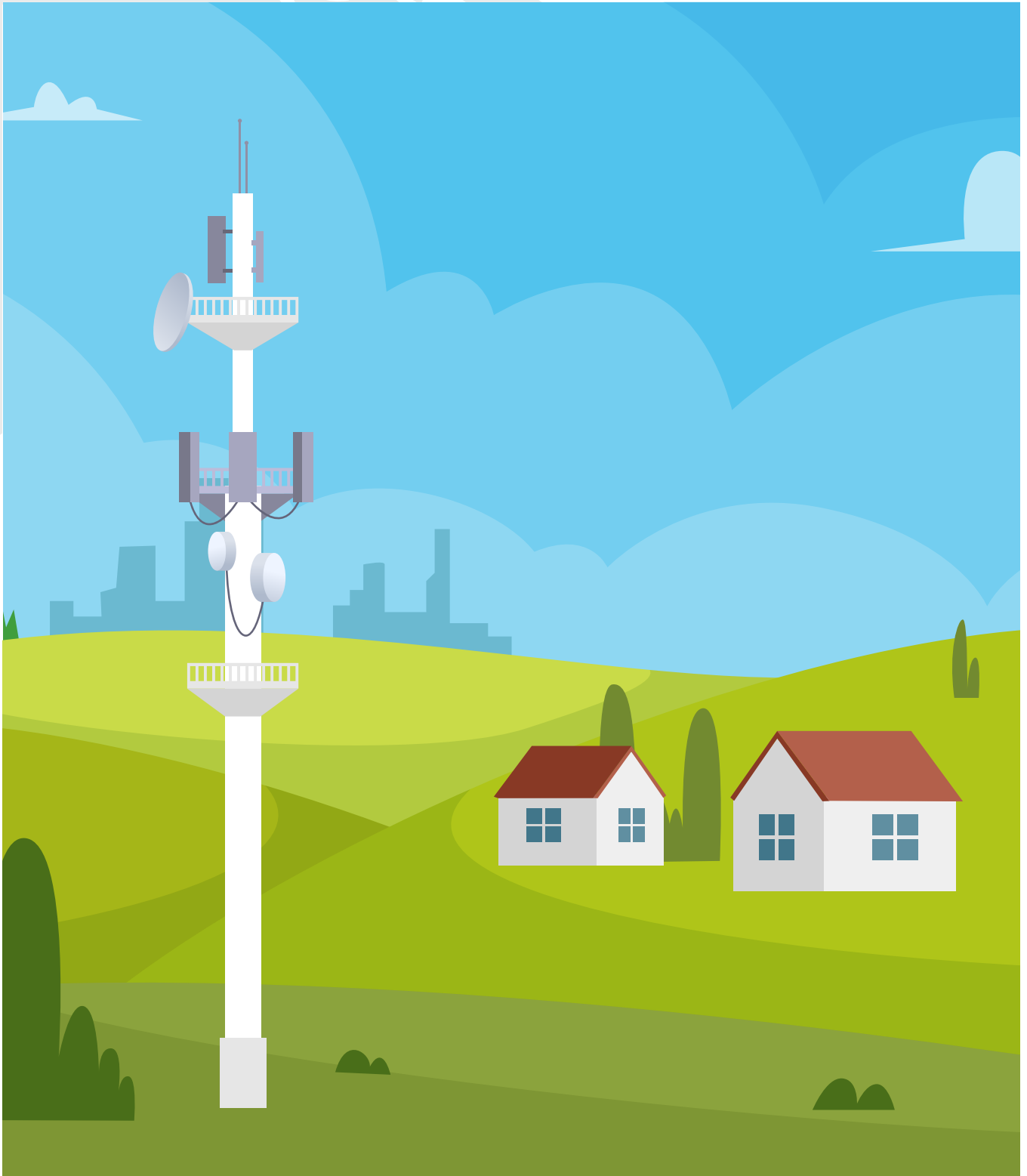


INFOBAUKASTEN MOBILFUNK 2/4 INFRASTRUKTUR UND TECHNIK



BISHER IN DIESER REIHE ERSCHIENEN

No. 156	Infobaukasten Mobilfunk: Dialog und Kommunikation (1/4)	10/2020
No. 155	Insektenschutz in den Kommunen	9/2020
No. 154	Deutsche und Türkische Integrationskonzepte in Kommunen – Integration als gesamtgesellschaftlicher Auftrag	8/2020
No. 153	Kommunen gestalten Ernährung – Neue Handlungsfelder nachhaltiger Stadtentwicklung	1/2020
No. 152	Einsatz von Gasbussen im ÖPNV – Ein Beitrag zum Klimaschutz und zur Luftreinhaltung	9/2019
No. 151	EU-Beihilfenrecht in der kommunalen Praxis	6/2019
No. 150	Vielfalt leben – Anregungen und Praxisbeispiele für das Älterwerden und Teilhaben im Quartier	3/2019
No. 149	Wasser in der Stadt – Planungsinstrumente, Risikomanagementsysteme und Entwicklungskonzepte aus der BMBF-Fördermaßnahme ReWaM	1/2019
No. 148	Mobilfunk – Gestern-Heute-Morgen	6/2018
No. 147	Bezahlbaren Wohnraum schaffen – Kommunale Instrumente der Baulandmobilisierung	3/2018
No. 146	Genossenschaften und Kommunen – Erfolgreiche Partnerschaften	1/2018
No. 145	Elektromobilität bei kommunalen Nutzfahrzeugen – Einsatzfelder, Anwendungsbeispiele und vergaberechtliche Anforderungen	11/2017
No. 144	Auslaufende Konzessionsverträge – Ein Leitfaden für die kommunale Praxis – 3. Auflage	10/2017
No. 143	Kommunale Beleuchtung – wirtschaftliche, technische und rechtliche Rahmenbedingungen	9/2017
No. 142	Perspektiven des Breitbandausbaus – Ziele, Strategie, Technik	6/2017
No. 141	Veranstaltungen sicher machen – Kultur und Freizeit vor Ort schützen	6/2017
No. 140	WIR schaffen das! KOMMUNEN gestalten Integration – Rahmenbedingungen verbessern, Überforderung vermeiden, Bilanz 2016 und Ausblick 2017 der deutschen Städte und Gemeinden	1/2017
No. 139	Wasser, Abwasser, Energie – Übergreifende Lösungen und Modellvorhaben zur Integration der Infrastrukturen	1/2016
No. 138	Bundeswehr und Kommunen	11/2016
No. 137	Förderung des Radverkehrs in Städten und Gemeinden – Neuauflage 2016	6/2016
No. 136	Deutschland umbauen: Reformen umsetzen, Integration gestalten – Bilanz 2015 und Ausblick 2016 der deutschen Städte und Gemeinden	1-2/2016
No. 135	Kommunale Entwicklungszusammenarbeit	12/2015
No. 134	Szenario-Management für Städte und Gemeinden – Leitfaden und Anwendungsbeispiele	11-12/2015
No. 133	Starkregen und Hitzewellen: Die Stadt im Klimawandel fordert die kommunale Wasserwirtschaft heraus	11-12/2015

Diese und frühere Dokumentationen stehen im Internet unter www.dstgb.de > Publikationen zum Download zur Verfügung.

INHALT

VORWORT	5
1. Mobilfunk und Kommunen – ein Überblick	6
Breitband-Infrastruktur als Wettbewerbsvorteil von Kommunen	7
Neue Antennentypen für den 4G- und 5G-Netzausbau	8
Gleichzeitiger Ausbau von LTE (4G) und 5G	9
2. Bedeutung mobiler Kommunikation	10
Gesprächsvolumen im Mobilfunk übersteigt das über Festnetze abgewickelte Volumen deutlich	11
Datenvolumen im Mobilfunk steigt weiter	11
Rund 1,7 SIM-Karten pro Einwohner	13
3. Wie funktioniert Mobilfunk?	14
Funkzellen und ihre Beschaffenheit	14
Zusammenwirken von Mobilfunkbasisstationen und Kernnetz-Infrastruktur	15
Bedeutung von Funkwellen zur Informationsübertragung	16
Übertragung von Funkwellen beim Mobilfunk	18
Wie breiten sich Funkwellen aus?	19
Sicherheit durch SAR-Wert	19
Automatische Leistungsregulierung	19
Einflussfaktoren auf die Struktur von Mobilfunknetzen	20
4. Wie wird ein Funknetz geplant?	22
Anforderungen an Mobilfunkstandorte	22
Planung von Mobilfunkstandorten	22
Einflussgrößen bei der Funknetzplanung	22
Vorgehensweise bei der Funknetzplanung	24
Antrag, Standortbescheinigung, Überprüfung und Inbetriebnahme	25
5. Welche Mobilfunksysteme gibt es und welche Funkfrequenzen nutzen sie?	26
Eine kurze Geschichte des Mobilfunks in Deutschland: vom A-Netz bis zu 5G	26–27
Frequenznutzung durch GSM (2G) bis 5G	28–29
5G – die fünfte und neueste Mobilfunkgeneration	29–30
Lizenzauflagen beim 5G-Netzausbau	31
Unterschiedliche Frequenzbänder für 5G	31
6. 5G – Was ist neu?	32
Anwendungsspezifische Netze	32–33
Technologie-Evolution: Von LTE-Advanced zu 5G	33–37
Voraussetzungen für den 5G-Netzausbau	38
Bedeutung des LTE- und Glasfaser-Ausbaus für künftige 5G-Versorgung	39
Standortverfügbarkeit und zugehörige Genehmigungsverfahren	39
7. Breitband-Mobilfunk: Nutzen und neue Anwendungen	40
Anwendungen in Kommunen	40
Anwendungen in der Industrie	41
Anwendungen im Bereich Mobilität	41
Anwendungen im Gesundheitswesen	42
Anwendungen in der Landwirtschaft	42
Anwendungen in der Energieversorgung	43
Glossar	44–46
Weiterführende Informationsquellen	47
Impressum – Fotonachweis	47



UM EINE ZUKUNFTSFÄHIGE MOBILFUNKINFRA-
STRUKTUR AUFZUBAUEN, MÜSSEN ZUSÄTZLICHE
MOBILFUNKANLAGEN ERRICHTET WERDEN.

VORWORT

Täglich nutzen wir unser Smartphone und andere mobile Geräte und können uns ein Leben ohne die Annehmlichkeiten der mobilen Kommunikation kaum mehr vorstellen. Die Technologie entwickelt sich schnell weiter und ermöglicht neue Anwendungen, gleichzeitig belegt das rasant zunehmende mobil übertragene Datenvolumen wie die Beliebtheit der Nutzung ständig wächst. Aufgrund dieses Anstiegs des Datenverkehrs ist der weitere Ausbau der Infrastruktur erforderlich. Um eine zukunftsfähige Mobilfunkinfrastruktur aufzubauen, müssen zusätzliche Mobilfunkanlagen errichtet werden.

Viele Kommunen stehen vor der schwierigen Aufgabe, zwischen den Bedürfnissen nach einem leistungsfähigen und flächendeckenden Mobilfunknetz und den daraus resultierenden Fragen zu konkreten Standorten zu vermitteln. In

einer aufgeklärten Gesellschaft ist es wichtig, auftauchende Fragen öffentlich zu diskutieren. Die Basis für jede konstruktive Debatte sind zuverlässige Informationen. Das vorliegende Infopaket hat das Ziel, den Verantwortlichen in den Kommunen verständlich erklärte Fakten zu liefern.

Zu diesen Grundlagen zählt auch ein grundsätzliches Verständnis der technischen und physikalischen Vorgänge, die beim Mobilfunk zum Einsatz kommen. Die vorliegende Broschüre will einen konstruktiven Beitrag leisten, um den Ausbau der Mobilfunkinfrastruktur mit Kommunikation und Dialog zu begleiten. Dazu vermitteln die folgenden Seiten, wie Mobilfunk eigentlich funktioniert, wie Funknetze geplant werden und welche Rolle der neue Mobilfunkstandard 5G in diesem Zusammenhang spielt.



1. MOBILFUNK UND KOMMUNEN – EIN ÜBERBLICK

Leistungsfähige Mobilfunknetze mit LTE (4G) und der neuen Mobilfunkgeneration 5G sind eine Schlüsseltechnologie für die Digitalisierung und unverzichtbar für die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland. Die übertragene Datenmenge in den Mobilfunknetzen nimmt pro Jahr um typischerweise 40 bis 50 Prozent zu.

