



Januar 2020

---

# Faktenblatt 5G

## Ein einleitender Überblick

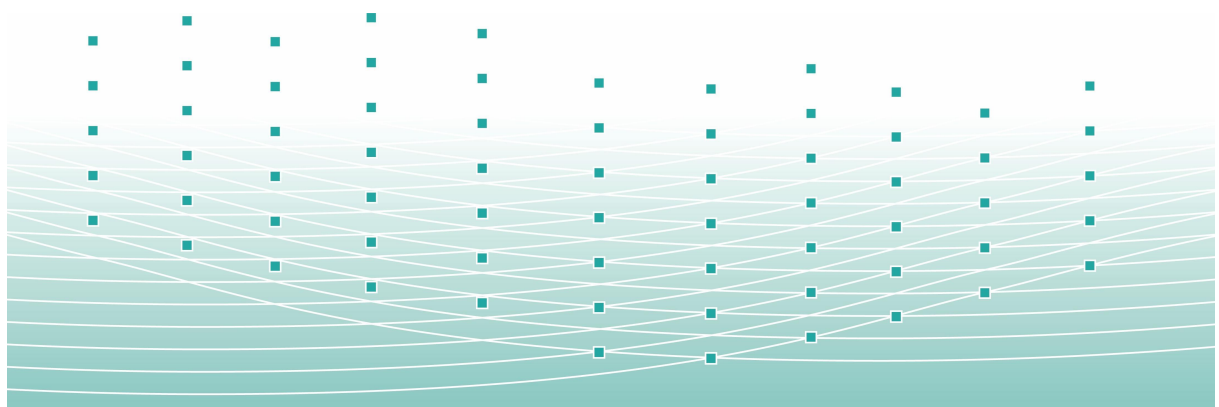
---

### Zusammenfassung

Jedes Jahr verdoppelt sich die Datenmenge, die wir über das Mobilfunknetz übertragen. Mit der Einführung der dritten Mobilfunkgeneration (3G, UMTS) Mitte der 2000er-Jahre und der vierten Generation (4G, LTE) ab 2012 konnte der Bedarf bisher gedeckt werden. Nun stossen diese Technologien jedoch an ihre Grenzen. Die Einführung von 5G wird unter anderem für eine höhere Anzahl aktiver Verbindungen und eine deutliche Erhöhung der Datenübertragungskapazitäten sorgen.

5G-Netze stellen im Bereich der mobilen Kommunikation einen bedeutenden Evolutionsschritt dar, da sie die Tür zu neuen Einsatzbereichen öffnen, insbesondere im Bereich des Internets der Dinge (IoT), der Kommunikation zwischen Maschinen (M2M), der Ultra-Breitband- oder Echtzeit-Anwendungen.

Dieses Faktenblatt zeigt die Hintergründe, Eigenschaften, Anwendungsbereiche und Neuerungen des neuen Mobilfunkstandards 5G auf.



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Was ist 5G und was bringt es?.....	1
1.2	Wachsende Datenvolumen .....	2
1.3	Weltweite Zahl mobiler Teilnehmeranschlüsse.....	3
1.4	Welche Länder setzen 5G ein? .....	4
<b>2</b>	<b>Einsatzbereiche von 5G</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>5G-Technologie</b> .....	<b>6</b>
3.1	Standardisierung .....	6
3.2	5G-Gesamtarchitektur .....	6
3.3	Das Funkzugangsnetz.....	8
3.4	Das Kernnetz 5G CN.....	12
3.5	Netzwerk-Slicing.....	12
3.6	Lokales Hosting von Diensten und Edge-Computing .....	14
<b>4</b>	<b>Frequenzen</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Abkürzungen</b> .....	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Referenzen</b> .....	<b>16</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Was ist 5G und was bringt es?

5G ist die nächste Generation der mobilen Kommunikationssysteme. Es ist die logische Fortführung der vorhergehenden Mobilfunksysteme und baut weitgehend auf 4G LTE auf. Die Technologie 5G umfasst im Wesentlichen eine neue Luftschnittstelle (Funkzugangsnetz) und eine neue Kernnetzarchitektur (mehr darüber in Kapitel 3.2). Die neue Luftschnittstelle des 5G-Systems wird als «5G New Radio» (5G NR) und das neue Kernnetz als «5G Core Network» (5G CN, auch 5GC) bezeichnet.

Die Leistungsmerkmale von 5G im Vergleich zu 4G sind folgende:

- bis zu 100-mal höhere Datenraten zur Bewältigung des stark wachsenden mobilen Datenvolumens und damit eine höhere Systemkapazität (1000-mal höhere Datenübertragungskapazität/km<sup>2</sup>)
- kürzere Verzögerungszeit (Latenz) bei Datenübertragungen innerhalb des 5G-Systems und damit eine kürzere Reaktionszeit der Endkunden-Fernmeldedienste
- höhere Anzahl gleichzeitig verbundener Endgeräte (bis zu 1 Million pro km<sup>2</sup>) im Hinblick auf das Internet der Dinge (IoT)
- Unterstützung von Frequenzen oberhalb 6 GHz für den künftigen Ausbau der Mobilfunknetze

Diese erheblichen Fortschritte rechtfertigen die Bezeichnung als neue Mobilfunkgeneration. Im Gegensatz zu den bisherigen Systemen ermöglicht 5G Verbindungen mit garantierbaren Übertragungsgeschwindigkeiten und geringeren, zugesicherten Latenzzeiten sowie zuverlässigere Verbindungen, längere Batterielaufzeiten der Endgeräte und eine anwendungsbezogene Netzwerk-Segmentierung (Network-Slicing, parallele virtuelle Mobilfunknetze; siehe Kapitel 3.5).

Diese Eigenschaften eröffnen neue Innovationsmöglichkeiten für mobile Fernmeldedienste (vgl. Kapitel 2). Der Technologie 5G wird daher ein grosses Nutzenpotenzial zugeschrieben.

## 1.2 Wachsende Datenvolumen

Der mobile Datenverkehr wächst stetig. Im Jahr 2017 wurden ca. 56 Prozent des Datenvolumens durch Videos (Bildübertragungen in Bereichen wie Unterhaltung, Produktion, Bildung, Videokonferenzen, Überwachung, Medizin, Virtual und Augmented Reality) generiert. Dieser Anteil dürfte im Jahr 2023 voraussichtlich auf rund 73 Prozent steigen (Abbildung 1). Vertreterinnen und Vertreter der Mobilfunkindustrie rechnen damit, dass mobiles Breitband in Zukunft weiterhin ein wichtiger Bestandteil der mobilen Kommunikation sein wird.

