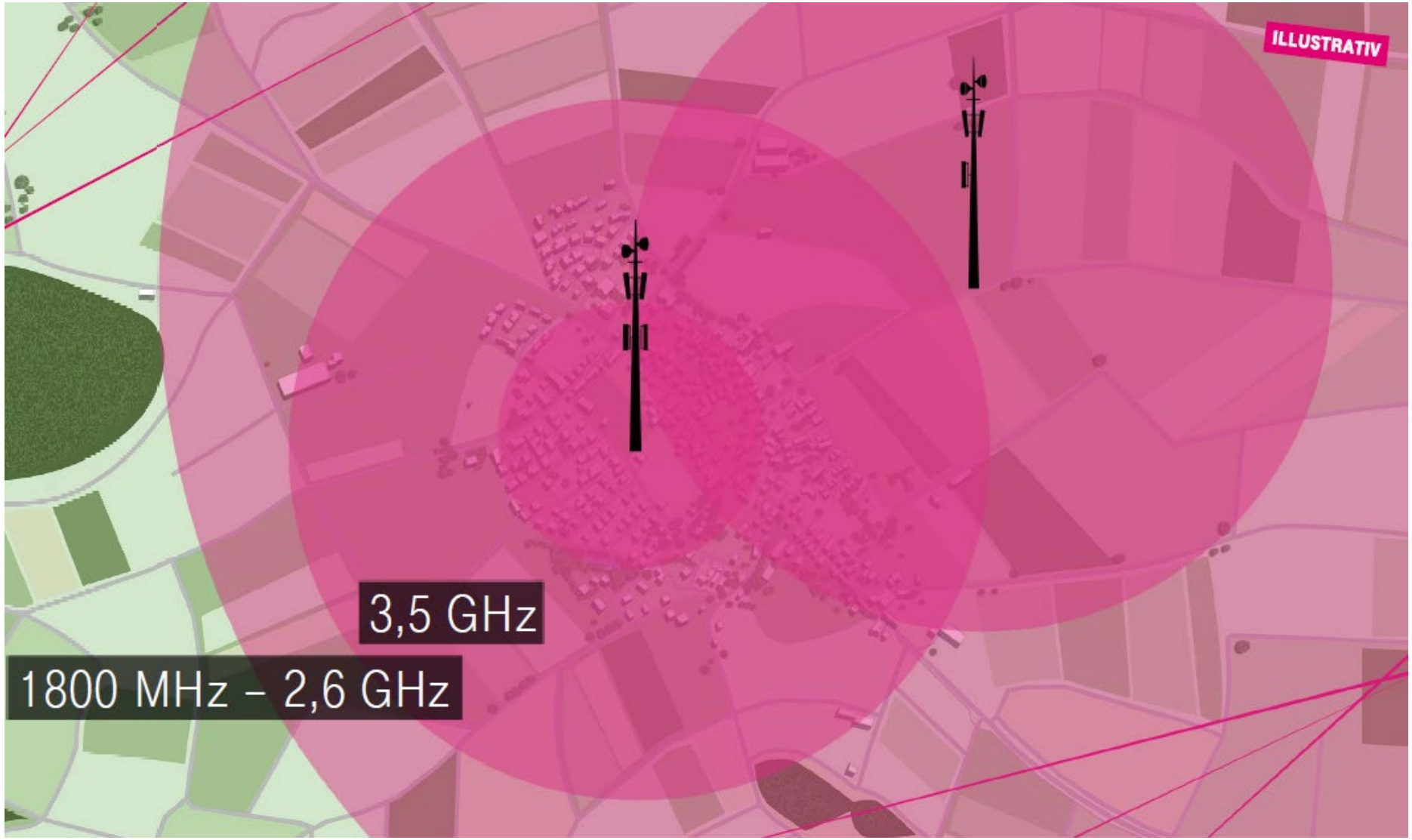
[Quelle: Vortrag Dirk Wössner zu 5G, DT, 11/19, © 2019 Deutsche Telekom]

Versorgung eines Dorfs: 2. zusätzlich mid-Band



[Quelle: Vortrag Dirk Wössner zu 5G, DT, 11/19, © 2019 Deutsche Telekom]

Versorgung eines Dorfs: 3. Ergänzung high-Band



[Quelle: Vortrag Dirk Wössner zu 5G, DT, 11/19, © 2019 Deutsche Telekom]

