

Whitepaper

5G – Mobilfunk der Zukunft



Der Bedarf an zuverlässiger, schneller und sicherer Digitalisierung und Konnektivität nimmt weiter rasant zu. Erstmals erschließt ein Mobilfunkstandard auch Anwendungsfelder mit Gigabit-Bedarf, bei denen andere Funktechnologien wie Wi-Fi nicht ausreichen – es handelt sich dabei um die Schlüsseltechnologie 5G. Hinter der Abkürzung verbirgt sich die fünfte Generation im Mobilfunk, die auf Grund ihrer hohen Zuverlässigkeit nicht nur als Backup, sondern auch als Alternative zu kabelgebundenen Verbindungen zum Einsatz kommt. 5G konzentriert sich dabei nicht nur auf die digitale Vernetzung von Menschen, sondern dient auch als drahtlose, hochleistungsfähige und ausfallsichere Kommunikationsinfrastruktur von Geräten, Sensoren und Maschinen. Nach der Veröffentlichung des 5G-Standards im Dezember 2018 begann schrittweise die weltweite Bereitstellung der 5G-Technologie.

Was ist 5G?

Bei dem Mobilfunkstandard 5G handelt es sich um eine Weiterentwicklung des 4G „Long Term Evolution“ (LTE), der die globale und einheitliche Funkschnittstelle New Radio (NR) nutzt. Diese wird durch die 3rd Generation Partnership Project (3GPP) als Kooperation von Standardisierungsgremien spezifiziert und standardisiert. Neben höheren Übertragungsraten und Kapazitäten bringt 5G vor allem bessere Erreichbarkeit und deutlich geringere Reaktionszeiten im Vergleich zu 4G mit sich. So können mit 5G Echtzeitanwendungen wie Videostreaming und Augmented oder Virtual Reality (AR, VR) selbst bei einer hohen Nutzerdichte nahezu verzögerungsfrei gewährleistet werden. Auch der Energieverbrauch von 5G soll nur noch einem Drittel von 4G entsprechen. Der Sektor Funkkommunikation der Internationalen Fernmeldeunion (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector ITU-R) fasste dazu Anfang 2016 unter der Bezeichnung IMT-2020 unter anderem folgende Mindestanforderungen für den 5G-Standard zusammen:

- Peak-Downlink-Rate: 20 GBit/s
- Peak-Uplink-Rate: 10 GBit/s
- Mindest-Datenrate für den Endnutzer im Downlink: 100 MBit/s
- Mindest-Datenrate für den Endnutzer im Uplink: 50 MBit/s
- Verzögerungszeit: nicht mehr als 1 bzw. 4 ms je nach Infrastrukturschicht (siehe „Network-Slicing mit drei Dienstkategorien“)
- Verbindungsdichte: bis zu 1 Mio. Endgeräte pro km²
- Steigerung der relativen Bewegungsgeschwindigkeit auf 500 km/h

Wie funktioniert 5G?

Analog zu bisherigen Mobilfunkstandards transportieren hochfrequente elektromagnetische Wellen Datenpakete von Antennen und Funkzellen zu Empfangsgeräten. Die Anzahl dieser Wellen pro Sekunde wird Frequenz genannt und ist der Hauptindikator für die Reichweite: Eine niedrige Frequenz bedeutet eine höhere Reichweite, während eine höhere Frequenz auf Grund der Dämpfung der Funksignale eine kürzere Reichweite

zur Folge hat. Gleichzeitig ist zu beachten, dass der Datendurchsatz in niedrigen Frequenzbereichen deutlich geringer ist als in höheren. Dies liegt unter anderem an den nur noch kleinen freien Intervallbreiten, so genannten Kanalbreiten, innerhalb des niedrigen Frequenzspektrums. Niedrige Frequenzen eignen sich daher eher für die Versorgung weitflächiger Gebiete, in welchen kein großer Datendurchsatz erforderlich ist (vgl. Abbildung 1 links), während höhere Frequenzen mit großen Kanalbreiten für eine höhere Nutzerdichte in Ballungsgebieten für eine verbesserte Datenübertragungsleistung sorgen (vgl. Abbildung 1 rechts).