Deshalb ist ein weiterer Ausbau der Mobilfunkkapazitäten dringend erforderlich. Moderne Mobilfunkstandards wie LTE (4G) und 5G sind dabei die beste Antwort auf die steigende Nachfrage nach mobiler Datenübertragung. Denn sie gehen mit den Ressourcen effizienter um als frühere Mobilfunktechnologien, da Datenpakete nicht nur schneller, sondern zielgerichteter und mit geringerem Energieeinsatz übertragen werden können als dies bisher möglich war. Zudem sind nicht nur die Datenübertragungsraten, sondern auch die Reaktionszeiten in modernen Mobilfunknetzen deutlich höher als es beispielsweise die älteren Standards UMTS (3G) und GSM (2G) erlauben.

Der neue 5G-Standard bietet dabei die höchste Geschwindigkeit, die schnellsten Reaktionszeiten und die beste Energieeffizienz. Dennoch ist 5G als Mobilfunkstandard keine Revolution, sondern eine Weiterentwicklung, da diese Generation auf der Technik von 4G (LTE) aufbaut. 5G ersetzt daher nicht die vorhandenen Netze, sondern ergänzt diese, insbesondere in Kombination mit LTE. Die Übertragungsprotokolle bei 5G sind ähnlich wie bei LTE oder WLAN. Der Standard ist grundsätzlich auf verschiedenen Frequenzen einsetzbar. Dabei nimmt die Reichweite wie im Mobilfunk üblich mit zunehmender Frequenz ab.

Breitband-Infrastruktur als Wettbewerbsvorteil von Kommunen

Für Kommunen ist eine gute Infrastruktur ein wichtiger Wettbewerbsvorteil. Ein großer Vorteil für Kommunen ist dabei, dass die Bereitstellung schneller mobiler Internetzugänge über 4G und 5G in der Regel auch die Versorgung mit Glasfaserleitungen voraussetzt. Denn die stetig wachsenden Datenmengen müssen nicht nur per Funk zu den Endgeräten übertragen werden, sondern auch schnell von den Mobilfunk-Basisstationen abgeführt beziehungsweise dorthin angeliefert werden.

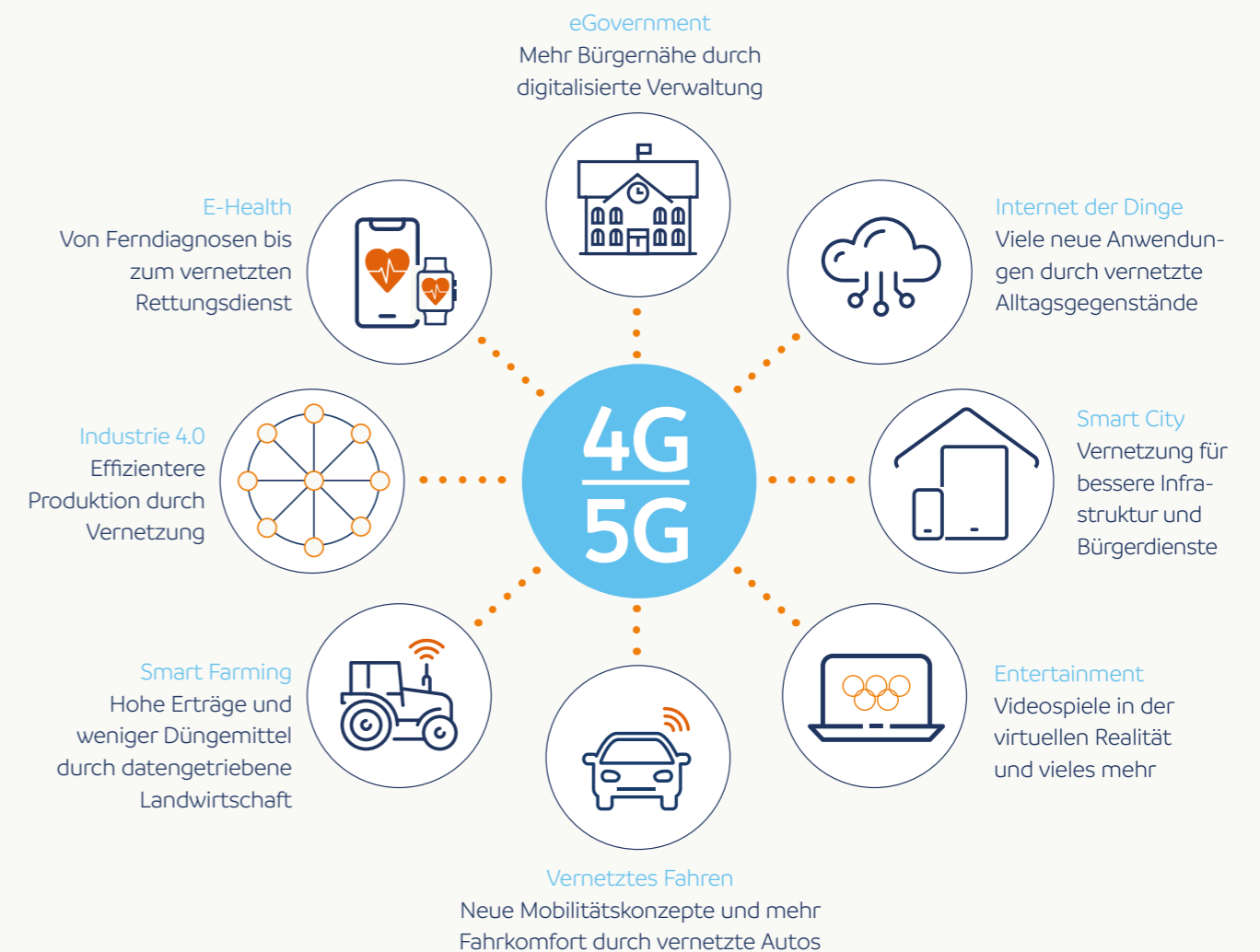
Ein konzentrierter Breitbandausbau mit den Komponenten Mobilfunk (4G und gegebenenfalls, in der Regel später, 5G) und Glasfaser-Festnetz ist für Kommunen ein wichtiger Wettbewerbsvorteil. Er unterstützt gleichermaßen die Ansiedlung von Gewerbebetrieben wie auch die junger Familien. Zudem ist eine leistungsfähige Kommunikations-Infrastruktur die Basis dafür, bestehende kommunale Dienstleistungen zu verbessern

(etwa den öffentlichen Nahverkehr oder das Rettungswesen) oder diese zu digitalisieren beziehungsweise zu etablieren (beispielsweise die Digitalisierung von Verwaltungsdienstleistungen oder ein vernetztes Parkraummanagement).

Dennoch wird es vermutlich in absehbarer Zeit nicht zu jedem Mobilfunkstandort eine Glasfaserleitung geben. Auch moderne Richtfunkverfahren können unter bestimmten Voraussetzungen zur Anbindung von Breitband-Mobilfunk-Standorten genutzt werden.

Ferner kann 5G übergangsweise auch als Alternative für die sogenannte „letzte Meile“ der Festnetzanbindung genutzt werden: Die Mobilfunkstandorte werden per Glasfaser angeschlossen und leiten in diesem Fall das schnelle Internet dann per 5G-Mobilfunk in Haushalte oder Firmenstandorte weiter. Dieses Zusammenwachsen und Zusammenwirken der Netze ist eine wichtige Grundlage für die Gigabit-Gesellschaft.

Wo hilft Breitband-Mobilfunk? Vielfältige Anwendungen: zentraler Hebel für Zukunftstechnologien





Gleichzeitiger Ausbau von LTE (4G) und 5G

Um eine leistungsstarke Versorgung bieten zu können, setzen die Mobilfunknetzbetreiber auf den Ausbau der bestehenden Netze mit 4G/LTE sowie auf eine parallele Einführung von 5G. Der jüngste Mobilfunkstandard 5G ergänzt dabei die Basisversorgung mit 4G – beispielsweise in Gewerbegebieten oder in Innenstadtlagen.

Für die Standort-Planung und -Erschließung bedeutet dies: Bestehende Mobilfunkstandorte müssen mit neuer Technik und neuen, für die genannten Verfahren ausgelegten Antennen-Typen ausgerüstet werden. Beabsichtigt ein Netzbetreiber die Erweiterung einer vorhandenen Anlage – beispielsweise den Einsatz neuer Antennen-Typen, die für die bedarfsgerechte Versorgung mit unterschiedlichen Mobilfunkstandards ausgelegt sind –, wird die Kommune darüber schriftlich informiert. Soll eine neue Mobilfunkantenne er-

richtet werden, wird dafür über einen sogenannten Suchkreis ein geeigneter Mobilfunkstandort gesucht und das weitere Vorgehen mit der Kommune abgestimmt (siehe ausführlicher Kapitel 4). Bei allen Erweiterungen sind die gesetzlichen Vorgaben, insbesondere die Bestimmungen des Immissionsschutzes sowie des Baurechts einzuhalten.

Dabei ist zu bedenken, dass moderne Mobilfunkstandards und eine engmaschige Versorgung die Immissionen sogar eher verringern: Wo mobile Endgeräte guten Empfang haben, erfolgt die Übertragung mit geringeren Sendeleistungen. Und die modernen Standards 4G und 5G arbeiten deutlich effizienter als ihre Vorgänger (siehe auch Kapitel 6), setzen zur Übertragung der Signale also weniger Energie pro Byte ein als frühere Mobilfunktechnologien.

DER JÜNGSTE MOBILFUNKSTANDARD 5G ERGÄNZT DIE MOBILE BREITBANDVERSORGUNG MIT 4G

Neue Antennentypen für den 4G- und 5G-Netzausbau

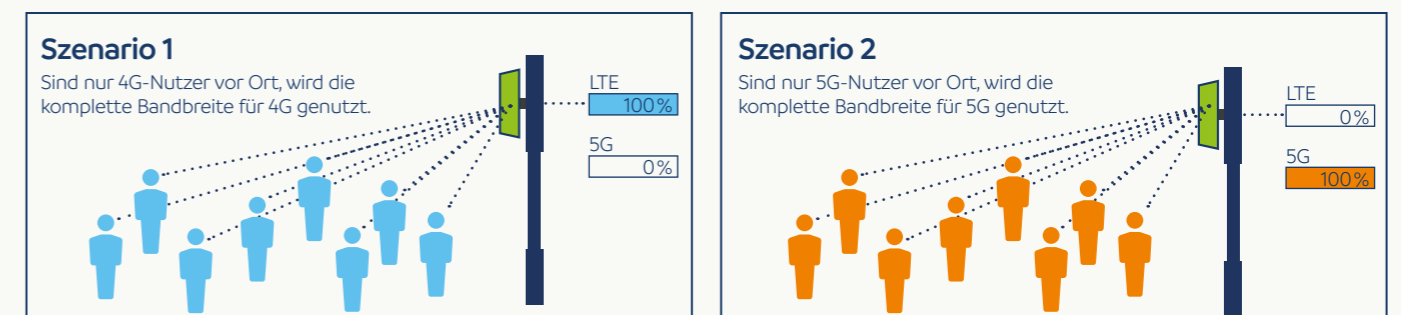
Die beschriebenen Ziele erfordern einen kontinuierlichen Ausbau der Kapazitäten. Bestehende Mobilfunkstandorte müssen erweitert werden, zur Verbesserung der Versorgung ist aber auch die Errichtung neuer Mobilfunkstandorte erforderlich.

Die angestrebte Versorgungs- und Kapazitätsverdichtung kann zudem neben der Nutzung klassischer Mobilfunkbasisstationen zusätzlich sogenannte Kleinzellen (Small Cells) beinhalten – Mobilfunkzellen mit geringer Sendeleistung und damit resultierendem kleinerem Versorgungsbereich bis zu Reichweiten von etwa 150 Metern. Solche Kleinzellen können zum Beispiel in Fußgängerzonen oder an hoch frequentierten Orten wie Veranstaltungszentren, Festplätzen oder Stadien Engpässe im bestehenden Mobilfunknetz beheben.