### Mobile traffic by application category

Unit: EB/month

Video | Social Networking | Audio | Web Browsing | Software Update | File Sharing | Other

All devices

Year: 2014 - 2024

Source: Ericsson (June 2019)

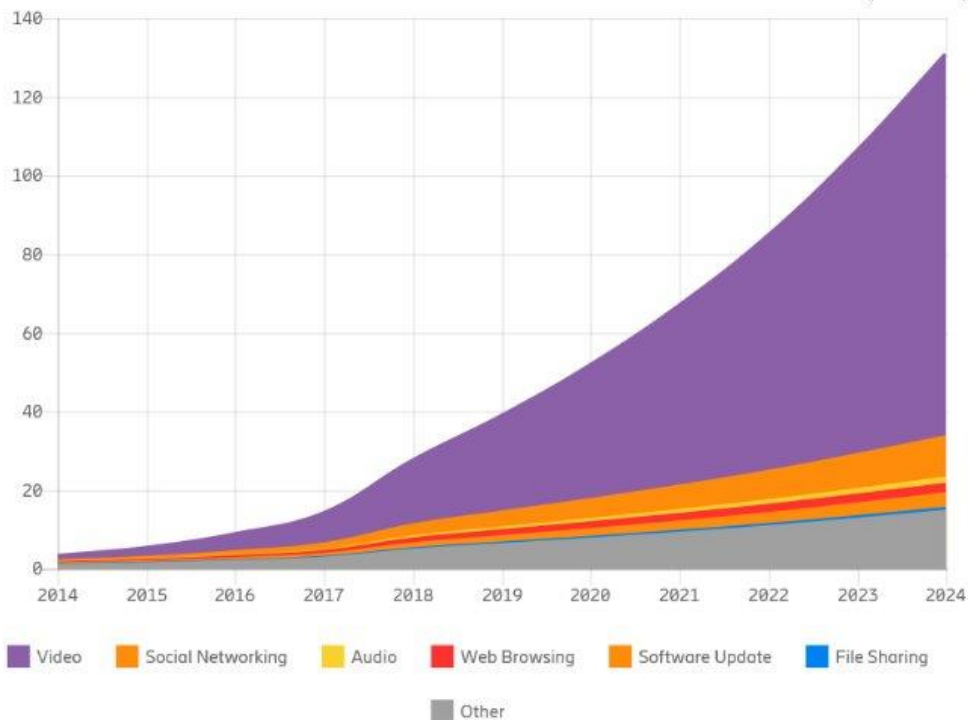


Abbildung 1: Mobiles Datenverkehrsvolumen nach Anwendungskategorie (in Exabytes = 1 Milliarde Gigabytes,  $10^{18}$ ) (Quelle: Ericsson) [1]

### 1.3 Weltweite Zahl mobiler Teilnehmeranschlüsse

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Zahl der Abonnemente für die wichtigsten Mobilfunktechnologien sowie die prognostizierte Abonnementzahl bis 2024. Bis Ende 2024 wird es weltweit schätzungsweise 1,8 Milliarden 5G-Abonnemente für *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) geben, obwohl LTE-Abonnemente weiterhin den grössten Anteil (ca. 5 Mia.) ausmachen werden. In Westeuropa werden es bis Ende 2024 schätzungsweise 220 Millionen 5G-Abonnemente und 300 Millionen LTE-Abonnemente sein.

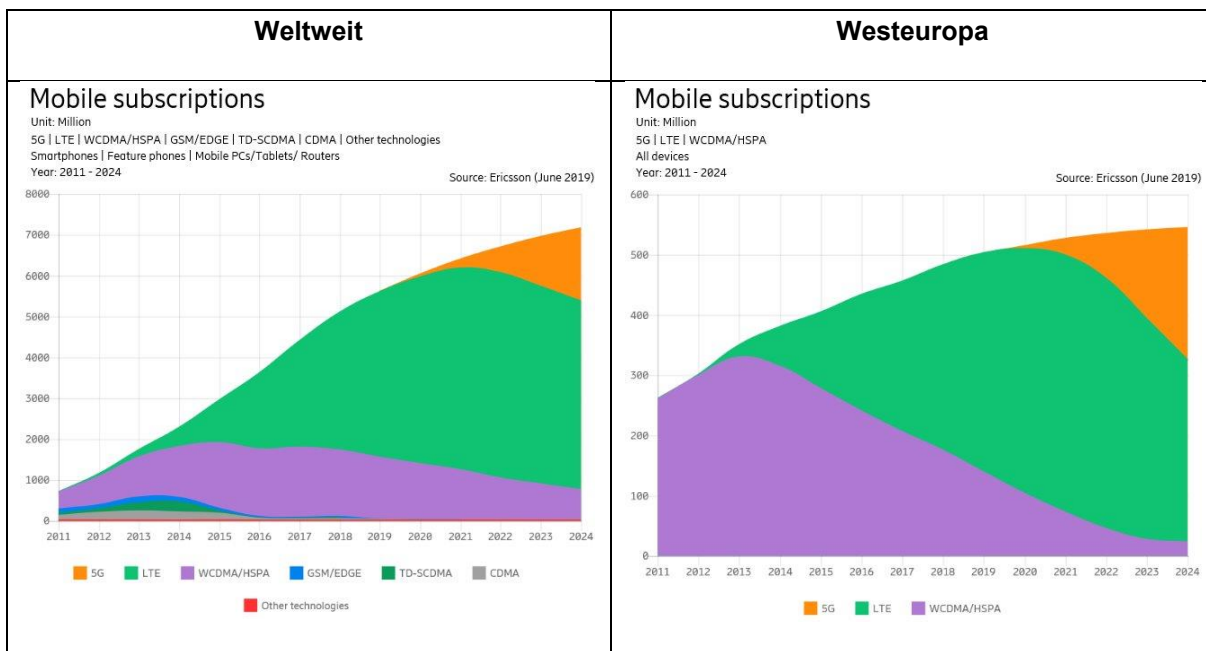


Abbildung 2: Anzahl Mobilfunkabonnemente weltweit und in Westeuropa nach Mobilfunktechnologien (in Millionen) (Quelle: Ericsson) [1]

#### 1.4 Welche Länder setzen 5G ein?

Die Zahl der Länder, die in 5G-Technologien investieren oder in denen Labortests, Pilotprojekte und Feldversuche durchgeführt werden, steigt deutlich an (Abbildung 3). Gemäss der *Global Supplier Association* (GSA), der Vereinigung der Lieferanten von Komponenten für Mobilfunknetzwerke, arbeiten im Juli 2019 insgesamt 293 Betreiberinnen in 98 Ländern an der Einführung von 5G-Diensten.

Die EU-Kommission hat ein 5G-Observatorium in Auftrag gegeben, um den Stand der Einführung von 5G in der EU wie auch im Rest der Welt zu verfolgen. [2]

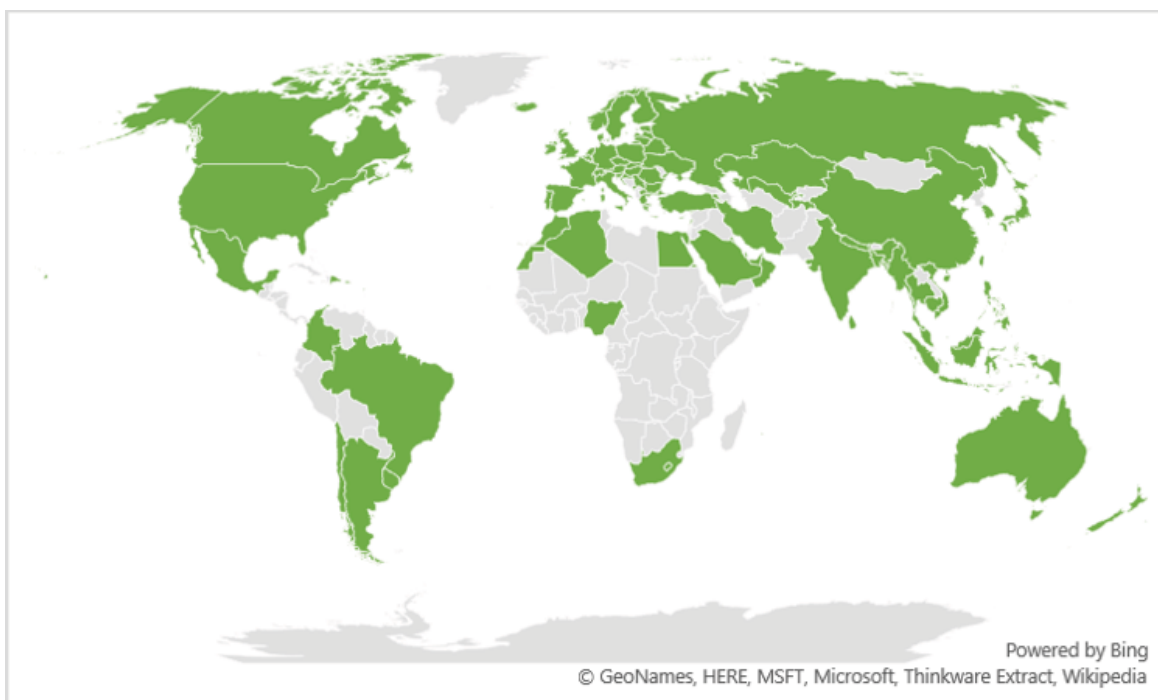


Abbildung 3: Länder mit Netzbetreiberinnen, die in 5G investieren (Quelle: GSA) [3]