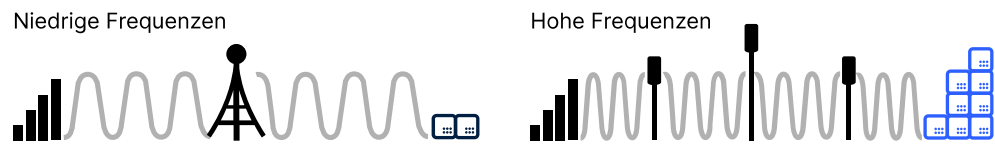


Abbildung 1:
Vergleich der Reichweite und des
Datendurchsatzes niedriger und
hoher Frequenzen

5G-Frequenzbereiche in Deutschland

5G nutzt zwei Frequenzbereiche (Frequency Ranges, FR) und damit sowohl die Vorteile von kurz- als auch langwelligen Funkwellen.

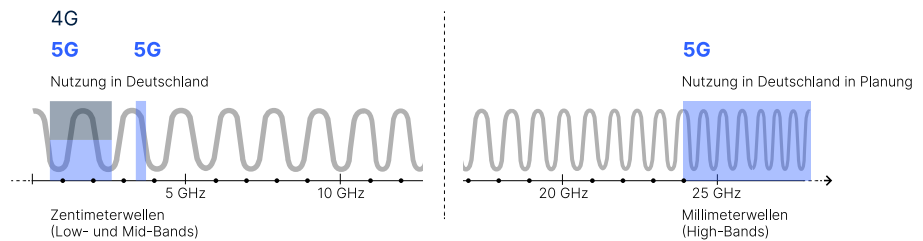


Abbildung 2:
Frequenzbereiche für den
5G-Standard in Deutschland

Der erste Frequenzbereich (FR1) umfasst unter anderem die bisher auch für 3G (UMTS) und 4G (LTE) genutzten Frequenzen im Bereich von 700 bis 2,6 GHz (Sub-6 GHz-Bereich). Diese Frequenzen liegen im sogenannten Zentimeterwellenbereich bzw. in den Low- und Mid-Bands. Um in diesem Bereich Ressourcen für 5G zu schaffen, wurde dazu das 3G-Netz in Deutschland in 2021 abgeschaltet. Die erforderlichen Bandbreiten für viele 5G-Anwendungen werden allerdings erst in höheren Frequenzbereichen erreicht. Daher wurde 2019 das Frequenzband von 3,4 bis 3,7 GHz für die bundesweite Nutzung versteigert sowie der Bereich von 3,7 bis 3,8 GHz im Antragsverfahren für nichtöffentliche Mobilfunknetze (Campus-Netze) vergeben.

Neue Frequenzen für die Mobilfunk-Nutzung umfasst der zweite Frequenzbereich (FR2) mit Frequenzen der High-Bands, auch Millimeterwellen (mmWaves) genannt, oberhalb von 24 GHz. Die Nutzung in Deutschland ist im Bereich von 24,25 bis 27,5 GHz ebenfalls im Antragsverfahren geplant. Auch eine Erweiterung auf bis zu 40 GHz ist denkbar, allerdings stehen diese Frequenzbereiche in Deutschland – im Gegensatz zu anderen europäischen und internationalen Ländern – voraussichtlich erst in einigen Jahren zur Verfügung.

Bei beiden Frequenzbereichen verhilft eine **Kanalbündelung (Carrier Aggregation, CA)** zu einer Erhöhung der zur Verfügung stehenden Datenraten pro Empfangsgerät. Dazu werden mehrere kleine Frequenzblöcke (Carrier) eines Netzbetreibers zu größeren virtuellen Frequenzbändern zusammengefasst. Während das Limit pro Carrier bei 4G noch bei 20 MHz lag, profitiert das 5G-Netz von einer angehobenen Grenze von 100 MHz pro Carrier.

Geschwindigkeit und Reaktionszeit

Durch die erhöhte Bandbreiteneffizienz von 5G werden im Gegensatz zu den Vorgängerstandards deutlich höhere Up- und Downloadraten in theoretisch zweistelliger Gigabit-Geschwindigkeit* erreicht. Zum Vergleich: Während der Download eines 4,5 GB HD-Films bei 4G noch mehrere Minuten dauerte, steht die Datei mit 5G theoretisch innerhalb von maximal 10 Sekunden bereits auf dem eigenen Rechner oder Smartphone zur Verfügung. 5G bietet zudem minimalste Zeitverzögerungen, sogenannte Latenzen, von nur wenigen Millisekunden bis unter einer Millisekunde für die Verbindung vom Mobilgerät zur Basisstation (Luftschnittstelle) und ist somit um ein Vielfaches schneller als 4G. So wird pro übertragener Datenmenge deutlich mehr Energie als bei 4G gespart und eine höhere Effizienz erreicht.