Ein weiterer Vorteil der Modernisierung bestehender Mobilfunk-Standorte und des Aufbaus neuer Mobilfunk-Infrastruktur mit moderner Technik besteht darin, dass neuere Mobilfunkbasisstationen die von ihnen bereitgestellten Mobilfunk-Standards per Software an den tatsächlichen Bedarf anpassen können. Mit der neuen Technik „Dynamic Spectrum Sharing“ (DSS) können entsprechend ausgerüstete Basisstationen im selben Frequenzbereich Signale für LTE/4G und 5G in genau dem Verhältnis bereitstellen, wie es die angemeldeten Endgeräte zu diesem Zeitpunkt gerade benötigen.

Dynamic Spectrum Sharing:

Eine Mobilfunk-Antenne liefert zwei Netze. Sie erkennt, ob die Anwender 5G- oder LTE-Smartphones nutzen und stellt immer das passende Netz bereit.



2. BEDEUTUNG MOBILER KOMMUNIKATION



DIE HOHE BEDEUTUNG VON MOBILFUNK IN UNSER ALLER ALLTAG LÄSST SICH EINDRUCKSVOLL AN DEN NUTZUNGSZAHLEN ABLESEN. DIE BUNDESNETZAGENTUR VERÖFFENTLICHT DAZU JÄHRLICH UMFANGREICHE STATISTIKEN.

Gesprächsvolumen im Mobilfunk übersteigt das über Festnetze abgewickelte Volumen deutlich

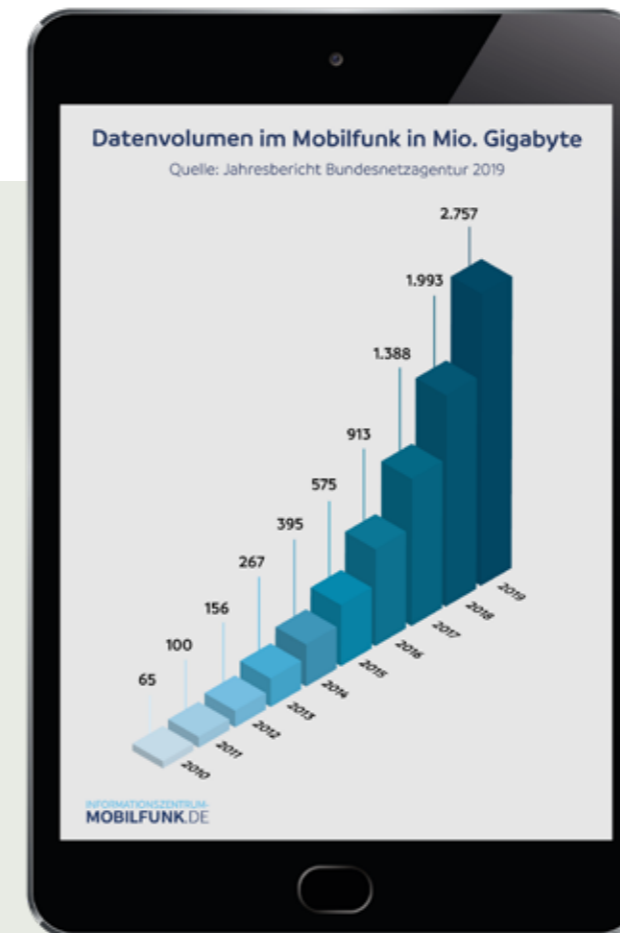
Im Jahr 2018 war in Deutschland erstmals mehr mobil telefoniert worden als im Festnetz. Dieser Trend verfestigte sich im Jahr 2019 weiter: 2019 wurden über Mobilfunknetze im Inland fast 127 Milliarden abgehende Gesprächsminuten geführt. Dem standen etwa 94 Milliarden Gesprächsminuten über Festnetze gegenüber. Insgesamt wird das Telefonieren also mobiler, das Mobiltelefon läuft dem Festnetzanschluss den Rang ab.

Datenvolumen im Mobilfunk steigt weiter

Noch stärker angestiegen ist allerdings das übertragene Datenvolumen im Mobilfunk: Die Menschen in Deutschland nutzen ihre Smartphones neben dem Telefonieren vermehrt für die mobile Datenübertragung. Das übertragene Daten-

volumen im Mobilfunk stieg im Jahr 2019 gegenüber dem Vorjahr erneut stark an: 2,76 Milliarden Gigabyte haben die Nutzer im vergangenen Jahr an Datenvolumen verbraucht. 2018 lag das verbrauchte Datenvolumen noch bei 1,99 Milliarden Gigabyte. Das entspricht einer Steigerung um 39 Prozent.

Stark rückläufig ist hingegen das Versenden von Kurznachrichten über SMS. Nachrichten per SMS werden in Zeiten von Messenger-Diensten deutlich weniger verschickt. Insgesamt tippten die Mobiltelefonbesitzer im Jahr 2019 7,9 Milliarden Mitteilungen, fast 13 Prozent weniger als 2018 (8,9 Milliarden Mitteilungen). Auf dem Höhepunkt der SMS-Ära im Jahr 2012 waren es noch fast 60 Milliarden, so der Jahresbericht der Bundesnetzagentur.



2018 **1,99** Milliarden GB

2019 **2,76** Milliarden GB

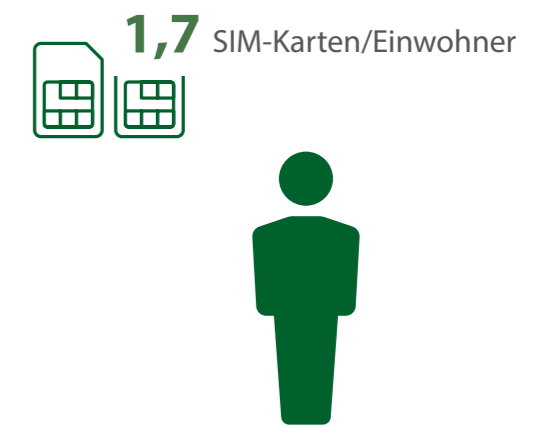
+ **39** %



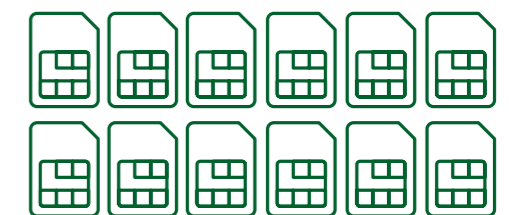
Rund 1,7 SIM-Karten pro Einwohner

Zum Ende des Jahres 2019 wurden nach Erhebungen der Bundesnetzagentur 107,2 Millionen SIM-Karten in Deutschland aktiv genutzt. Statistisch entfallen damit auf jeden Einwohner etwa 1,3 dieser Chipkarten. Dabei zählt die Bundesnetzagentur bei dieser Aufstellung nur solche Karten, über die in den letzten drei Monaten kommuniziert oder zu denen eine Rechnung in diesem Zeitraum gestellt wurde.

Die Gesamtanzahl aller in Deutschland registrierten SIM-Karten ist weitaus höher als die Summe aktiv genutzter Karten, da z.B. Zweit- und Drittgeräte oder sonstige zur Reserve vorgehaltene SIM-Karten nicht ständig in Gebrauch sind. Ende 2019 betrug der von den Mobilfunk-Netzbetreibern veröffentlichte Gesamtbestand aller registrierten SIM-Karten 142,9 Millionen. Dies entspricht einer Zunahme um 5,9 Millionen Karten gegenüber dem Jahresende 2018. Bei Betrachtung dieser Gesamtzahl entfallen somit rund 1,7 SIM-Karten auf jeden Einwohner.



+ 5,9 Millionen SIM-Karten (seit Ende 2018)



3. WIE FUNKTIONIERT MOBILFUNK?

DAS ERFOLGSREZEPT DES MODERNEN MOBILFUNKS IST SEINE AUSGEKLÜGELTE TECHNOLOGIE. SIE GEWÄHRLEISTET EINE HOHE ÜBERTRAGUNGSQUALITÄT BEI FLÄCHENDECKEND GUTER ERREICHBARKEIT.

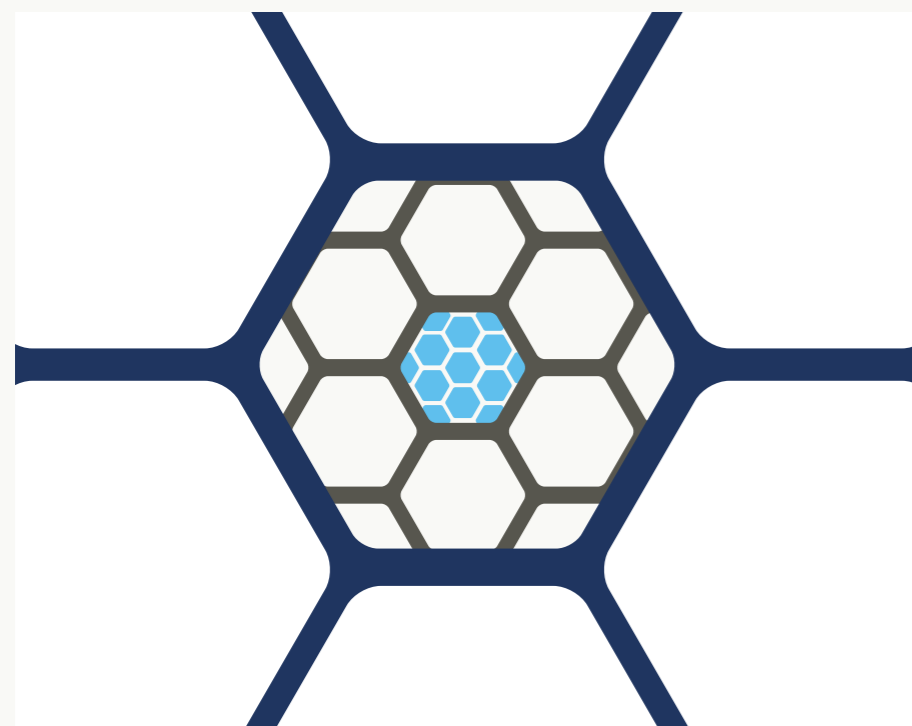
Funkzellen und ihre Beschaffenheit

Jedes Mobilfunknetz ist geografisch in viele aneinandergrenzende Gebiete unterteilt, die sogenannten Funkzellen. Man spricht daher auch vom zellularen Aufbau der Netze – im Englischen wird Mobilfunk als „Cellular Communications“ bezeichnet. Die Aufteilung in Funkzellen von begrenzter Größe ermöglicht es, die beschränkte Anzahl verfügbarer Funkkanäle optimal zu nutzen. Denn die Menge an verfügbaren Funkfrequenzen ist beim Mobilfunk durch die staatliche Lizenzvergabe stark begrenzt. In einem Mobilfunknetz werden daher dieselben Frequenzen beziehungsweise Codes in ausreichendem räumlichem Abstand wiederverwendet.

Die einzelnen Funkzellen sind in der Regel wabenförmig und erstrecken sich über das gesamte Bundesgebiet. Sie verfügen über unterschiedliche Größen. An Standorten mit einem

hohen Gesprächsaufkommen (z.B. Fußgängerzonen, Flughäfen, Messen) sind die Funkzellen kleiner (wenige 100 Meter, bei „Small Cells“ auch nur einige 10 Meter). In dünn besiedelten Gebieten hingegen ist die Zellgröße mit bis zu 5 bis 10 Kilometern wesentlich größer und wird primär durch die Sendeleistungen beziehungsweise Empfangsempfindlichkeiten von Basisstation und Mobiltelefon, durch die verwendete Frequenz sowie von der Topografie und der Bebauung begrenzt. In Ballungsräumen werden mittlerweile ergänzende sogenannte Small Cells eingesetzt. Sie können zum Beispiel in Straßenlaternen verbaut werden und haben einen geringen Radius, durch den jedoch die Kapazität der Netze erhöht wird. Small Cells werden dabei gezielt dort eingesetzt, wo eine Kapazitätserhöhung erforderlich ist. Sie liegen dann zusätzlich „unter“ den übergeordneten Makrozellen.