## 2 Einsatzbereiche von 5G

Die Internationale Fernmeldeunion (ITU) sieht drei Einsatzbereiche für 5G vor: verbessertes mobiles Breitband (*Enhanced Mobile Broadband*, eMBB), ultra-zuverlässige Kommunikation mit geringer Latenz (*Ultra-Reliable Low Latency Communication*, URLLC) und *Massive Machine-Type Communication* (mMTC) (siehe Abbildung 4). Die Hauptmerkmale der Einsatzbereiche sind in Tabelle 1 beschrieben.

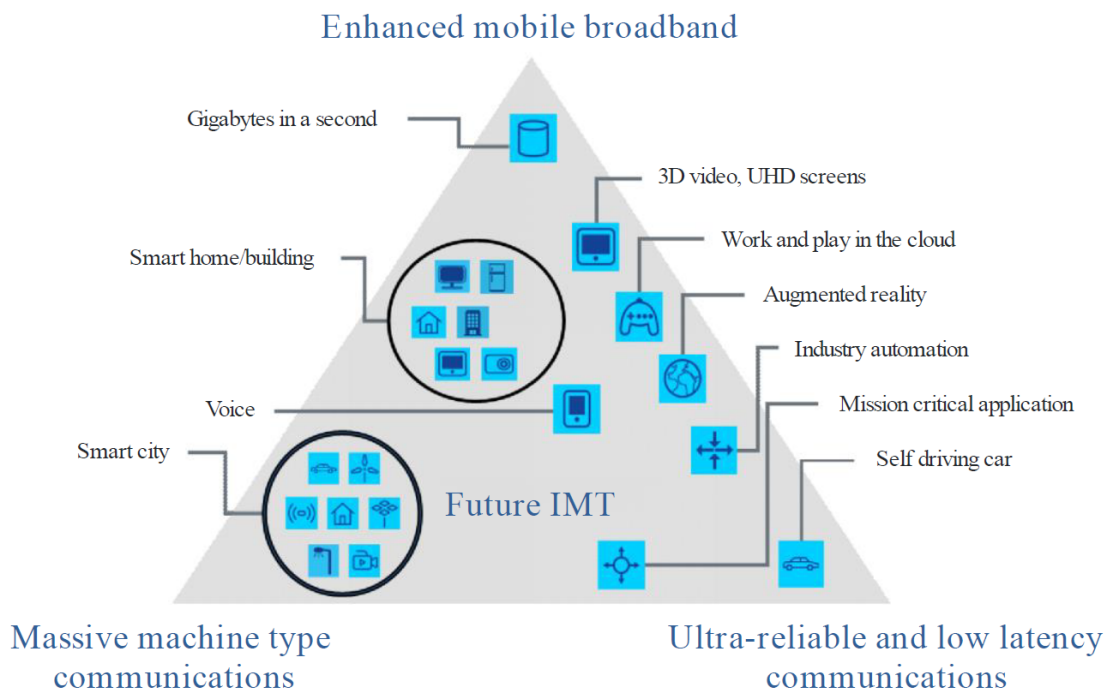


Abbildung 4: Einteilung der 5G-Anwendungen in drei Einsatzbereiche (Quelle: ITU) [4]

<b>Enhanced Mobile Broadband (eMBB)</b>	<b>Massive Machine-Type Communication (mMTC)</b>	<b>Ultra-Reliable and Low Latency Communication (URLLC)</b>
Die Hauptmerkmale dieses Einsatzbereiches sind: hohe und variable Datenraten (bis 20 Gbit/s) sowie eine hohe Teilnehmerdichte und Mobilität (z. B. in Hochgeschwindigkeitszügen). Der verbesserte mobile Breitbandzugang ermöglicht einen zunehmend nahtlosen Übergang zwischen Fest- und Mobilfunknetz.	Dieser Anwendungsbereich zeichnet sich durch eine sehr grosse Anzahl von vernetzten Geräten aus (Internet der Dinge, IoT), die typischerweise ein geringes Volumen (wenige Bytes) an zeitunkritischen Daten übertragen (z. B. Wasserzähler). Die Geräte müssen kostengünstig sein und eine sehr lange Autonomie haben (Batterielebensdauer bis 10 Jahre).	Charakteristisch für diesen Einsatzbereich sind zuverlässige und/oder zeitkritische Verbindungen mit garantierbaren Übertragungsgeschwindigkeiten, zugesicherten Latenzzeiten von wenigen Millisekunden und einer definierten Ausfallwahrscheinlichkeit. Beispiele sind die Fernsteuerung von Maschinen, das Energiemanagement in Smart Grids oder die Fahrzeugsteuerung.

Tabelle 1: Hauptmerkmale der Einsatzbereiche von 5G

Die neuen Einsatzbereiche und Anwendungen stellen sehr unterschiedliche technische Anforderungen an die Netzwerke. So ist beispielsweise bei automatisiert fahrenden Fahrzeugen eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit (kurze Zeitverzögerung, Latenz) entscheidend, während bei anderen Anwendungen die Latenz eine weniger grosse Rolle spielt, dafür aber eine hohe Datenrate (z. B. bei Streamingdiensten) oder eine definierte Ausfallwahrscheinlichkeit (z. B. bei Alarmanlagen und Produktionsüberwachungen) ausschlaggebend sind.

### 3 5G-Technologie

#### 3.1 Standardisierung

Das Standardisierungsgremium 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) entwickelt die Spezifikationen und Normen des 5G-Systems. 3GPP ist eine Kooperation von Standardisierungsorganisationen und Vertreterinnen und Vertretern aus der Industrie und gehört organisatorisch zum Europäischen Institut für Telekommunikationsnormen (ETSI) mit Sitz in Südfrankreich.

Im Gegensatz zu früheren Mobilfunksystemen wurde 5G auf Grundlage von zuvor definierten Einsatzbereichen standardisiert. Aus der Standardisierung resultierten flexible Kommunikationsparameter (Kapitel 3.3), um verschiedene Datendienste für die drei in Tabelle 1 beschriebenen Einsatzbereiche anzubieten.

Im Juni 2018 veröffentlichte 3GPP die 5G-NR-Spezifikation für den Standalone-Betrieb (siehe Kapitel 3.2) als Release 15 (Abbildung 5). Es handelt sich um die erste 5G-Spezifikation. Release 16 und 17 sind in Vorbereitung (Stand Dezember 2019).