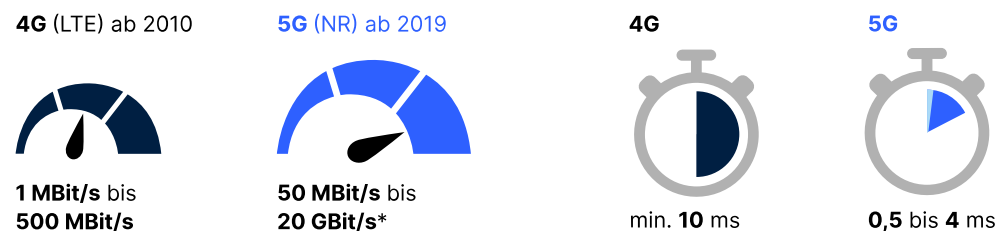


Abbildung 3:
Geschwindigkeits- und Latenz-
vergleich von 4G und 5G

Kapazität und Upgrade

Zum Ausgleich der geringeren Funkwellenreichweite bei höheren 5G-Frequenzen sind neben großen Mobilfunkantennen auch sogenannte Kleinzellen (Small Cells) für die flächendeckende 5G-Erreichbarkeit im Einsatz. Durch diese miniaturisierten Mehrantennensysteme wird nicht nur die Antennenanzahl pro Basisstation deutlich erhöht, sondern auch mehr Endgeräte gleichzeitig über dasselbe Frequenzband versorgt. Das Ganze wird **massive MIMO** (Multiple-Input, Multiple-Output) genannt und sorgt zusammen mit der Verdichtung vorhandener Antennenstandorte für eine deutlich höhere Netzwerkkapazität bei gleichzeitiger Verringerung von Netzüberlastungen und -zusammenbrüchen. So können mit 5G zum Beispiel Großveranstaltungen als auch andere stark frequentierte Bereiche wie Bahnhöfe, Flughäfen und Innenstädte mit bis zu einer Million Endgeräte pro Quadratkilometer zuverlässig versorgt werden. Um Interferenzen zwischen den Antennensignalen zu vermeiden als auch die verfügbare Datenrate zu erhöhen, verwenden die 5G-Antennen- und Zellensysteme **3D-Beamforming**. Die Sendeleistung wird mittels 3D-Beamforming horizontal und

* Hinweis: Es handelt sich hier um Maximalgeschwindigkeiten unter Idealbedingungen, die in der Praxis nicht immer erreicht werden können. Derzeit werden in deutschen 5G-Netzen Datenraten zwischen 50 MBit/s und 1,5 GBit/s in Abhängigkeit von Frequenz, Carrier Aggregation, Kanalbandbreite und Modulation erreicht.

vertikal und je nach Bedarf eines Endgerätes aktiv, zielgerichtet und strahlenförmig gesteuert. Zum Vergleich: Bei älteren Mobilfunkstandards wird liegt nur eine passive, ungerichtete Strahlung vor, die besonders in Randbereichen stark abgeschwächt wird.

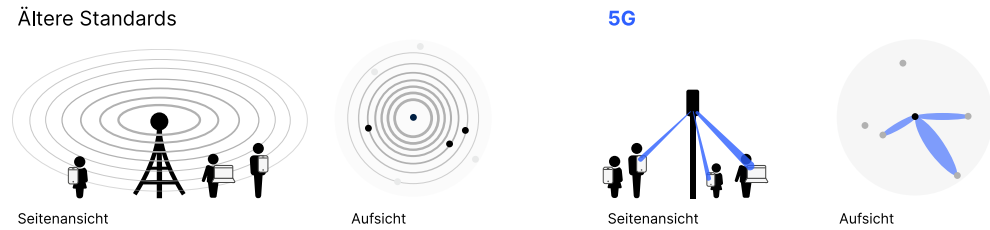


Abbildung 4:
Strahlungsvergleich älterer Standards mit 5G

Das benötigte 5G-Upgrade vorhandener 4G-Antennen wird durch **Dynamic Spectrum Sharing (DSS)** realisiert: Die verfügbare Bandbreite wird dabei je nach Bedarf zwischen 4G und 5G dynamisch aufgeteilt, damit sowohl 4G- als auch 5G-kompatible Endgeräte immer mit der maximal möglichen Kapazität versorgt werden. In der ersten Phase der Mobilfunk-Umstellung wird der abwärtskompatible 5G-Standard im **Non-Standalone-Netz (5G NSA)** betrieben. Dazu nutzt der 5G-Standard einfach die bestehende 4G-Infrastruktur als technische Basis, damit 4G und 5G noch parallel genutzt werden können.