Netzabdeckung DT

- **2019:**
  - Flächenabdeckung LTE: 87 %
  - Pop-Coverage: (Bewohnte Gebiete): 97,9%
  - 30.000 Standorte (Funkmasten)

- **2025:**
  - Flächenabdeckung 5G: 90 %
  - Pop-Coverage: (Bewohnte Gebiete): 99%
  - 40.000 Standorte (Funkmasten)
  - Abdeckung der wichtigen Verkehrswege (Auflage aus der Lizenzvergabe)

[Quelle: Vortrag Dirk Wössner zu 5G, DT, 11/19, © 2019 Deutsche Telekom]

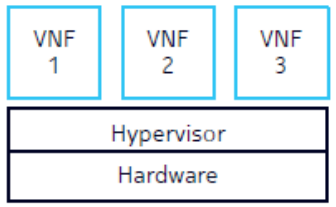
Der Netz Core bei 5G

Im Netz Core (5G Next Gen Core) werden die aktuellen Prinzipien eingesetzt

- Virtualisierung
- Cloud Architektur

Virtualized packet core

- Inefficient resource utilization
- Inflexible capacity scaling
- Inflexible resiliency

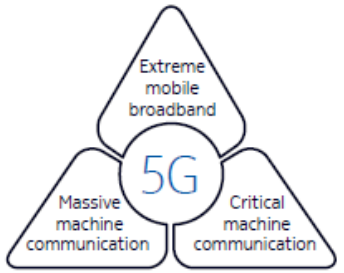


Cloud-native packet core

- Cloud native architecture
- Multi-access connectivity
- Cellular IOT optimizations
- Connectionless services

5G NGC

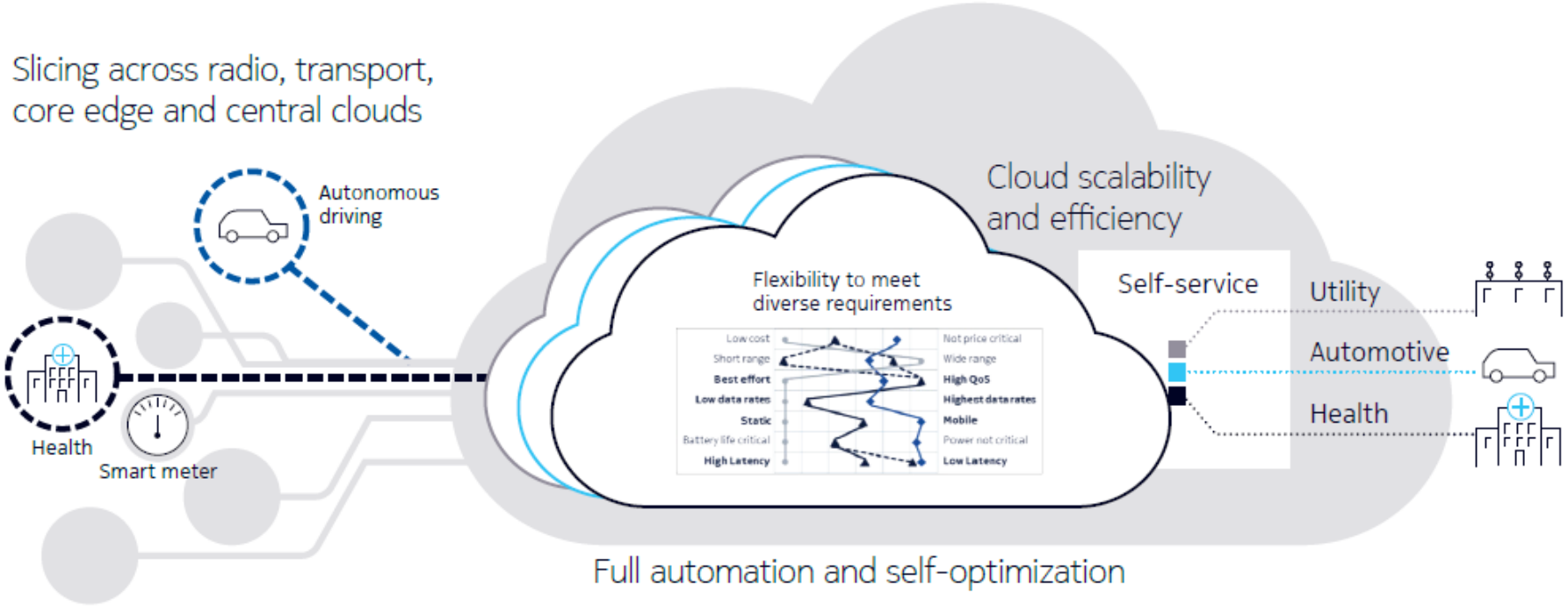
- New network functions
- New QoE mechanisms
- Expanded network slicing
- Evolved connectionless services