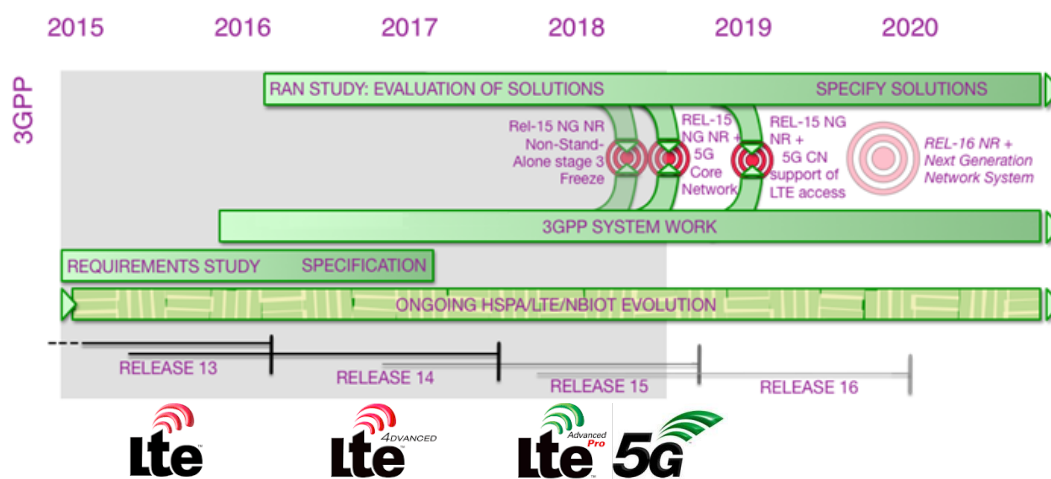


Abbildung 5: Zeitplan der 5G-Standardisierung (Quelle: ETSI / 3GPP)

#### 3.2 5G-Gesamtarchitektur

Ein Mobilfunksystem besteht im Wesentlichen aus dem Kernnetz (Transport- und Steuerungsnetz) und dem Funkzugangnetz (Abbildung 6). Das Kernnetz verbindet die Sendestandorte untereinander und transportiert die Nutzerdaten und Steuersignale zwischen den Sendestandorten und anderen Fernmeldenetzen (andere Telefonnetze, Internet usw.). Das 4G-Kernnetz trägt den Namen «Evolved Packet Core» (EPC), das 5G-Kernnetz heisst «5G Core Network» (5G CN). Das Funkzugangnetz besteht aus den Sendestandorten (Basisstationen) und ist die Schnittstelle zu den Endgeräten.



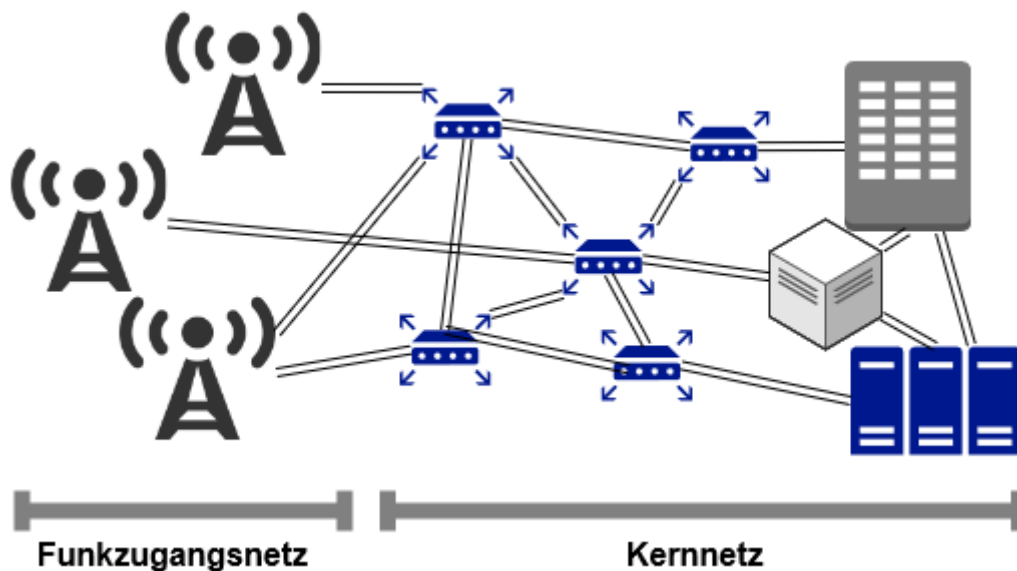


Abbildung 6: 5G-Gesamtarchitektur (Quelle: BAKOM)

Die Netzbetreiberinnen haben gemäss 5G-Standard die folgenden Möglichkeiten, 5G-Basisstationen anzuschliessen (Abbildung 7):

- a) Die Non-Standalone-Architektur (NSA) nutzt das bestehende Funk- und Kernnetz von 4G. Es ist ein erster Schritt in Richtung vollständiger 5G-Implementierung, erfordert jedoch eine gleichzeitige Verbindung über 4G (*Dual Connectivity, DC*).
- b) Bei der Standalone-Implementierungsoption (SA) besteht das 5G-System aus dem neuen 5G-Kernnetz (5GC oder 5G CN) und dem 5G-Funkzugangsnetz (NR). Dabei werden die LTE-Knoten weiterhin als 4G-Netzzugang verwendet.

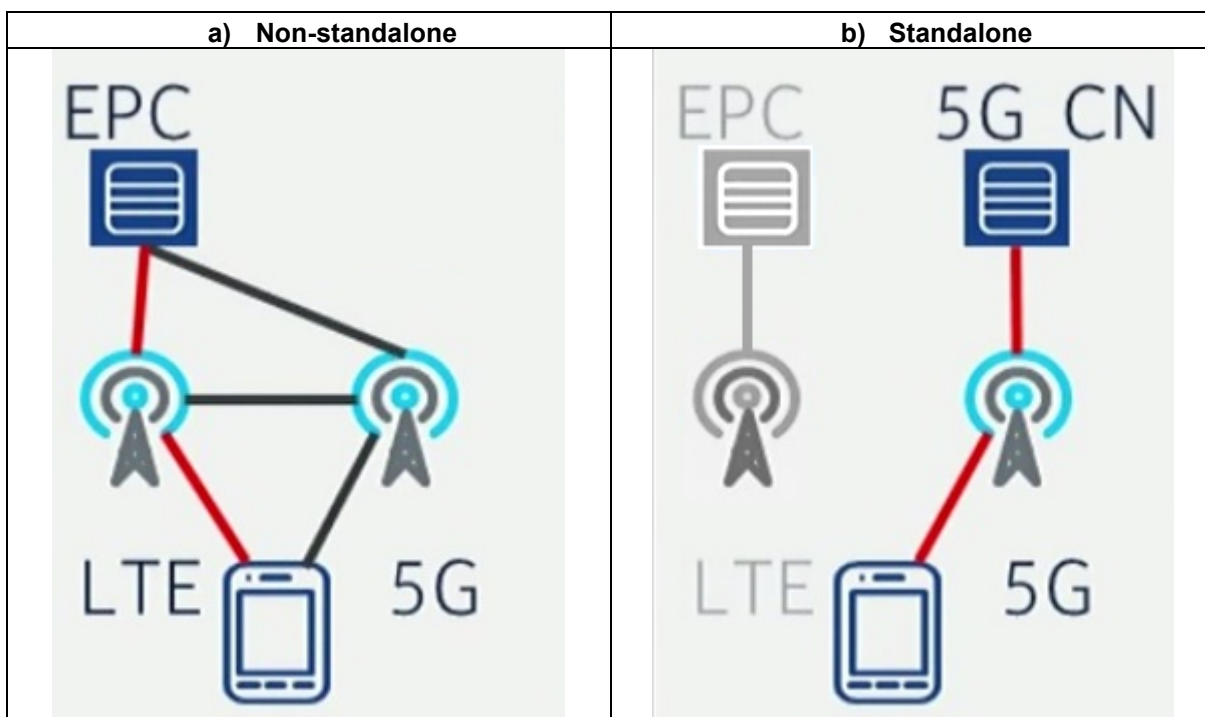


Abbildung 7: Die Implementierungsoptionen der 5G-Architektur (Quelle: 3GPP, BAKOM)