Zellgröße und Versorgungsbereiche eines Mobilfunknetzes



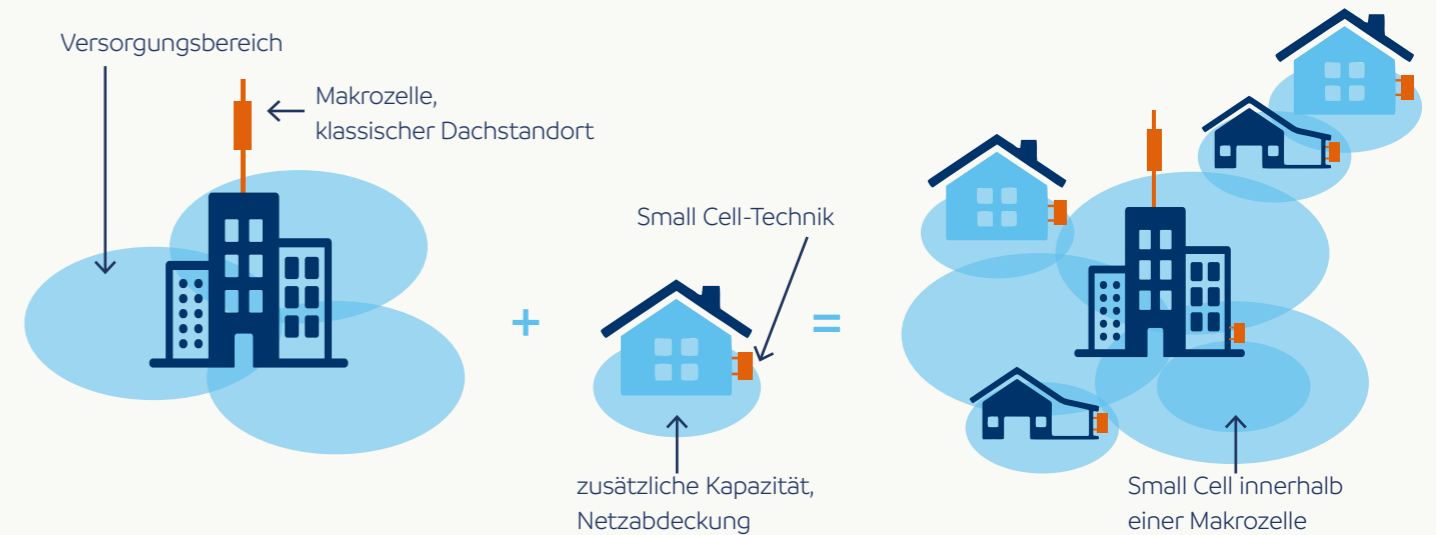
Großzelle (Makrozelle)
Flächenversorgung im ländlichen Bereich.
Radius: ca. 5 – max. 20 km

Kleinzelle (Small Cell)
Versorgung im städtischen Bereich.
Radius: ca. 500 m – max. 5 km

Mikrozelle
z.B. Bahnhof, Einkaufspassage, Messegelände.
Radius: ca. 10 m – max. 150 m

Weiterentwicklung des Mobilfunknetzes

heutige Netzabdeckung + Verdichtung mittels Small Cells = künftige Netzstruktur



Zusammenwirken von Mobilfunkbasisstationen und Kernnetz-Infrastruktur

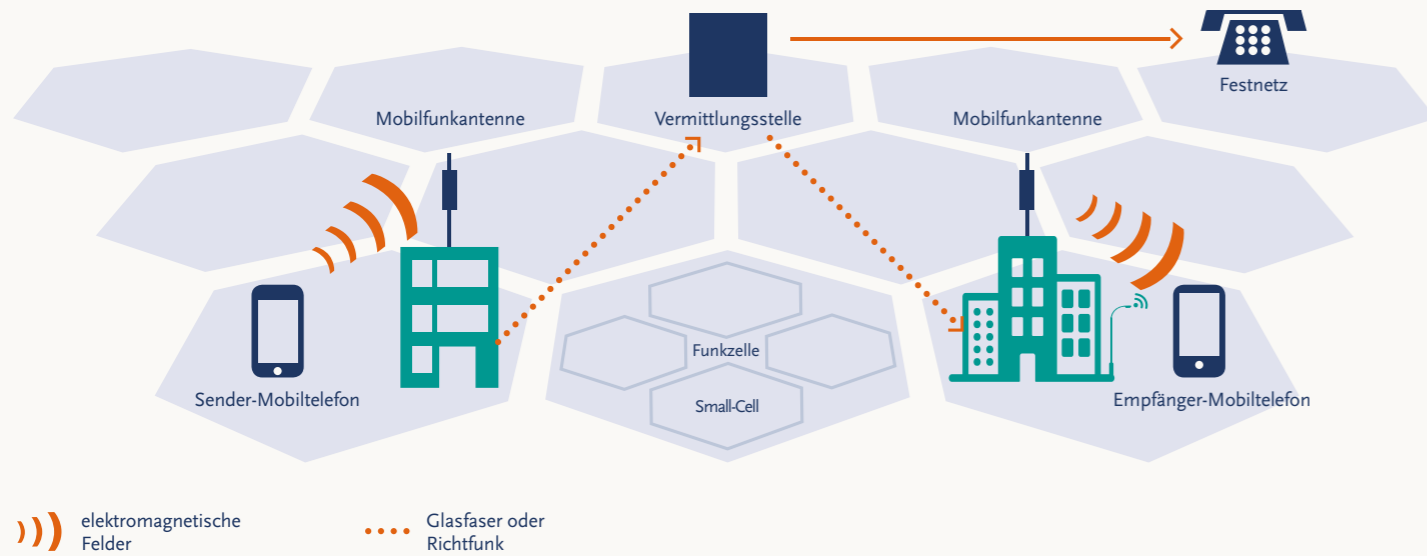
Im Gegensatz zum Rundfunk ist der Mobilfunk ein Netz, bei dem die Nutzer zur Sendestation zurücksenden. Da dies nur mit den geringen Sendeleistungen der Endgeräte erfolgen kann, müssen Mobilfunkstandorte vergleichsweise nah am Nutzer errichtet werden. Die Nutzer sind somit ein Stück weit die Architekten der Netze.

Jede Funkzelle verfügt über eine Sende- und Empfangsstation, die sogenannte Mobilfunkbasisstation. Die Basisstationen bilden gewissermaßen die Knotenpunkte der Mobilfunknetze und versorgen eine räumlich begrenzte Funkzelle mit Empfang. Ein Mobiltelefon im Versorgungsbereich einer Basisstation meldet sich an dieser Basisstation an und wird dann von ihr mit Funksignalen versorgt. Dazu werden Sprache und Daten digitalisiert, in kleine Einheiten zerlegt und schließlich in Funkwellen umgewandelt.

Die Mobilfunkbasisstation leitet die vom Mobiltelefon empfangenen Signale über Kabel- oder Funkverbindungen an eine entfernte Vermittlungsstelle des Netzbetreibers weiter. In umgekehrter Richtung ruft das sogenannte Kernnetz des Netzbetreibers beispielsweise Daten aus dem Internet ab und leitet sie über die Vermittlungsstelle und die Mobilfunkbasisstation zum Mobiltelefon des Teilnehmers weiter. Dasselbe gilt in beiden Übertragungsrichtungen für den Austausch von Sprachsignalen mit dem Gesprächspartner am „anderen Ende der Leitung“.

Bewegt sich das Mobiltelefon, zum Beispiel in einem fahrenden Auto oder Zug, kommt es zu einer Übergabe zwischen den Zellen, dem sogenannten „Handover“: Wird das Empfangssignal der aktuellen Station schwächer und das der benachbarten Station stärker, reicht das Mobilfunknetz laufende Daten- und Gesprächsverbindungen ohne Unterbrechung an die Nachbarzelle weiter.

Wie funktioniert ein Mobilfunknetz?



Bedeutung von Funkwellen zur Informationsübertragung

Die physikalische Voraussetzung für das mobile Telefonieren sind hochfrequente elektromagnetische Funkwellen. Sie dienen gewissermaßen als Fortbewegungsmittel, das die Informationen mit Lichtgeschwindigkeit transportiert. Die Gesprächs- oder Datensignale werden dafür digitalisiert und in hochfrequente elektromagnetische Felder umgewandelt.

Elektromagnetische Felder sind überall in unserer Umwelt zu finden. Ein Teil von ihnen hat einen natürlichen Ursprung; zum Beispiel die Felder, die bei einem Gewitter auftreten, aber auch das Licht der Sonne. Technisch erzeugte elektromagnetische Felder entstehen dort, wo Strom fließt. Sie werden zum Beispiel von Radio- und Fernsehgeräten, aber auch von Haartrocknern, Mikrowellengeräten und dem Mobilfunk erzeugt.

Elektromagnetische Felder unterscheiden sich in ihrer Wellenlänge: Je kürzer die Wellenlänge, desto höher die Frequenz. Man unterscheidet zwischen niederfrequenten elek-

trischen und magnetischen Feldern im Frequenzbereich zwischen 0 Hertz und 10 Kilohertz und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 10 Kilohertz bis 300 Gigahertz. Für Mobilfunkübertragungen wird in Deutschland aktuell der Frequenzbereich zwischen 700 Megahertz und 3800 Megahertz (3,8 Gigahertz) genutzt. Da angesichts des wachsenden Bedarfs vor allem an Mobilfunk-Datenkapazität diese Funkfrequenzen stark nachgefragt sind, wird aktuell diskutiert, ob in Zukunft auch Frequenzen aus dem Bereich von 24 bis 86 GHz genutzt werden sollen. Frequenzen in diesem Bereich werden bisweilen auch schon als „Millimeterwellen“ (englisch mmWaves) bezeichnet, obwohl die Wellenlänge erst oberhalb von 30 GHz tatsächlich kleiner als 1 cm ist. Dabei gilt grundsätzlich das physikalische Prinzip, je höher die Frequenz, desto geringer die Reichweite der Signale. Deshalb eignen sich für eine breite Mobilfunkversorgung nur die „niedrigeren“ Bereiche des Frequenzspektrums – also die oben genannten Frequenzen bis etwa 3800 Megahertz. Detailliertere Informationen über die Nutzung der Frequenzen für verschiedene Mobilfunkstandards finden Sie im Kapitel 4.

Elektromagnetische Felder in der Umwelt

Nichtionisierende Strahlung

Niederfrequente Felder



Netzfrequenz
(Wechselspannung 50 Hertz)