Abbildung 5:
Beispielhafte Bandbreitenaufteilung mit Dynamic Spectrum Sharing (DSS)

Um den gesamten 5G-Funktionsumfang zu nutzen, strebt die Industrie den **Standalone-Betrieb (5G SA)** an – also die eigenständige 5G-Netzbereitstellung mit vollständiger Abkopplung der „4G-Basis“. Durch ein unabhängiges 5G-Kernnetz profitieren Anwender von noch niedrigeren Latenzen, was neben dem Vorteil einer nahezu Live-Kommunikation auch auf das Thema Energieeffizienz und damit Kostensenkung einzuwirkt. Zur uneingeschränkten Nutzung der 5G-Technik sind vor allem neue Software-Upgrades für Mobilfunk-Anlagen und deren Integration in das neue Kernnetz, den 5G-Core, notwendig.

Network-Slicing mit drei Dienstkategorien

Bei dem Mobilfunkstandard 5G werden vorhandene Netzressourcen sinnvoll aufgeteilt und Infrastrukturschichten definiert, die optimal an den jeweiligen Netzbedarf angepasst sind. Diese virtualisierte Aufteilung von Netzwerkfunktionen eines physikalischen Funknetzwerkes wird **Network-Slicing** genannt. Dazu ein einfaches Beispiel: Bei der Kommunikation von smarten Ampeln sind geringe Latenzen deutlich wichtiger als hohe Bandbreiten, wie sie für Videostreaming-Dienste benötigt werden. Daher hat die ITU-R drei Dienstkategorien bzw. Infrastrukturschichten für die Anwendung des 5G-Standards spezifiziert, die entweder hohe Datenraten, eine hohe Anzahl verbundener Geräte oder niedrige Latenzen bieten:

eMBB (Enhanced Mobile Broadband) für hohe Datenraten

Dank 5G-Internet und der dadurch erweiterten mobilen Breitbandverbindung (eMBB) können Endgeräte mit extrem hohen Datenraten für Echtzeitanwendungen versorgt werden. Davon profitieren besonders Anwendungen mit großen Datentransferbedarf wie Videochat, hochauflösendes (3D-)Videostreaming in 4K oder 8K als auch Augmented und Virtual Reality. Für ein solches hochperformantes und verzögerungsfreies Multimedia-Erlebnis sind eine hohe Gerätekonnektivität als auch große Bandbreiten, wie sie im Mobilfunk nur 5G bieten kann, notwendig.

mMTC (Massive Machine Type Communication) für eine hohe Anzahl verbundener Geräte

Die hohe Kapazität von 5G garantiert die Machine-to-Machine-Kommunikation (mMTC) für die Vernetzung sehr vieler Endgeräte pro Fläche, die nur geringe Datenraten beanspruchen. Die energieeffiziente Kommunikation dieser 5G-Geräte ermöglicht Prozessbeschleunigungen in High-Density-Umgebungen. Dazu gehört vor allem die Vernetzung von IoT-Geräten und -Sensoren (Internet of Things / Internet der Dinge) in der Verkehrssteuerung, Logistik und Industrie.

uRLLC (Ultra-Reliable and Low-Latency Communication) für niedrige Latenzen

In Anwendungsbereichen, die zuverlässige Verbindungsqualität, Verfügbarkeit und Störfestigkeit (Quality of Service) mit geringstmöglicher Zeitverzögerung (uRLLC) fordern, sorgt 5G für blitzschnelle und ausfallsichere Systemstabilität. So ist auch erstmals ein garantiert stabiler Primärzugang via Mobilfunk sinnvoll nutzbar. Zu den uRLLC-notwendigen Anwendungsbereichen zählen neben der Übertragung von Steuersignalen an autonome Fahrzeuge oder Roboter und der Industrie 4.0 vor allem sicherheitskritische Anwendungen wie das automatisierte Management mittels Cloud-Diensten in SD-WAN-Szenarien.