### 3.3 Das Funkzugangsnetz

Das Funkzugangsnetz stellt via die Luftschnittstelle (5G NR) die Verbindung zwischen dem Kernnetz (5G CN) und den Endgeräten her. Die Hauptmerkmale der 5G-NR-Luftschnittstelle im Vergleich zur LTE-Luftschnittstelle sind die folgenden [5]:

- orthogonales Frequenzmultiplexing (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*, OFDM) als Modulationsart im Uplink<sup>1</sup> (gleich wie im Downlink<sup>2</sup>)
- flexible Modulationsparameter (OFDM) für neue Einsatzbereiche (vgl. Kapitel 2) und für die Nutzung künftiger Frequenzbereiche oberhalb 6 GHz
- Quadratur-Amplitudenmodulation mit 1024 Symbolen (1024-QAM) für die Breitbandkommunikation bei Sichtverbindung zwischen Sende- und Empfangsantenne
- Anpassung der zeitlichen Rahmenstruktur des Funkprotokolls für verkürzte Latenz, Energieeinsparung sowie die flexiblere und schnellere Verfügbarkeit von Funkressourcen für die Netzzugriffe
- Verwendung erweiterter Mehrantennensysteme (MIMO) zur Kompensation der Ausbreitungsdämpfung des Sendesignals vor allem, aber nicht nur, bei höheren Frequenzen (ab 3,6 GHz); 5G NR unterstützt bis zu 32 Sendeantennen in der Basisstation und 4 Empfangsantennen im Endgerät (abhängig vom Frequenzband, siehe Kapitel 3.3.1)
- erweiterte Bündelung von Frequenzträgern zu einer einzelnen Verbindung (Carrier-Aggregation, CA, siehe Kapitel 3.3.3)

#### 3.3.1 MIMO

Das Mehrantennensystem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) wurde bereits in früheren Generationen von Mobilfunksystemen eingesetzt und wird bei 5G eine noch wichtigere Rolle spielen.

Im Vergleich zum ersten LTE-Release, bei dem mit bis zu 4 Sendeantennen in der Basisstation und 2 Empfangsantennen im Endgerät gearbeitet werden konnte, unterstützt NR bis zu 32 Sendeantennen in der Basisstation und 4 Empfangsantennen im Endgerät (abhängig vom Frequenzband, siehe Kapitel 4). Dabei werden die zu übermittelnden Daten, wenn möglich, auf alle Sendeantennen aufgeteilt und parallel zu den Empfangsantennen übertragen. Im Endgerät werden die parallel empfangenen Datenströme zur übertragenen Information zusammengefügt.

Durch die Nutzung von MIMO wird die spektrale Effizienz (Bitrate pro Kanalbandbreite, Mbit/s/Hz) erhöht. Bei NR wird MIMO zudem in jeder Phase der Funkübertragung verwendet: Netzsuche, Verbindungsaufbau, Signalisierungs- und Datenübertragung usw.

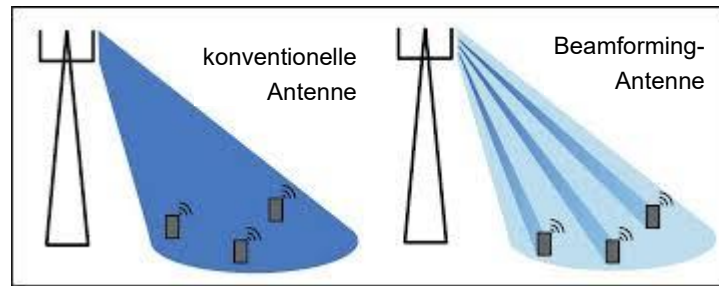
#### 3.3.2 Beamforming

Die frequenzabhängige Sendesignalabschwächung kann mithilfe von Beamforming, d. h. die gezielte Ausrichtung der Sendeantenne auf die einzelnen Endgeräte, teilweise kompensiert werden.

---

<sup>1</sup> Endgerät sendet, Basisstation empfängt.

<sup>2</sup> Basisstation sendet, Endgerät empfängt.

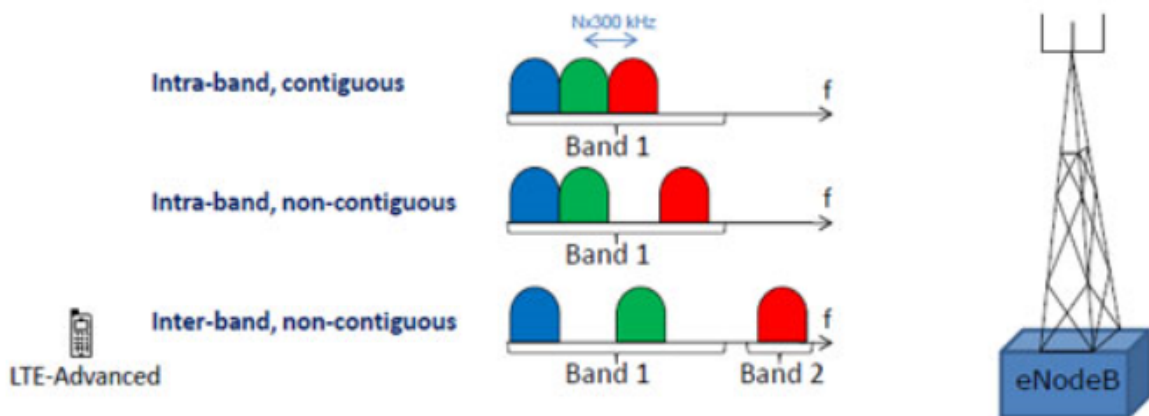


**Abbildung 8: Funkfeld ohne und mit Anpassung der Richtwirkung (Beamforming) (Quelle: Cerclair)**

Dadurch kann bei gleicher Sendeleistung der Basisstation ein stärkeres Empfangssignal im Endgerät erzeugt und somit eine höhere Datenrate erreicht werden.

### 3.3.3 Carrier-Aggregation

Bei der Carrier-Aggregation (CA) werden zwei oder mehr einzelne Funkkanäle (*Component Carrier*, CC) gebündelt, um grössere Übertragungsbandbreiten zu erreichen. Die CA ist nicht neu bei 5G NR, sondern bereits seit Release 10 in den technischen Spezifikationen von LTE enthalten. Sie wurde jedoch im Release 15 zu 5G NR gegenüber früheren Generationen erweitert. Die aggregierten Einzelkanäle können im selben Frequenzband nebeneinander (Intra-Band-Contiguous-Konfiguration), im selben Frequenzband mit Frequenzlücke (Intra-Band-Non-Contiguous-Konfiguration) oder in unterschiedlichen Frequenzbändern (Inter-Band-Konfiguration) liegen (Abbildung 9).



**Abbildung 9: Bündelung einzelner und zusammenhängender Funkkanäle zwischen der Basisstation (eNodeB) und dem Endgerät am Beispiel von LTE-Advanced (Quelle: 3GPP)**

Darüber hinaus ist mit 5G NR neu die gebündelte Nutzung von Trägern mit unterschiedlichen Kombinationen von Modulationsparametern möglich. Gemäss Release 15 können höchstens 16 5G-NR-Träger zu einer Verbindung aggregiert werden. Die Anzahl aggregierter 5G-NR-Einzelkanäle ist für den Downlink und den Uplink unabhängig konfigurierbar.