Hochfrequente Felder



Langwelle, Mittelwelle,
Kurzwelle, Ultrakurzwelle,
Mobilfunk, Mikrowelle, Radar

Optische Strahlung



Infrarote Strahlung,
sichtbares Licht,
ultraviolettes Licht

Ionisierende Strahlung

Röntgenstrahlung Gammastrahlung



Röntgenstrahlung,
Gammastrahlung

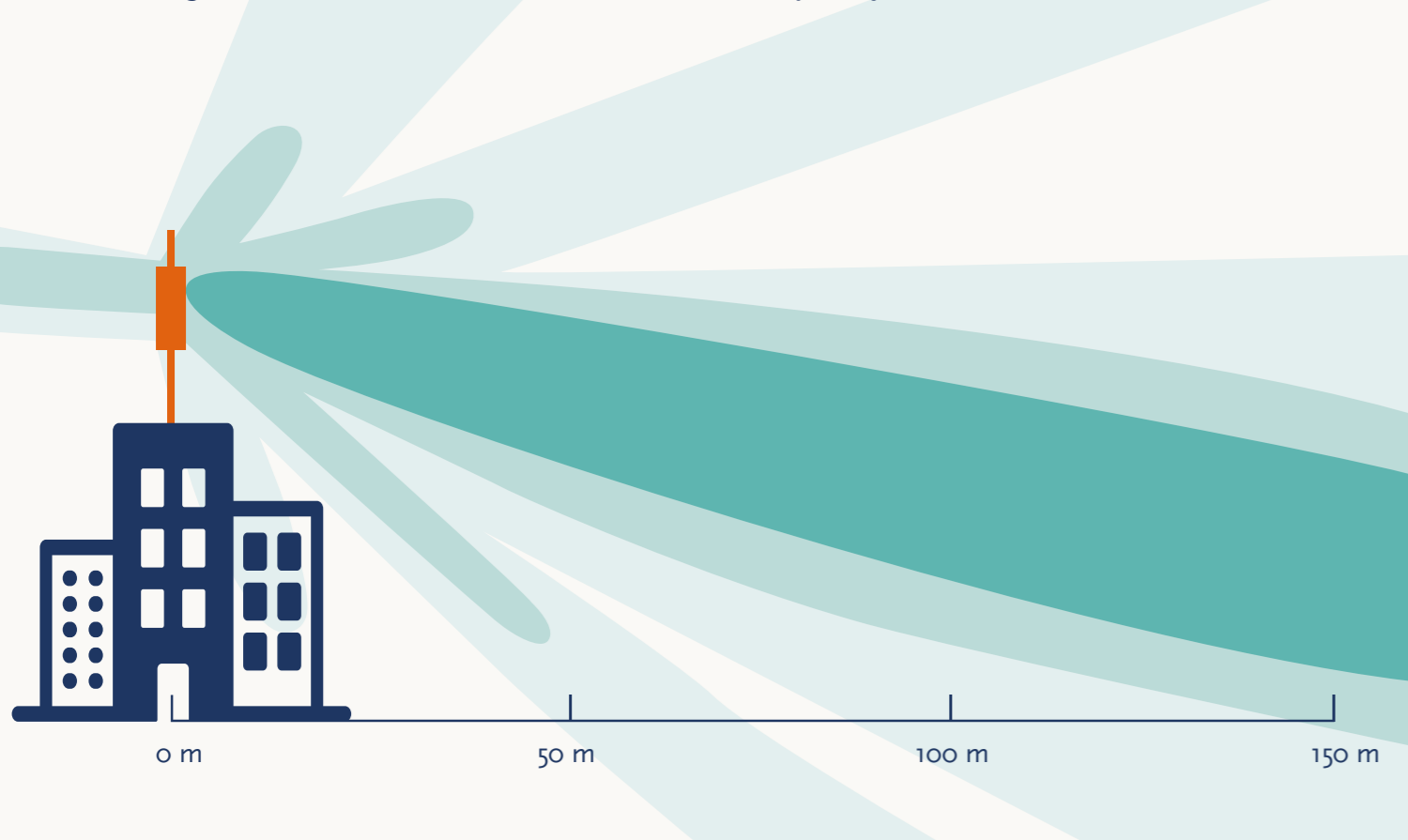
Übertragung von Funkwellen beim Mobilfunk

Mobiltelefone und Basisstationen arbeiten bei der Übertragung der Funkwellen ähnlich wie ein Lautsprecher. Während der Lautsprecher elektrische Energie in Schallwellen umwandelt, senden Mobiltelefone und Basisstationen elektromagnetische Felder als Funkwellen zum jeweiligen Empfänger.

Bei der Mobilfunkbasisstation erfolgt dieses Aussenden der Funkwellen vor allem in der Horizontalen. Die Hauptausbreitungsrichtung der Wellen ist mit dem Lichtkegel eines Leuchtturms vergleichbar. Die physikalischen Eigenschaften einer Antenne führen allerdings dazu, dass es neben dem Hauptarm auch schwächere, in verschiedenen Winkeln gesendete Nebenarme gibt. Dabei gelangen nur wenige Funkwellen an Orte direkt unterhalb der Antenne. Außerdem nimmt die Stärke der Funkwellen schnell mit zunehmendem Abstand von der Antenne ab.



Elektromagnetisches Feld einer Mobilfunkbasisstation/Haupt- und Nebenarme



Wie breiten sich Funkwellen aus?

Der Ausbreitung von Funkwellen sind natürliche und künstliche Grenzen gesetzt. Gebäude, Berge, schmale Täler oder enge Straßenzüge können zu sogenannten Abschattungen und damit zu schlechtem Empfang führen. Diesen Effekt bewirken ebenso Stahlbeton oder metallbedampfte Scheiben. Darüber hinaus können auch Witterungseinflüsse wie Regen oder Schnee eine Dämpfung der Funkwellen verursachen.

Funkwellen werden ähnlich wie Lichtwellen nicht nur abgeschattet, sondern auch zurückgeworfen. Diese Reflexion sorgt dafür, dass die Wellen auch Bereiche „ausleuchten“, die wegen der Abschattungen auf direktem Wege nicht zu erreichen sind. Durch Reflexion, Beugung und Brechung gelangt ein Mobilfunksignal auch auf Umwegen von der Basisstation zum Mobiltelefon. Aus diesem Grund hat ein Mobiltelefonnutzer in der Regel auch dann Empfang, wenn kein direkter Sichtkontakt zur Basisstation besteht. Treffen Funkwellen auf Objekte, wird ein Teil der Wellen von dem Objekt aufgenommen, also absorbiert. Hinter dem Objekt ist der Empfang entsprechend gedämpft.

Sicherheit durch SAR-Wert

Da auch der menschliche Körper Funkwellen über die Haut absorbiert, ist zum Schutz der Gesundheit der SAR-Grenzwert festgelegt. Diese Spezifische Absorptionsrate (SAR) gibt an, wie viel elektromagnetische Energie vom Körper absorbiert wird.

Der SAR-Wert eines Mobiltelefons oder Tablets gibt an, wie viel Sendeleistung der Körper beim Telefonieren mit diesem Gerät maximal aufnehmen kann. Dabei beträgt der gültige Grenzwert 2 Watt pro Kilogramm Körpergewebe. Er stimmt mit den Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP) überein. Mobiltelefone, die in Deutschland und europaweit verkauft werden, müssen den SAR-Grenzwert einhalten. Auch wenn das Smartphone oder Tablet im Dauerbetrieb und bei maximaler Leistung genutzt wird, besteht keine Gefahr für die Gesundheit.

Automatische Leistungsregulierung

Mobiltelefone und Basisstationen besitzen bei allen Mobilfunkstandards eine Steuerungseinrichtung zur automatischen Leistungsregelung („Power-Control“). So wird die Sendeleistung jeweils auf das erforderliche Minimum reduziert, das für eine qualitativ gute Übertragung erforderlich ist. Damit soll eine gegenseitige Störung der Sender vermieden und – insbesondere beim Mobiltelefon – der Energieverbrauch reduziert werden. Zugleich führt eine niedrigere Sendeleistung auch zu einer Reduzierung der abgestrahlten elektromagnetischen Energie. Mobiltelefone sind also so konstruiert, dass sie die festgelegten Grenzwerte nicht nur einhalten, sondern deutlich unterschreiten.

Einflussfaktoren auf die Struktur von Mobilfunknetzen

In der Praxis leitet sich die Zellstruktur aus den zahlreichen Einzelanforderungen ab, die an ein modernes Mobilfunknetz gestellt werden. Dies sind zum Beispiel eine ausreichende Übertragungskapazität, eine hohe Qualität der Sprach- und Datenübertragung bei geringen Fehlerraten und eine flächendeckende Nutzbarkeit, die auch die Versorgung innerhalb von Gebäuden umfasst.

Jede Mobilfunkzelle kann nur eine begrenzte Anzahl an Nutzern versorgen. Der kontinuierlich steigende Bedarf an Übertragungskapazitäten hat dazu geführt, dass die Betreiber die Zahl der Mobilfunksender und damit auch der Funkzellen erhöht haben. Dadurch ist es möglich, die im Netz zur Verfügung stehenden Frequenzen beziehungsweise Codes häufiger wiederzuverwenden. Funkzellen, in denen die gleichen Frequenzen/Codes zum Einsatz kommen, müssen allerdings ausreichend weit voneinander entfernt sein, damit es nicht zu gegenseitigen Störungen, sogenannten Interferenzen, kommt.

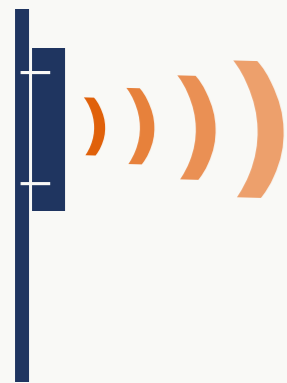
In der Praxis werden hauptsächlich sogenannte Sektorantennen eingesetzt. Sie senden nicht in alle Raumrichtungen, sondern haben meist einen horizontalen Öffnungswinkel von ca. 120°. Diese „Sektorisierung“ erlaubt grundsätzlich die Installation mehrerer Antennen auf einem Antennenmast beziehungsweise Standort. Die verschiedenen Sektoren versorgen dann unterschiedliche Teilbereiche – ein Antennenmast kann so gleich mehrere separate Funkzellen erzeugen. Vorteil: Mit dieser Maßnahme erhöht sich auch die Kapazität.

Angepasst an die örtliche Nachfrage werden innerhalb eines Mobilfunknetzes große und kleine Zellen realisiert. Auf diese Weise können Hochlastgebiete wie Innenstadtbereiche, Flughäfen oder Bahnhöfe gezielter und effizienter versorgt werden. Beim Zuschnitt der Zellen ist zudem zu beachten, dass die Auslastung über den Tag, die Woche oder das Jahr gesehen zum Teil sehr stark schwankt.

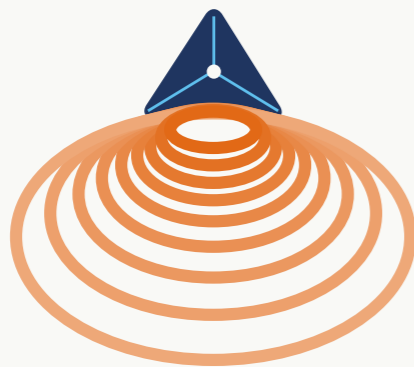
Kleinere Funkzellen können darüber hinaus auch die Übertragungsqualität verbessern. Wenn die Zellen geografisch eng begrenzt sind, wird die Möglichkeit verringert, dass es zu Abschwächungen des Funksignals kommt.

Sektorantennen einer Mobilfunk-Basisstation: Richtcharakteristik

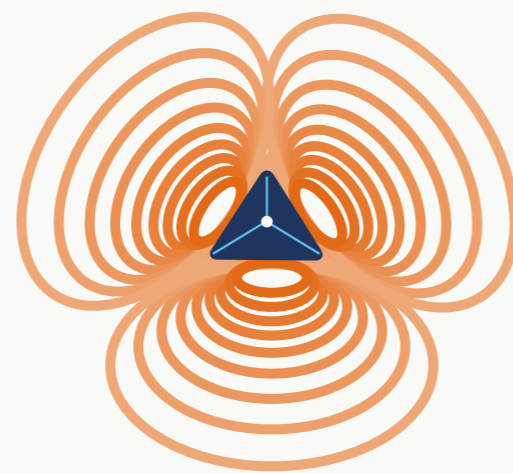
Ansicht von der Seite



Ansicht von oben



Sektorantennen einer Mobilfunk-Basisstation: Rundumabdeckung



Regelfall: 3 Sendeantennen pro Standort
360°-Rundumabdeckung durch eine Mobilfunk-Basisstation mit drei 120°-Sektorantennen



4. WIE WIRD EIN FUNKNETZ GEPLANT?



Um mit Mobiltelefonen ortsunabhängig – insbesondere in Notfällen – erreichbar zu sein und jederzeit Daten senden und empfangen zu können, bedarf es einer umfassenden Infrastruktur. Um der kontinuierlich steigenden Nachfrage nach einer qualitativ hochwertigen Netzversorgung Rechnung tragen zu können, müssen die Mobilfunkbetreiber ständig in ihre Netze investieren.

Anforderungen an Mobilfunkstandorte

Die Ermittlung von geeigneten Standorten für Basisstationen ist ein komplizierter und abstimmungsintensiver Vorgang. Hierbei gilt es, sowohl technische als auch rechtliche und wirtschaftliche Anforderungen zu berücksichtigen und eine sorgfältige Funknetzplanung zu betreiben. Die wichtigsten Anforderungen an einen Mobilfunkstandort lassen sich in den folgenden Grundsätzen zusammenfassen:

- Der Aufbau des Standortes muss wirtschaftlich vertretbar sein.
- Der Standort muss (funk-)technisch geeignet sein und sich in die vorhandene Netzarchitektur einfügen. Die entscheidenden Aspekte sind dabei meist die erreichbare bauliche Höhe der Antennenunterkanten ggü. dem Anlagenumfeld sowie die Entfernung des möglichen Standortes zum Versorgungszielgebiet.
- Der Standort muss unter anderem baurechtliche und immissionsschutzrechtliche Bestimmungen erfüllen.
- Der Eigentümer muss der geplanten Baumaßnahme zustimmen.

Grundsätzlich muss jeder Mobilfunknetzbetreiber sein eigenes Netz planen und realisieren. Dies ist vom Kartellrecht vorgeschrieben und soll den Wettbewerb im Mobilfunkbereich sicherstellen. Gewinner ist der Verbraucher, der durch den verstärkten Wettbewerb Preise und Dienstleistungen der Anbieter miteinander vergleichen kann.