Anwendungsfelder

Jedes der genannten „Slices“ („Netzscheiben“) stellt somit unterschiedliche Ansprüche an die Dimensionierung des Funknetzes. Damit reagiert der 5G-Standard flexibel und maßgeschneidert auf die individuellen Anforderungen eines breiten Anwendungsspektrums:

Backup von kabelgebundenen Zugängen

Plötzliche Abbrüche der kabelgebundenen Internetleitung durch von Baustellen verursachte Leitungsschäden können für tagelange Reparaturzeiten sorgen. Bei solchen unvorhergesehenen Ausfällen oder instabilen Zugängen sorgt 5G-Mobilfunk als schnelle Backup-Alternative für eine zuverlässige Internetanbindung. Damit wird höchste

Verfügbarkeit gewährleistet und kostenintensive Ausfallzeiten weitestgehend verhindert.

Primärzugang und Load Balancing

5G eignet sich im Gegensatz zu vorherigen Mobilfunkstandards auch zur Bandbreitenerweiterung und Last-Verteilung im Netzwerk (Load Balancing): Im sogenannten Active/Active-Betrieb werden Einzelbandbreiten mehrerer parallel genutzter Internetzugänge aufsummiert und somit die Performance intelligent erhöht. Niedrige Latenzen bei sehr hohen Durchsatzraten machen den Einsatz von 5G außerdem auch als jederzeit verfügbaren und konsistenten Primärzugang für Remote-Mitarbeitende oder Niederlassungen sinnvoll.

Temporäre Zugänge und mobiler Einsatz

Der 5G-Technologie bietet sich auch bei zeitlich befristeten, mobilen oder entfernten Einsätzen und Baustellen, wie beispielsweise saisonale Pop-Up Stores oder Offshore-Schiffe, auf Grund seiner flexiblen und schnellen Verfügbarkeit an. Gigabit-Geschwindigkeiten sind mit 5G somit auch ohne die aufwendige und zeitintensive Verlegung von physischen Internetleitungen problemlos und sicher möglich.

Campus-Netze mit Private 5G

Je größer zu vernetzte Gebiete werden, desto ineffizienter wird die Abdeckung mit Wi-Fi auf Grund der geringen Reichweite und der notwendigen sehr großen Antennenanzahl. Diese Lücken werden zuverlässig mit Hilfe eines privaten 5G-Mobilfunknetzes, einem sogenannten Campus-Netz, geschlossen. Mit „Private 5G“ können Unternehmen selbst kontrollieren, wie das Netzwerk aufgebaut und gesichert wird und wer Zugriff auf welche Anwendungen erhält. Das gewährleistet Datenhoheit und minimiert Risiken.

Fazit

Eine hochleistungsfähige Kommunikationsinfrastruktur ist heutzutage so wichtig wie nie. So zuverlässig wie kein Mobilfunkstandard zuvor kann sich die 5G-Technologie gegenüber kabelgebundenen Verbindungen sowie Wi-Fi in zahlreichen Anwendungsfällen behaupten: Neben dem Einsatz in der Industrie 4.0 und IoT sowie als Backup- oder Primärzugang im Unternehmensumfeld profitieren auch Privatpersonen mit 5G-Mobilfunk beispielsweise von ultrahochauflösenden Echtzeitanwendungen (AR und VR). Durch zuverlässige Datendurchsätze im Gigabit-Bereich und schnelle Reaktionszeiten selbst bei einer hohen Nutzer- und Gerätedichte kompensiert 5G Festnetzengpässe in Kleinstädten und abgelegenen Orten. Zudem erweitert die 5G-Technologie die Netzabdeckung von großen Campus-Arealen, bei denen eine reine Wi-Fi-Nutzung nicht effizient ist. Die Koexistenz von Wi-Fi und 5G sorgt in diesen Fällen

für maximale Stabilität und Zuverlässigkeit. Auch wenn erst 2025 eine flächendeckende Nutzung von 5G in Deutschland möglich sein soll, finden bereits seit 2017 erste Forschungen an einer nächsten Generation für Mobilfunktechnik statt: Der 6G-Standard mit Geschwindigkeiten im Terabit-Bereich verspricht also auch weiterhin dynamische Entwicklungen im Mobilfunk-Markt.