In den technischen Spezifikationen TS 38.101 des 3GPP sind die möglichen Bandkombinationen für die CA in Tabellen angegeben [6].

### 3.3.4 Datenraten

Die Spitzendatenrate ist die höchste Datenrate (in Bit/s), die unter idealen Bedingungen erreicht werden kann, d.h. die grösste Menge an Datenbits pro Zeiteinheit, die von einem einzelnen Endgerät unter der Annahme fehlerfreier Übertragung empfangen werden kann, wenn alle einer Verbindung zuweisbaren Funkressourcen für die entsprechende Verbindungsrichtung genutzt werden.

Neben der Spitzendatenrate wird die von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern erlebte Datenrate als die minimale Datenrate definiert, die zur Erreichung einer ausreichenden Qualität des Nutzungserlebnisses notwendig ist.

Die Anforderungen an die Datenrate hängen vom Anwendungsszenario des 5G-Systems ab: z. B. in städtischen und ländlichen Gebieten, in Büros und Wohnungen, in Hochgeschwindigkeitszügen oder bei Grossveranstaltungen. Die erlebten Datenraten für einige Szenarien sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

	Szenario	Erlebte Datenrate (DL)	Erlebte Datenrate (UL)	Flächenverkehrs-kapazität (DL)	Flächenverkehrs-kapazität (UL)	Gesamtnutzerdichte	Aktivitätsfaktor	Bewegungsgeschwindigkeit des Teilnehmergeräts	Abdeckung
1	Städtische Makrozellen	50 Mbit/s	25 Mbit/s	100 Gbit/s/km <sup>2</sup> (Anmerkung 4)	50 Gbit/s/km <sup>2</sup> (Anmerkung 4)	10 000/km <sup>2</sup>	20%	Fussgänger und Benutzer in Fahrzeugen (bis zu 120 km/h)	Vollständiges Netzwerk (Anmerkung 1)
2	Ländliche Makrozellen	50 Mbit/s	25 Mbit/s	1 Gbit/s/km <sup>2</sup> (Anmerkung 4)	500 Mbit/s/km <sup>2</sup> (Anmerkung 4)	100/km <sup>2</sup>	20%	Fussgänger und Benutzer in Fahrzeugen (bis zu 120 km/h)	Vollständiges Netzwerk (Anmerkung 1)
3	Indoor-Hotspot	1 Gbit/s	500 Mbit/s	15 Tbit/s/km <sup>2</sup>	2 Tbit/s/km <sup>2</sup>	250 000/km <sup>2</sup>	Anmerkung 2	Fussgänger	Büro und Wohnung (Anmerkung 2) (Anmerkung 3)
4	Breitbandzugang für Nutzeransammlungen	25 Mbit/s	50 Mbit/s	3,75 Tbit/s/km <sup>2</sup>	7,5 Tbit/s/km <sup>2</sup>	500 000/km <sup>2</sup>	30%	Fussgänger	Eingeschränkter Bereich
5	Dichtes städtisches Gebiet	300 Mbit/s	50 Mbit/s	750 Gbit/s/km <sup>2</sup> (Anmerkung 4)	125 Gbit/s/km <sup>2</sup> (Anmerkung 4)	25 000/km <sup>2</sup>	10%	Fussgänger und Benutzer in Fahrzeugen (bis zu 60 km/h)	Innenstadt (Anmerkung 1)
6	Rundfunkähnliche Dienste	Maximal 200 Mbit/s (pro TV-Kanal)	Nicht wahrgenommen oder bescheiden (z.B. 500 kbit/s pro Benutzer)	N/A	N/A	TV-Sender mit 20 Mbit/s auf einem Träger	N/A	Stationäre Benutzer, Fussgänger und Benutzer in Fahrzeugen (bis zu 500 km/h)	Vollständiges Netzwerk (Anmerkung 1)
7	Hochgeschwindigkeitszug	50 Mbit/s	25 Mbit/s	15 Gbit/s/Zug	7,5 Gbit/s/Zug	1 000/Zug	30%	Benutzer in Zügen (bis zu 500 km/h)	Entlang der Eisenbahn (Anmerkung 1)
8	Hochgeschwindigkeitsfahrzeug	50 Mbit/s	25 Mbit/s	100 Gbit/s/km <sup>2</sup>	50 Gbit/s/km <sup>2</sup>	4 000/km <sup>2</sup>	50%	Benutzer in Fahrzeugen (bis zu 250 km/h)	Entlang der Strassen (Anmerkung 1)
9	Versorgung von Flugzeugen	15 Mbit/s	7,5 Mbit/s	1,2 Gbit/s/Flugzeug	600 Mbit/s/Flugzeug	400/Flugzeug	20%	Benutzer in Flugzeugen (bis zu 1 000 km/h)	(Anmerkung 1)

Bei den Werten in dieser Tabelle handelt es sich um Richtwerte und keine strengen Anforderungen.

- ANMERKUNG 1: Für Benutzer/innen in Fahrzeugen kann das Teilnehmergerät direkt oder über einen fahrzeugseitigen Mobilfunkrouter mit dem Netzwerk verbunden werden.
- ANMERKUNG 2: Es wird ein gewisser Verkehrsmix angenommen. Nur wenige Nutzer/innen verwenden Dienste, die die höchsten Datenraten erfordern.
- ANMERKUNG 3: Für interaktive Audio- und Videodienste, wie beispielsweise virtuelle Meetings, beträgt die erforderliche Ende-zu-Ende-Latenz (UL und DL) 2–4 ms, während die entsprechende erlebte Datenrate für 3D-Videos bis zu 8K rund 300 Mbit/s im Uplink und Downlink betragen muss.
- ANMERKUNG 4: Diese Werte werden basierend auf der Gesamtnutzerdichte abgeleitet. Detaillierte Informationen finden sich im Referenzdokument.

**Tabelle 2: Leistungsanforderungen für Szenarien mit hoher Datenrate und Verkehrsdichte [7]**

### 3.3.5 Latenz

Latenz (Verzögerungszeit) ist die Zeit, die in einem Netzwerk zur Übertragung von Daten von einem Punkt zum anderen benötigt wird. In einem Mobilfunknetz ist dies die Zeit, die erforderlich ist, um Benutzerdaten, Netzsteuerbefehle usw. zwischen Basisstation und Endgerät zu übertragen.

Die Gesamtlatenz einer Übertragung hängt von der Verzögerung der Luftschnittstelle, der Verzögerung innerhalb des Kernnetzes, der Verzögerung an einen Server, der sich möglicherweise außerhalb des 5G-Systems befindet, und der Verarbeitungszeit der Anfrage auf dem Server ab. Jede Teilstrecke und jedes beteiligte Netzwerkelement liefert demnach einen Beitrag zur gesamten Verzögerung. Einige dieser Faktoren hängen direkt vom 5G-System selbst ab, andere nicht (vgl. Kapitel 3.6).

Selbst bei einer hohen möglichen Datenrate kommt die Datenübertragung durch hohe Latenz ins Stocken und vermittelt den Eindruck einer «langen Leitung». Ein Beispiel ist die Zeit zwischen dem Mausklick auf einer Webseite (Anforderung) und dem Zeitpunkt, bis die aufgerufene Webseite geladen ist.