Die Gesamtzahl aller in Deutschland existierenden Mobilfunkstandorte resultiert überwiegend aus den Kapazitätsanforderungen der Nutzer – nicht aus der Anzahl der Betreiber. Gäbe es nur einen einzigen Betreiber, bräuchte er zur Versorgung aller Nutzer nahezu die gleiche Anzahl von Senderstandorten.

Planung von Mobilfunkstandorten

Bei der Planung von Mobilfunkstandorten geht es darum, herauszufinden, wie die einzelnen Funkzellen geschnitten sein müssen, um eine optimale Versorgung für Mobiltelefone oder Tablet-PCs zu erzielen, mit denen die Nutzer ins Internet gehen oder telefonieren. Letztlich geht es also um die Frage, wo überall Basisstationen zu errichten sind. Darüber hinaus müssen die Mobilfunkbetreiber auch die bestehenden Netze laufend verbessern. Ziel ist es, die stetig steigende Zahl der Teilnehmer mit ihren verschiedenen mobilen Endgeräten und ihre steigende Datennutzung optimal zu versorgen.

Aus diesen Rahmenbedingungen leiten sich auch die konkreten Anforderungen ab, die bei Planung und Aufbau der Netze zu beachten sind: Es muss eine flächendeckende Nutzbarkeit des Netzes garantiert sein. Die Qualität der Übertragung von Sprache und Daten sollte gleichbleibend hoch sein. Es müssen immer ausreichend Kapazitäten für alle möglichen Nutzer zur Verfügung stehen. Die Kunden erwarten dabei auch eine gute Versorgung innerhalb von Gebäuden.

Bei der Funknetzplanung ist zudem zu beachten, dass die nebeneinander liegenden Funkzellen eine möglichst gleichmäßige Struktur besitzen und genau aufeinander abgestimmt sind. Der Grund hierfür ist die Tatsache, dass die Änderung der Eigenschaften einer Funkzelle automatisch funktechnische Folgen für ihre Nachbarzellen hat. Innerhalb eines Netzes werden große und kleine Zellen gemischt, um gezielt etwa sogenannte Hochlastgebiete wie Innenstädte, Flughäfen oder Bahnhöfe zu versorgen.

Einflussgrößen bei der Funknetzplanung

Entscheidend bei der Planung von Mobilfunknetzen ist die Berechnung der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen, die die Grundlage der Funkübertragung sind. Im Gegensatz zu Radio- und Fernsehsendern haben Mobilfunkantennen wegen der engen geografischen Begrenzung der Funkzellen nur sehr geringe Antennenhöhen und entsprechend geringe Sendeleistungen. Daher ist es erforderlich, bei der Planung eines Standortes mit viel mehr Genauigkeit vorzugehen als es bei Rundfunksendern der Fall ist.

Bei der Funknetzplanung sind darüber hinaus weitere Einflussgrößen zu berücksichtigen. Die Funksignale können durch natürliche Hindernisse oder Gebäude, aber auch durch Witterungseinflüsse abgeschwächt oder abgelenkt werden. Auch die zum Teil sehr unterschiedliche Auslastung eines Netzes muss für den Zeitraum eines Tages, einer Woche sowie eines Jahres berechnet werden. Für den Bereich der mobilen Telekommunikation sind dafür Computermodelle entwickelt worden. Sie können die Funkausbreitung beispielsweise in Abhängigkeit von der Geländeform und der Bebauung simulieren und darstellen.

Für Deutschland geltende Grenzwerte für Mobilfunkbasisstationen

Frequenz	elektrische Feldstärke in V/m	äquivalente Leistungsflussdichte in W/m ²
700 MHz	36	3,5
800 MHz	38	3,9
900 MHz	41	4,6
1800 MHz	58	9,0
2600 MHz	61	10,0
3,4–3,8 GHz	61	10,0





Vorgehensweise bei der Funknetzplanung

Bei der Planung einer einzelnen Basisstation legen die Funknetzplaner zunächst einen sogenannten Suchkreis fest. Dieser berücksichtigt die geografischen Bedingungen vor Ort. Bereits in dieser frühen Phase der Planung wird die Kommune über die Planungen unterrichtet. Anschließend überprüfen die Netzbetreiber, ob – und wenn ja, welche – Bauwerke innerhalb des berechneten Suchkreises liegen. Besonders geeignet für die Errichtung eines Mobilfunksenders sind hohe Türme, Schornsteine oder Gebäude. Gelegentlich folgt eine besondere funktechnische Messung an dem entsprechenden Standort. Dadurch lässt sich klären, ob alle Sende- und Empfangsanforderungen erfüllt sind. Auch die Anbindbarkeit des Standortes in das Gesamtnetz per Richtfunk oder Glasfaser muss geprüft werden.



Haben die Funkplaner in Abstimmung mit der Kommune den geeigneten Standort der Basisstation einer bestimmten Funkzelle festgelegt, kann mit dem Aufbau begonnen werden. Zunächst aber wird ein Vertrag mit dem Gebäudeeigentümer über Miethöhe und Mietdauer für die Basisstation abgeschlossen. Im Anschluss entwirft ein Architekt den Bauplan. Aus ihm geht hervor, wie die Antennen montiert werden und wo die Technikbox für die Elektronik steht. Darüber hinaus sind die relevanten Bestimmungen aus Baurecht, Denkmalschutz und Naturschutz zu beachten.

Antrag, Standortbescheinigung, Überprüfung und Inbetriebnahme

Die vom Netzbetreiber bei der unabhängigen Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (Bundesnetzagentur) zu beantragende Standortbescheinigung dient der Sicherstellung des Immissionsschutzes am Standort. Sie wird meist kurz vor Beginn der Bauphase beantragt und muss zwingend vorliegen, bevor die Station den Betrieb aufnimmt. Aus den Bauplänen und anhand der technischen Daten errechnet die Bundesnetzagentur die Sicherheitsabstände für die Standortbescheinigung jedes Standortes. Dabei wird aus den Grenzwerten abgeleitet, welcher Abstand zwischen Menschen und den Sendeanlagen eingehalten werden muss, damit nur niedrige, unbedenkliche Immissionen auftreten. Diese und die Details zur Antennenkonfiguration werden in der Standortbescheinigung aufgeführt.

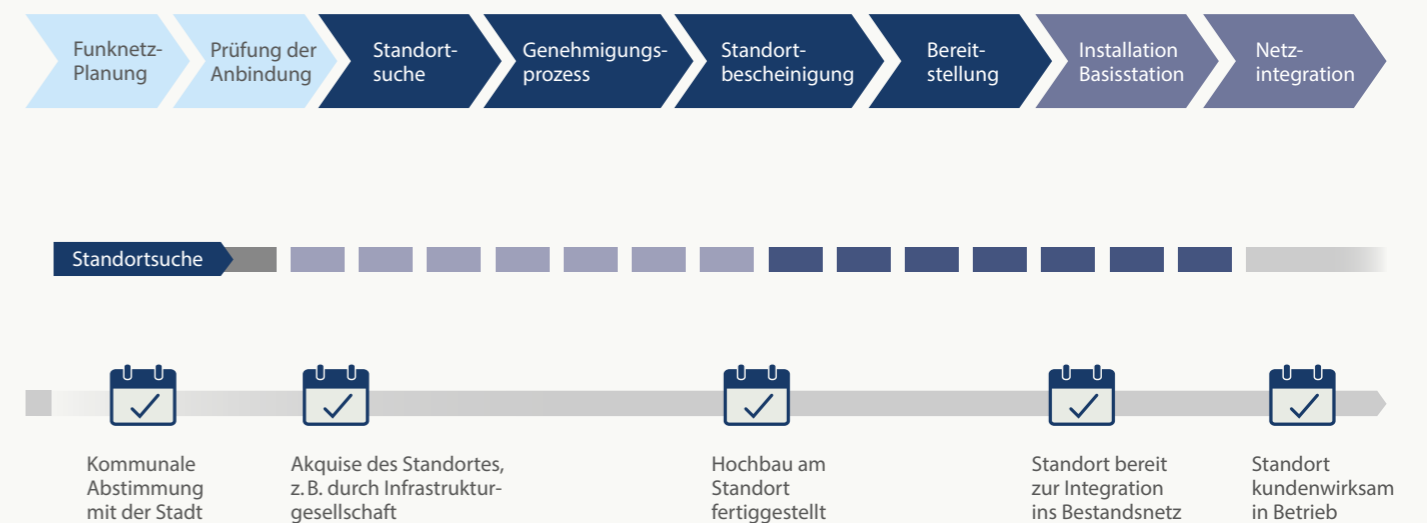
Die Standortbescheinigung wird anschließend der Kommune und der zuständigen örtlichen Umweltbehörde in der Standortdatenbank der Bundesnetzagentur bereitgestellt. Diese Datenbank beinhaltet auch die zugehörigen Inbetriebnahme- und Außerbetriebnahme-Anzeigen der Netzbetreiber.

Die bauliche Realisierung am Standort folgt meist nach dem Erhalt der Standortbescheinigung beim Netzbetreiber. Nach dem Aufbau wird ein Probelauf mit weiteren funktechnischen Messungen durchgeführt. Erst nach dem erfolgreichen Abschluss aller Tests geht die Basisstation endgültig ans Netz.

Für Kommunen besteht die Möglichkeit, in einem passwortgeschützten Bereich zusätzliche Informationen zu den installierten Funksystemen in einem Datenportal der Bundesnetzagentur einzusehen.



Schritte beim Aufbau einer Mobilfunk-Basisstation



5. WELCHE MOBILFUNKSYSYSTEME GIBT ES UND WELCHE FUNKFREQUENZEN NUTZEN SIE?

Die drahtlose Übertragung von Informationen hat sich seit der Entdeckung der Funkwellen als Übertragungsmedium Ende des 19. Jahrhunderts rasant entwickelt. Dieses Tempo hat sich mit dem Siegeszug mobiler Kommunikation noch einmal erhöht.

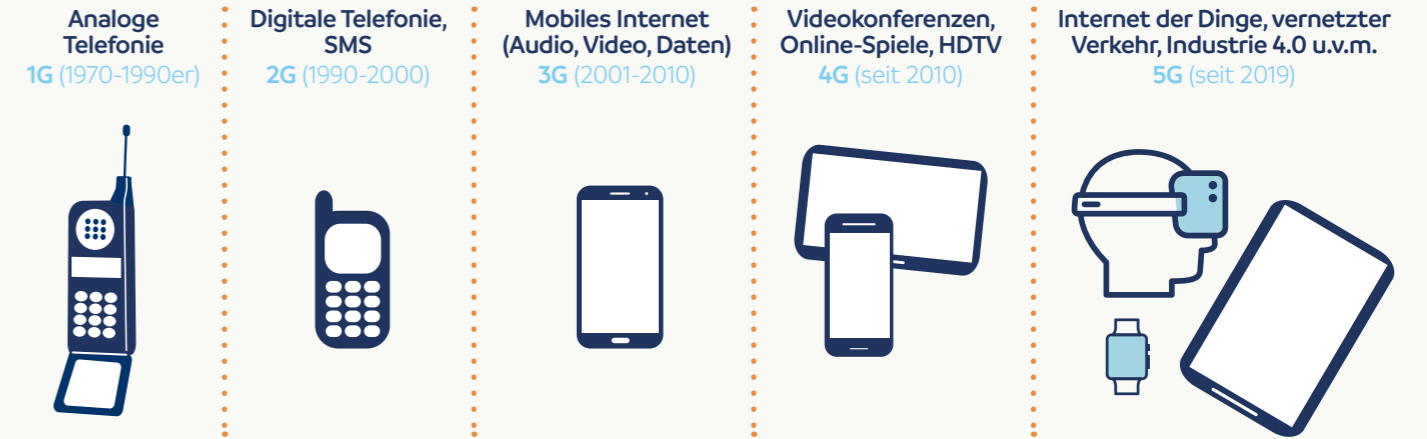
Heute werden Funkwellen für Hörfunk, Fernsehen und Mobilfunk genutzt. Ebenso greifen Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste und das Taxigewerbe darauf zurück. Und auch im Haushalt findet die Übertragung von Informationen über Funkwellen vielfältige Anwendungen – vom WLAN für Notebook und Tablet über schnurlose Telefone bis hin zum Babyphon.