Cloud-native architecture to deliver massive scalability, performance, flexibility and reliability to meet the economics of IoT/MTC and broadband evolution, and a foundation for 5G

[Quelle: Nokia White paper Connecting people and things in the connected world]

5G Netze müssen sehr unterschiedliche Anforderungen erfüllen



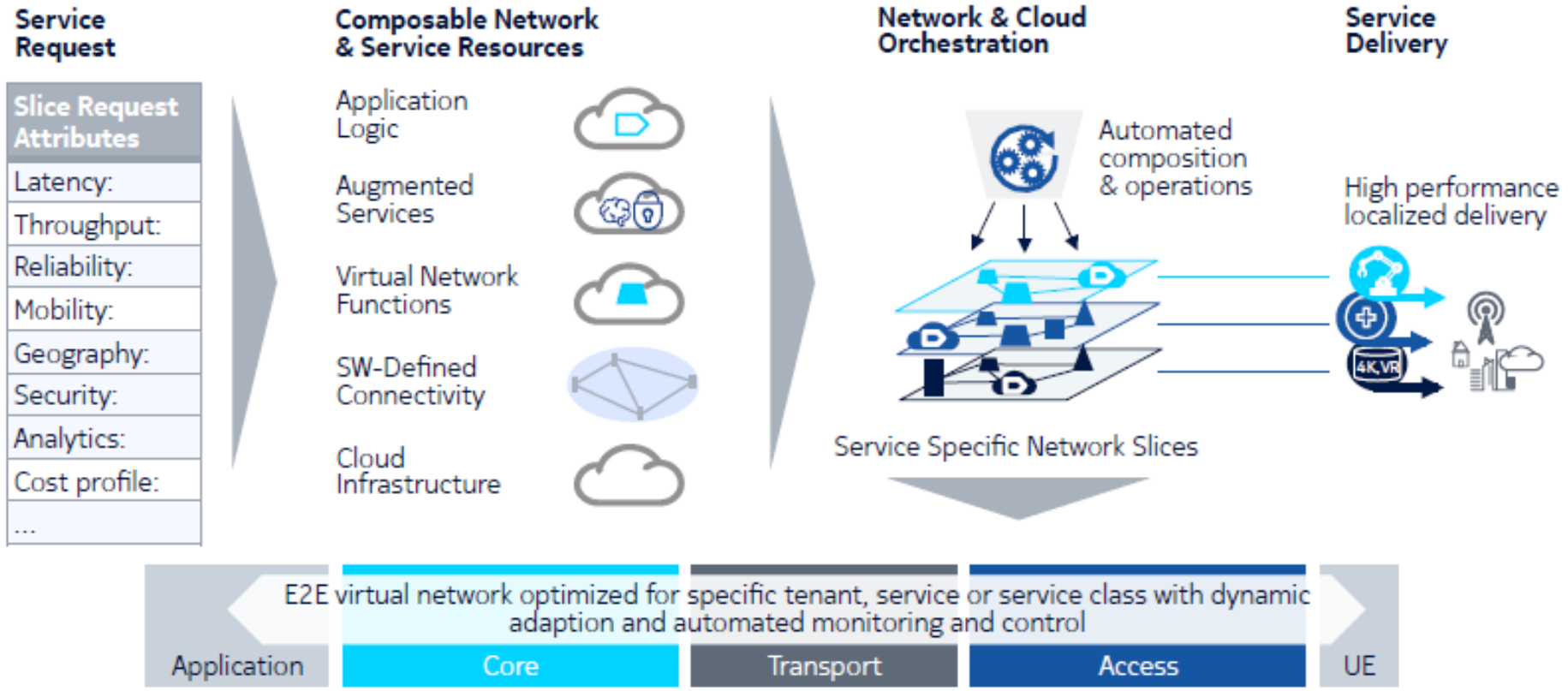
Unterschiedliche (sich widersprechende) Eigenschaften für unterschiedliche Anwendungen:

- Extrem Hohe Bandbreiten
- Extrem kurze Verzögerung (Latenzzeit)
- Extreme Zuverlässigkeit (=> Industrie 4.0)
- Sehr geringe Datenraten, hohe Reichweiten und geringer Energieverbrauch (IoT)

[Quelle: Nokia White paper Connecting people and things in the connected world]

Network Slicing

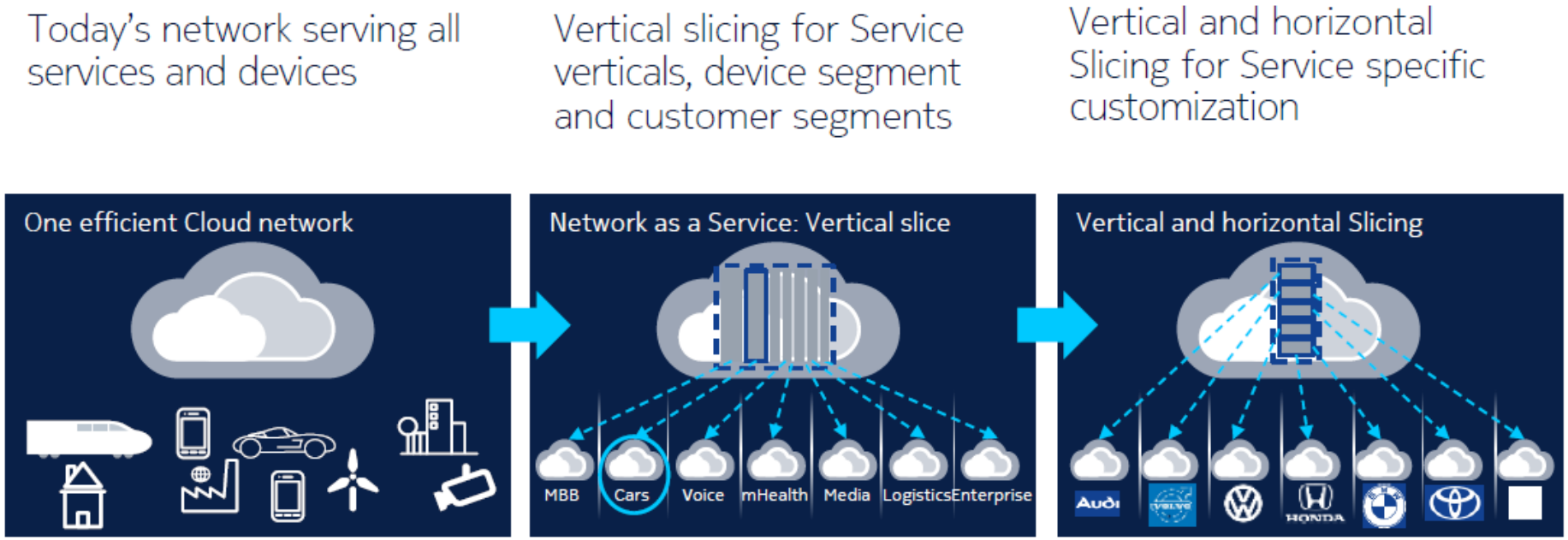
Figure 1. Network slicing partitions common network infrastructure into multiple, logical, end-to-end, virtual network instances to provide customized virtual private services



https://www.youtube.com/watch?v=d8kNqdQeApU&feature=youtu.be

[Quelle: Nokia White Unleashing the economic potential of network slicing]

Network Slicing: Anpassung an die unterschiedlichen Anforderungen



Network Slicing: Logische Aufteilung des Netzes nach

- Anwendungen / Anforderungstypen (vertikal)
- Unterschiedlichen Kunden einer Branche / Industrie (horizontal)

Kriterien: Latency, throughput, redundancy, mobility, security, coverage, TCO

(Dadurch bleiben auch die Nutzer / Technologien pro Slice besser beherrschbar)

[Quelle: Nokia Vortrag an THI 7/19, © 2019 Nokia]