5G wurde auch schon als «Echtzeitfunk» bezeichnet, da bei Fernmeldediensten sehr kurze Reaktionszeiten erreicht werden können. Mit 5G NR beträgt die kürzeste Latenz zwischen Sendestandort und Endgerät 1 Millisekunde für URLLC-Anwendungen und 4 Millisekunden für eMMB-Anwendungen. Zum Vergleich: Ein menschlicher Wimpernschlag dauert ca. 100 Millisekunden. Eine kurze Latenzzeit der Luftschnittstelle ermöglicht simultan zur Realität ablaufende Anwendungen wie die erweiterte oder virtuelle Realität (Augmented Reality, Virtual Reality), Automatisierungen, Fernsteuerungen, unmittelbare taktile Rückmeldungen usw.

### 3.4 Das Kernnetz 5G CN

Um den neuen Anforderungen der Anwendungen gerecht zu werden, braucht es ein neues Kernnetz (siehe Kapitel 2). Ein Kernnetz enthält einerseits Netzwerkfunktionen zu dessen Steuerung und transportiert andererseits die Nutzerdaten. Waren bei 4G die Netzwerkfunktionen noch fix im Kernnetz implementiert, sind diese bei 5G nun voneinander und vom Kernnetz entkoppelt (z. B. Trennung der Steuerungs- und Nutzerebene, alleinstehende Authentifikationsfunktion, losgelöstes Mobilitätsmanagement). Die Entkopplung der Netzwerkfunktionen ermöglicht deren Virtualisierung. Mit anderen Worten werden diese Funktionen nicht mehr mit einer spezialisierten Kernnetzinfrastruktur (Hardware) ausgeführt, sondern standortunabhängig mithilfe von Software in einem Rechenzentrum (Cloud). Die Virtualisierung wird eine der Schlüsseltechnologien sein, um hochgradig verwaltete, sichere und zuverlässigere Dienste zu niedrigeren Kosten bereitzustellen und agil auf Kundenwünsche zu reagieren.

#### Netzwerk-Slicing

Angesichts der breiten Palette an 5G-Einsatzbereichen und deren Anwendungen muss 5G gleichzeitig verschiedene Anforderungen erfüllen. Anstatt aber für jede Anwendung ein dediziertes Netzwerk aufzubauen, das speziell auf die Bedürfnisse jedes (Geschäfts-)Kunden zugeschnitten ist, wie beispielsweise ein Netz speziell nur für die Blaulichtorganisationen, wird das Mobilfunknetz in Segmente (Slices) geteilt (Netzwerk-Slicing). Jedes dieser Segmente kann als eigenständiges Netz betrachtet werden, das jeweils bestimmte Eigenschaften und Funktionen hat. Dadurch können gleichzeitig verschiedene dedizierte virtuelle Mobilfunknetzwerke bereitgestellt werden, die jedoch alle auf einer gemeinsamen physischen Infrastruktur basieren. Je nach angefordertem Fernmeldedienst werden die Endgeräte dann mit den entsprechenden Segmenten «verbunden». So nutzt beispielsweise ein Mobiltelefon, das einen HD-Streaming-Dienst anfordert, unter anderem das Multimedia-Segment (Abbildung 10).

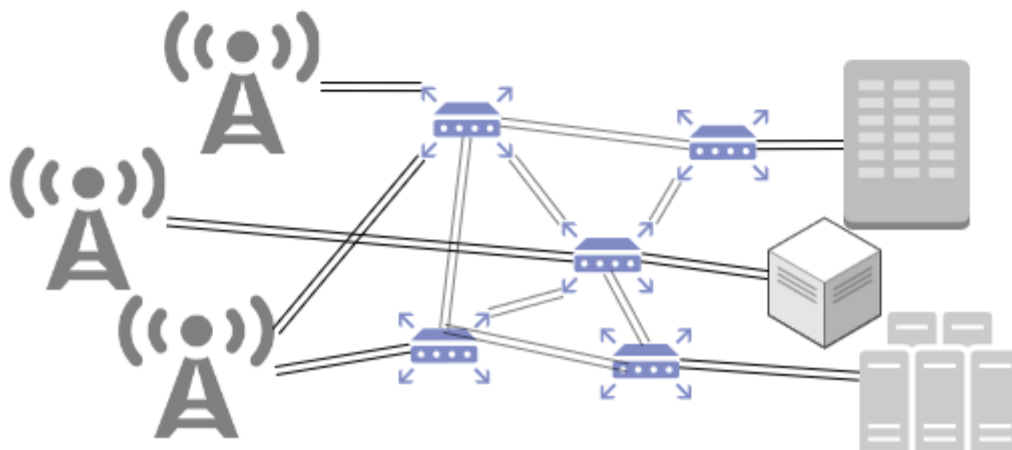
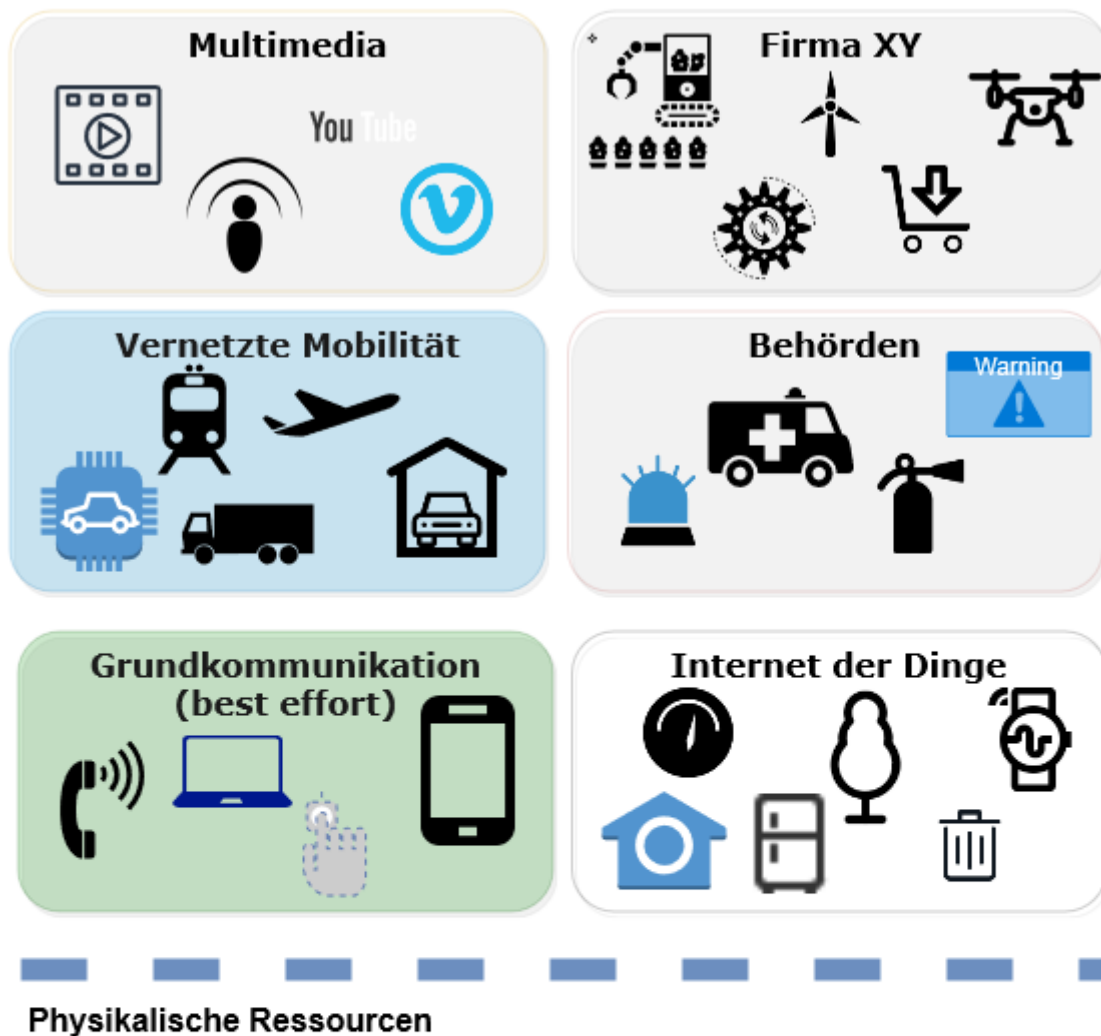