Eine kurze Geschichte des Mobilfunks in Deutschland: vom A-Netz bis zu 5G

Mobilfunk gibt es in Deutschland bereits seit 1958. Dabei sind seit Einführung der digitalen GSM-Netze im Jahr 1991 die analogen Vorgängerstandards obsolet. Neben den Bezeichnungen für die Funktechnologie (GSM, UMTS, LTE etc.) werden auch die Technologie-Generations zur Bezeichnung verwendet: Demnach zählt GSM zur zweiten Mobilfunkgeneration (2G), LTE zur vierten Generation (4G). 5G bezeichnet die fünfte Generation.

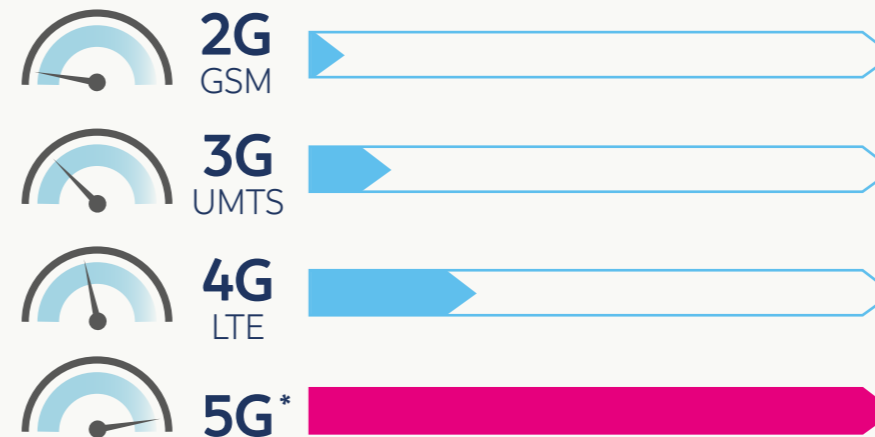


Generation	Definition, Beispiele	Schwerpunkte/Anwendungen
1	Mobilfunknetze, in Deutschland A-Netz (1958 – 1977), B-Netz (1972 – 1994), C-Netz (1985 – 2000)	Fest eingebaute Autotelefone, im C-Netz auch erste Mobiltelefone. Ausschließlich Telefonie, keine Datendienste.
2	Erste digitale Mobilfunknetze, in Deutschland D- und E-Netze (GSM) seit 1991 bis heute.	Telefonie über Autotelefone und vor allem Mobiltelefone. Erste digitale Zusatzdienste wie SMS und früher Datenfunk mit bis zu 57600 Bit/s (HSCSD) beziehungsweise 53600 Bit/s (GPRS). EDGE als 2.5G-Datentechnik bis 220 Kbit/s.
3	UMTS, in Deutschland kommerziell verfügbar seit 2004. Sukzessive Abschaltung ab 2021 geplant	Sprachtelefonie und Datenkommunikation. Starker Fokus auf Datendienste – zunächst bis max. 1 Mbit/s, später mit HSPA bis 42 Mbit/s.
4	LTE, in Deutschland kommerziell verfügbar seit 2010	Fokus auf Datenkommunikation, Sprachtelefonie zunächst nur per Fallback auf 3G, später VoLTE (Voice over LTE). Datenraten anfangs bis 50 Mbit/s, später typisch bis zu 300 Mbit/s und mit „LTE-Advanced“ bis 1 Gbit/s.
5	5G, Marktstart in Deutschland 2019	Fokus auf Datenkommunikation und Sprachkommunikation via IP; zusätzlich Fokus auf Maschinenkommunikation (IoT). Datenraten zu Beginn um 1 Gbit/s, später bis zu 10 Gbit/s geplant.

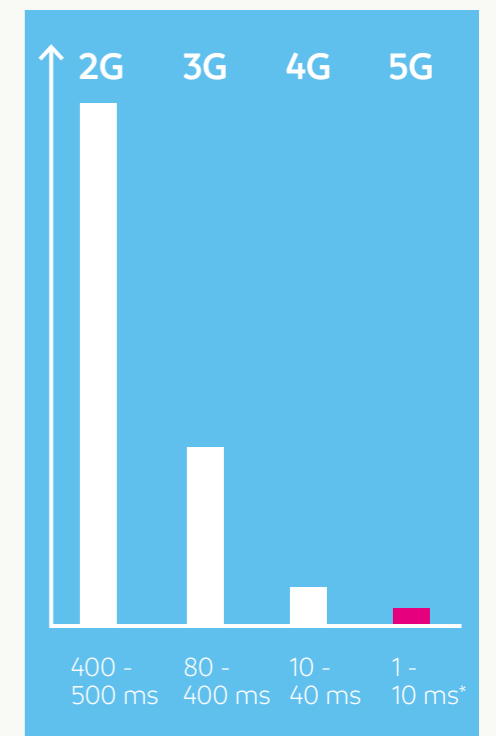


BEI GSM, UMTS UND LTE HANDELT ES SICH UM MOBILFUNKSTANDARDS, DIE IN ZAHLREICHEN LÄNDERN UND REGIONEN DER WELT VERWENDET WERDEN. DER 2010 EINGEFÜHRTE STANDARD LTE IST DIE ERSTE MOBILFUNKTECHNIK, DIE WELTWEIT EINHEITLICHE STANDARDS NUTZT. BEI GSM UND UMTS EXISTIEREN IN AMERIKA, EUROPA UND ASIEN ERHEBLICHE UNTERSCHIEDE.

Geschwindigkeit im Vergleich



Latenzzeit in Millisekunden (1.000ms entsprechen 1s)



Download-Dauer eines HD-Films 6,6 GB Größe



* in maximaler Ausbaustufe

Frequenznutzung durch GSM (2G) bis 5G

Zum Transport dieser Informationen für Sprache und Daten wurden früher jedem Mobilfunkstandard bestimmte Frequenzbereiche zugewiesen. Bedingt durch diese Historie wird in Deutschland der Frequenzbereich um 900 Megahertz und um 1800 Megahertz häufig für GSM genutzt. UMTS überträgt die Funksignale meist noch im Frequenzbereich zwischen 1900 und 2100 Megahertz. LTE-Mobilfunknetze nutzen Frequenzen häufig in den Bereichen 700 Megahertz, 800 Megahertz, 1,8 Gigahertz und 2,6 Gigahertz.

Dabei wird jeder Frequenzbereich wiederum in zwei Frequenzbänder unterteilt: Auf dem unteren Frequenzband erfolgt die Übertragung der Daten vom Mobiltelefon zum Sender. Dies ist der sogenannte Uplink. Auf dem oberen Frequenzband werden die Daten vom Sender zum Mobiltelefon übertragen. Dabei handelt es sich um den Downlink.

Der hierzulande im Jahr 2004 eingeführte UMTS-Standard legte zwar die Grundlage für mobile Datenkommunikation, doch im Vergleich zu den moderneren Funkstandards 4G (LTE) und 5G nutzt er die ihm zugewiesenen Frequenzbereiche sehr ineffizient. Um die knappe Ressource Mobilfunkfrequenzen besser zu nutzen, planen deshalb alle deutschen Mobilfunk-Netzbetreiber ihre 3G- beziehungsweise UMTS-Netze in den kommenden Jahren sukzessive abzuschalten. Die so frei werdenden Funkfrequenzen werden zunehmend für die moderneren Standards 4G (LTE) und 5G genutzt, die auf ihnen wesentlich höhere Datenmengen übertragen können.

Der GSM-Standard (2G) nutzt „seine“ Frequenzen zwar ebenfalls recht ineffizient. Da diese Technologie jedoch fast weltweit zum mobilen Telefonieren genutzt wird, soll sie zum Roaming und zur Basisversorgung alter Geräte bis auf Weiteres in Betrieb bleiben.

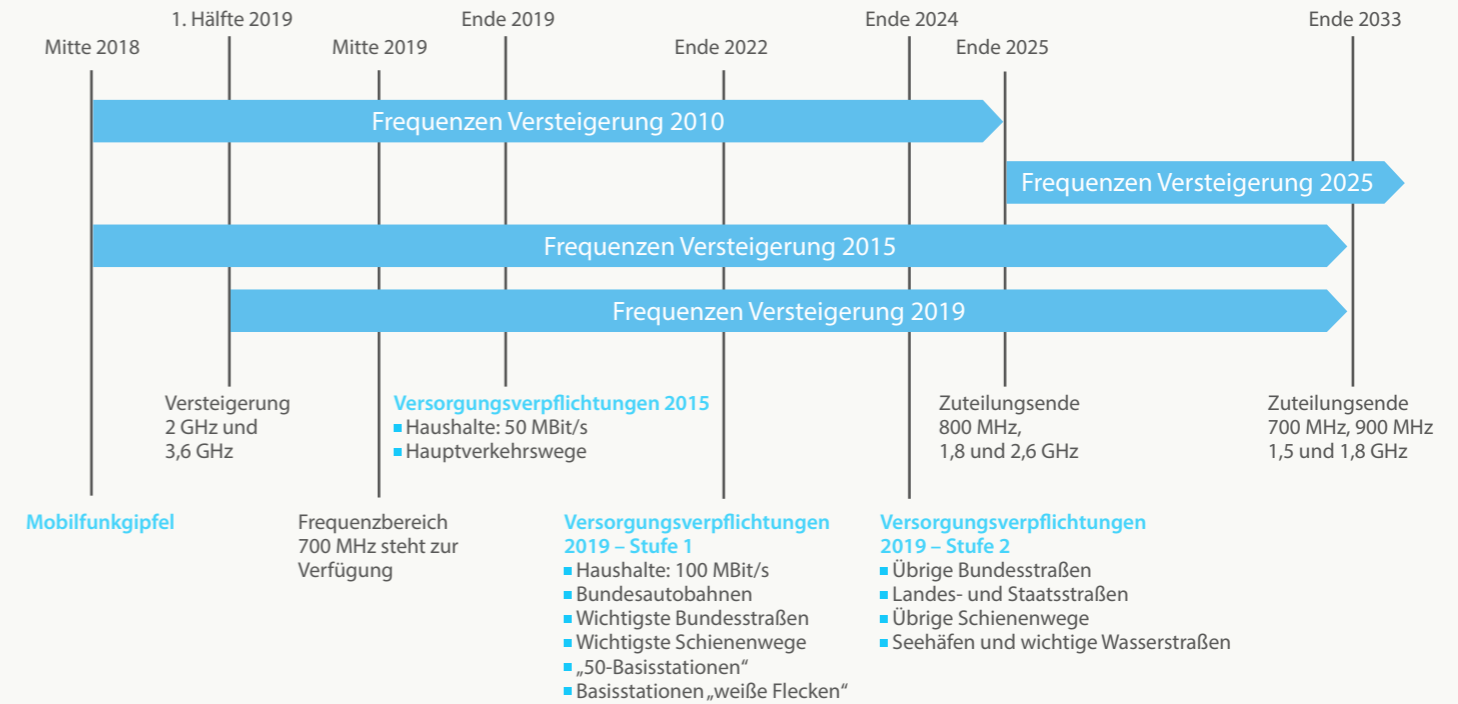
Diese Entwicklung wird davon begleitet, dass die Auktion und Lizenzierung von Funkfrequenzen mittlerweile technologieneutral erfolgt – es ist mittlerweile weitgehend den Netzbetreibern überlassen, welche Mobilfunktechnologie sie auf welcher Funkfrequenz anbieten. Die Steuerungstechnik für die Funkanlagen in den Mobilfunkbasisstationen nutzt deshalb heute das sogenannte SingleRAN-Verfahren.

In früheren Mobilfunknetzen gab es für jeden unterstützten Mobilfunkstandard eigene Antennen und eigene Hardware-Elemente in der Mobilfunk-Basisstation. Das „Radio Access Network“ (kurz RAN – das Funknetz) war auf jeweils einen Funkstandard festgelegt. Typischerweise gab es an einem Mobilfunk-Standort mehrere solcher RANs. In moderner Mobilfunk-Infrastruktur wird die ausgesendete Mobilfunk-Technologie durch Software definiert. Die Hardware in der Basisstation und innerhalb physikalischer Grenzen auch die Antennen sind so ausgelegt, dass die Software über sie die Signale der unterschiedlichen Mobilfunkstandards (2G/GSM, 3G/UMTS, 4G/LTE, 5G) bereitstellen kann.