Abbildung 10: Konzept des Netzwerk-Slicings mit parallelen virtuellen Mobilfunknetzen für verschiedene Anwendungen (Quelle: BAKOM)

### 3.6 Lokales Hosting von Diensten und Edge-Computing

Eine erhebliche Verkürzung der Latenz eines Dienstes kann durch «lokales Hosting» und «Edge-Computing», d. h. die dezentrale Datenverarbeitung in der Netzwerkperipherie, erzielt werden.

In 5G-Netzen heisst die Plattform für lokales Hosting «5G Service Hosting Environment». Dort kann die Software zur Erbringung des jeweiligen Endnutzerdienstes in der Nähe des Endgeräts beherbergt und ausgeführt werden. Dank so verkürzter Übertragungswege entfallen verzögerungsanfällige Datenübertragungen und das Kernnetz wird entlastet.

## 4 Frequenzen

An der Weltfunkkonferenz 2019 (WRC-19) wurden für die meisten Länder die Frequenzbereiche 24,25–27,5 GHz, 37–43,5 GHz, 45,5–47 GHz, 47,2–48,2 GHz und 66–71 GHz für Mobilfunknetze identifiziert. Jedes Land kann selber entscheiden, wie diese Frequenzbereiche verwendet werden.

Von den an der WRC-19 neu identifizierten Frequenzen sind für die Schweiz allenfalls die Bereiche 24,25–27,5 GHz, 40,5–43,5 GHz und 66–71 GHz relevant. Wann und wie diese Frequenzbereiche künftig genutzt werden können, ist derzeit offen.

In der Schweiz wurden im Jahr 2012 die Mobilfunkfrequenzen 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz und 2600 MHz und im Jahr 2019 die Frequenzen 700 MHz, 1400 MHz und 3500–3800 MHz versteigert. Die Konzessionen sind technologie-neutral ausgestaltet, so dass die konzessionierten Betreiberinnen die Technologie zur Erbringung mobiler Fernmeldedienste (2G, 3G, 4G und 5G) frei wählen können (siehe Tabelle 3).

Gemäss 3GPP-Spezifikation (Release 15) kann 5G NR grundsätzlich in zwei Frequenzbereichen betrieben werden: 450–6000 MHz (FR1) und 24'250–52'600 MHz (FR2). [6]

Auf europäischer Ebene wurden für die Einführung von 5G verschiedene Pionierfrequenzbänder identifiziert, die Frequenzen mit unterschiedlichen Eigenschaften umfassen, damit die vielseitigen Anforderungen an 5G erfüllt werden können:

- Frequenzen unterhalb 1 GHz, insbesondere das 700-MHz-Band: Diese Frequenzbereiche sind aufgrund der guten Versorgungsreichweite (z. B. gute Gebäudedurchdringung [*Deep Indoor*]) für die Flächenversorgung geeignet. [8]
- Frequenzen zwischen 1 GHz und 6 GHz, insbesondere das 3,5-GHz-Band: Diese Frequenzbereiche sind aufgrund der grösseren Menge verfügbarer Frequenzen essenziell für die Einführung von 5G in Europa und angesichts der geringen Versorgungsreichweite für Makro- und Kleinzellen geeignet. [9]
- Neue und breitere Frequenzbereiche oberhalb 6 GHz, insbesondere das 26-GHz-Band [10]: Diese Frequenzbereiche besitzen im Vergleich zu jenen unterhalb 6 GHz eine noch grössere Menge an verfügbaren Frequenzen, allerdings ist deren Versorgungsreichweite kleiner. Deshalb eignen sie sich vorwiegend für den lokalen Kapazitätsausbau mit Klein- und Kleinstzellen in Bahnhöfen, Stadien, an Grossveranstaltungen usw.



<b>NR-Betriebsband</b>	<b>Uplink (UL) Betriebsband (Basisstation empfängt / Teilnehmergerät sendet)</b>	<b>Downlink (DL) Betriebsband (Basisstation sendet / Teilnehmergerät empfängt)</b>	<b>Duplexverfahren</b>
n1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n28	703 MHz – 733 MHz	758 MHz – 788 MHz	FDD
n38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n75	nicht verfügbar	1432 MHz – 1517 MHz	SDL (1)
n76	nicht verfügbar	1427 MHz – 1432 MHz	SDL (2)
n78	3500 MHz – 3800 MHz	3500 MHz – 3800 MHz	TDD
FDD: Frequenzduplex SDL (1): ergänzender Downlink zu den NR-Betriebsbändern n8, n28 und n78 SDL (2): ergänzender Downlink zum NR-Betriebsband n78 TDD: Zeitduplex			

**Tabelle 3: Die in der Schweiz aktuell mit 5G NR nutzbaren Frequenzen**

## 5 Abkürzungen

3GPP	Third Partnership Project
CA	Carrier Aggregation
CC	Component Carrier
DC	Dual Connectivity
DL	Downlink
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
EPC	Evolved Packet Core
FDD	Frequency Division Duplex
FR	Frequency Range
GHz	Gigahertz ( $10^9$ Hertz)
IMT	International Mobile Telecommunications
IoT	Internet of Things
ITU	International Telecommunication Union
IP	Internet Protocol
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine to Machine Communication
MHz	Megahertz ( $10^6$ Hertz)
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mMTC	Massive Machine-Type Communication
MTC	Machine-Type Communication
NR	New Radio
NSA	Non-standalone
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
RAN	Radio Access Network
SA	Standalone
SDL	Supplemental Downlink
TDD	Time Division Duplex
UL	Uplink
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communication
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WRC	World Radio Conference

## 6 Referenzen

- [1] Ericsson Mobility Visualizer <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/mobility-visualizer>
- [2] EU 5G-Observatorium <https://5gobservatory.eu/>
- [3] GSA report – Evolution of LTE to 5G, August 2019 Update
- [4] ITU-R Recommendation M.2083, IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, September 2015
- [5] 3GPP TS 38.211; NR Physical channels and modulation (Release 15)
- [6] 3GPP TS 38.101; NR User Equipment (UE) radio transmission and reception

- [7] 3GPP TS 22.261; Service requirements for the 5G system; Stage 1 (Release 15)
- [8] Beschluss (EU) 2017/899 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2017 über die Nutzung des Frequenzbands 470-790 MHz in der Union  
DE: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32017D0899>
- [9] Entscheidung der Kommission vom 21. Mai 2008 zur Harmonisierung des Frequenzbands 3400 — 3800 MHz für terrestrische Systeme, die elektronische Kommunikationsdienste in der Gemeinschaft erbringen können  
DE: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32008D0411>
- [10] Durchführungsbeschluss (EU) 2019/784 der Kommission vom 14. Mai 2019 zur Harmonisierung des Frequenzbands 24,25-27,5 GHz für terrestrische Systeme, die drahtlose breitbandige elektronische Kommunikationsdienste in der Union erbringen können  
DE: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32019D0784>