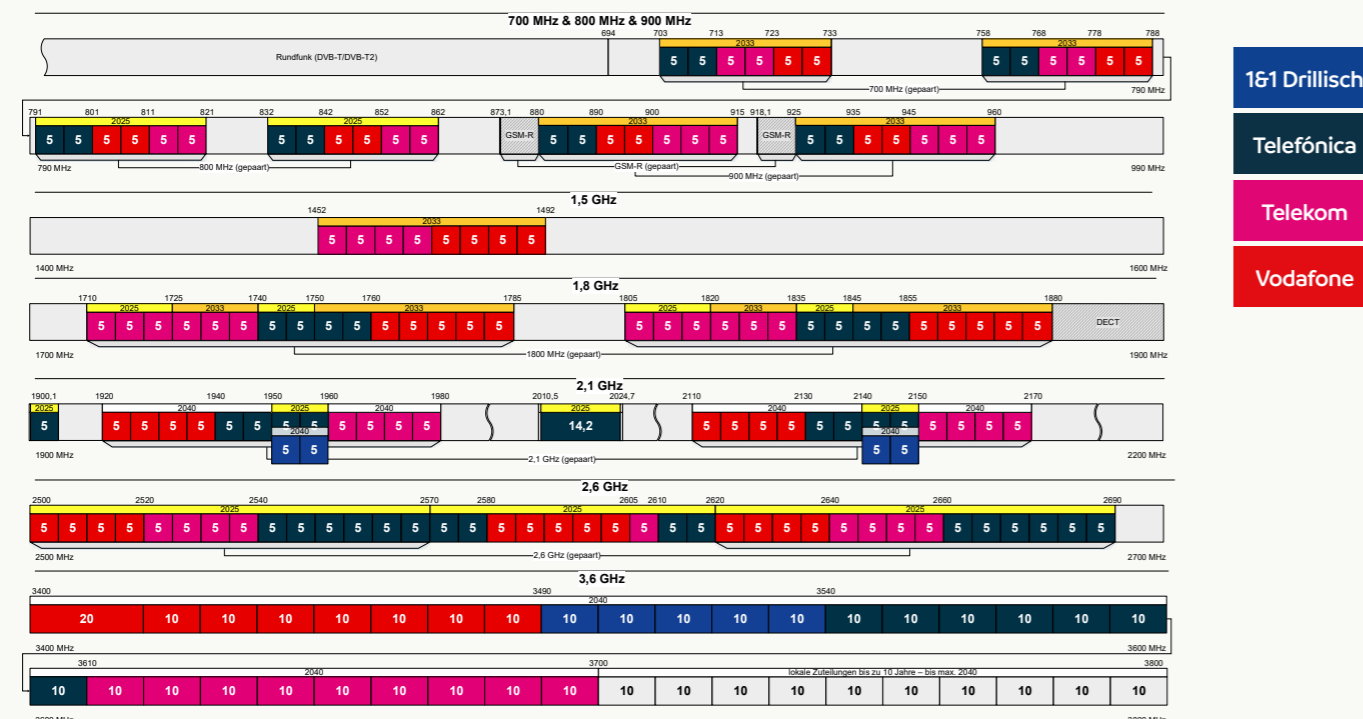
1. Schritt 2019

2. Schritt 2022

3. Schritt 2030



Frequenznutzung durch die Anbieter nach der Frequenzauktion 2019



Quelle: Bundesnetzagentur, Stand vom Januar 2020

So wird es zunehmend möglich, je nach Bedarf der angemeldeten Nutzer die Funkkapazitäten dynamisch zwischen den verschiedenen angebotenen Mobilfunkstandards zu „verschieben“. Diese „Virtualisierung“ der Funktechnik bringt für den Netzausbau noch einen weiteren großen Vorteil mit sich: Funktionsänderungen und -erweiterungen setzen nicht mehr zwingend Baumaßnahmen vor Ort voraus. Viele von ihnen lassen sich durch einfache Software-Updates, gegebenenfalls sogar aus der Ferne, realisieren.

5G – die fünfte und neueste Mobilfunkgeneration

Schon kurz nach der Einführung von 4G (LTE) im Markt begann international die Entwicklung des technologischen Nachfolgers – der fünften Mobilfunkgeneration, kurz 5G. Ein erster, weltweit einheitlicher Standard wurde im Dezember 2017 verabschiedet. Im Frühjahr 2019 führte die Bundesnetzagentur eine Frequenzauktion für das Gebiet der Bundesrepublik mit Blick auf 5G durch. In diesem Rahmen wurden 41 Frequenzblöcke im Bereich zwischen 2 GHz und 3,7 GHz versteigert. Allerdings wurden diese Frequenzen grundsätzlich technologieneutral vergeben. Es ist den Mobilfunkanbietern grundsätzlich freigestellt, ob sie die von ihnen neu ersteigerten Frequenzen für 5G oder für ältere Mobilfunkstandards verwenden. Da 4G und 5G wie bereits beschrieben die höchste Effizienz bieten, liegt es aber nahe, dass auf neuen Frequenzen vorwiegend diese Standards eingesetzt werden.

Weitere Frequenzen im Bereich 3,7 bis 3,8 GHz stellt die Bundesnetzagentur privaten Unternehmen für den Betrieb lokaler Breitbandnetze, sogenannter Campusnetze zur Verfügung.

Die Mobilfunkanbieter in Deutschland begannen noch im selben Jahr, erste 5G-Funkzellen in ersten Städten in Betrieb zu nehmen. Dabei handelt es sich aktuell allerdings noch um vereinzelte „5G-Inseln“, die in Zukunft zusammenwachsen werden.

Der Hauptunterschied von 5G zu den Vorgängernetzen LTE (4G) und UMTS (3G) besteht darin, dass die Zahl der in einem Gebiet sendenden Mobilfunkstationen bei den 5G-Netzen nicht mehr so sehr von der Besiedlungsdichte abhängen wird, wie dies bisher der Fall ist. Die Netzarchitektur der 5. Mobilfunkgeneration richtet sich stark nach den Anforderungen der Anwender vor Ort: Ob in einem Gewerbegebiet ein breitbandiges Netz mit hohen Datenraten, an einem Verkehrsweg ein schnelles Netz mit Fokus auf extrem kurzen Antwortzeiten und hoher Zuverlässigkeit oder in einer Werkhalle ein Netz zur Verfügung gestellt wird, das eine extrem große Zahl von Geräten und Menschen gleichzeitig miteinander arbeiten lässt, hängt von den konkreten Anforderungen vor Ort ab.



Analog zu den Anforderungen setzen die Netzbetreiber beim 5G-Ausbau unterschiedliche Schwerpunkte. Reine 5G-Zellen werden zunächst vorwiegend in Innenstädten, Gewerbegebieten und an ähnlichen Fokusbereichen aufgebaut. In der breiteren Fläche werden sich wahrscheinlich zunächst Teilverbesserungen der Mobilfunkversorgung durch 5G ausbreiten, die auf 4G (LTE) aufsetzen. 4G und 5G-Netze werden an solchen Standorten gemeinsam betrieben, so dass der Ausbau stufenweise erfolgen kann.

Diese Fortentwicklung basiert ebenfalls auf neuen Eigenschaften der Funktechnologie: Mit dem sogenannten „Dynamic Spectrum Sharing“ (DSS) wird ein Parallelbetrieb von 5G und 4G (LTE) auf derselben Antenne und vor allem im gleichen Frequenzbereich möglich. Die im Versorgungsgebiet angemeldeten Endgeräte nutzen dann jeweils die von ihnen unterstützte Funktechnologie.

Mit 5G wird es nicht nur größere räumliche Abweichungen in der Standortdichte geben, sondern die Standorte werden sich auch optisch und von ihrer Leistungsfähigkeit her deutlich von den bisherigen Standorten unterscheiden. Neben den weiter benötigten Dachstandorten wird insbesondere die kleinzellige Netzarchitektur weiter ausgebaut. Die Vielzahl der zum Teil konkurrierenden Anforderungen führt dazu, dass es kein gleichförmiges 5G-Netz für alle geben wird, sondern viele individuelle, virtuelle Spezialnetze, die auf die jeweiligen Anwendungen zugeschnitten sein werden. Diese Netze werden unter einer Art „5G-Dach“, das heißt auf Basis einer gemeinsamen physischen Infrastruktur betrieben. Trotz aller Neuerungen werden die bestehenden Standorte auch das Grundgerüst für das 5G-Netz bilden. Die Bestandsstandorte werden nach und nach mit neuer Technologie ausgestattet, dazu wird auch die stetig zunehmende Anbindung an das Glasfasernetz gehören.

Lizenzauflagen beim 5G-Netzausbau

Das Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur (BMVI) formuliert den Anspruch für die Versorgung Deutschlands mit mobiler Kommunikation so: Notwendig seien Mobilfunknetze, in denen unterbrechungsfreies Telefonieren und die klassische Nutzung von mobilem Internet möglich sind. Daher war die Versteigerung der Mobilfunk-Frequenzen 2019 an konkrete Versorgungsauflagen gekoppelt: Die Netzbetreiber müssen bis Ende 2022 jeweils 98 Prozent der Haushalte je Bundesland und alle Bundesautobahnen, die wichtigsten Bundesstraßen und Schienenwege mit mindestens 100 Mbit/s versorgen. Bis Ende 2024 sollen alle übrigen Bundesstraßen mit mindestens 100 Mbit/s, alle Landes- und Staatsstraßen, die Seehäfen und wichtigsten Wasserstraßen und alle übrigen Schienenwege mit mindestens 50 Mbit/s versorgt werden. Zusätzlich sollen bis Ende 2022 mindestens 500 Basisstationen in weißen Flecken netzbetreiberübergreifend aufgebaut werden. Für neue Netzbetreiber gelten weniger strenge Versorgungsauflagen.

Die Netzbetreiber müssen hierfür in den kommenden Jahren massiv investieren. Ein nahezu flächendeckendes 5G-Netz kann es nicht von heute auf morgen geben. Es wird Schritt für Schritt auf Basis der bestehenden Mobilfunknetze ausgebaut. Dadurch wird sich auch die Versorgung mit LTE verbessern. Mit einer nahezu flächendeckenden LTE Mobilfunkabdeckung entsteht erst die notwendige Grundlage für eine konsequente Aufrüstung der Netze auf 5G.

Die Einhaltung der Versorgungsauflagen wird von der Bundesnetzagentur überprüft.

Unterschiedliche Frequenzbänder für 5G

Für den Betrieb von 5G-Netzen werden unterschiedliche Frequenzbereiche genutzt beziehungsweise sind in Zukunft verschiedene Frequenzbereiche vorgesehen. Abhängig von ihren physikalischen Eigenschaften sind diese Frequenzbereiche für unterschiedliche Nutzungsszenarien geeignet.

Niedrige Frequenzen (langwellige Signale) haben gute Ausbreitungseigenschaften und eignen sich insbesondere für die Flächenversorgung. Für den 5G-Ausbau im ländlichen Raum ist beispielsweise der noch ungenutzte Bereich bei 700 MHz ideal, erste Ausbaupraktiken laufen hier bereits. Im Zuge des LTE-Ausbaus kam vornehmlich der Frequenzbereich bei 800 MHz zum Einsatz.

Mit **höherer Frequenz** sinkt die Wellenlänge und somit auch die Reichweite. Dafür bieten diese Funkbereiche mehr Bandbreite und damit steigt auch die erzielbare Datenübertragungsrate. Für 5G ist insbesondere das Spektrum von 3,4 bis 3,8 Gigahertz vorgesehen.

Sehr hohe Bänder: Um weitere Frequenzressourcen zu erschließen, wird die Nutzung noch höherer Frequenzbereiche erwogen, zum Beispiel die extrem kurzwelligen Funkwellen im Bereich von 6 bis 26/28 GHz. Deren Ausbreitung ist unter realen Bedingungen jedoch auf wenige hundert Meter begrenzt. Da die Verbindung bereits durch Bäume, Gebäude oder andere Objekte behindert wird, ist zudem in der Regel eine ungestörte Sichtverbindung zwischen Mobilfunkantenne und Mobilgerät erforderlich. Eine kommerzielle Mobilfunknutzung dieser Frequenzbereiche ist derzeit in Deutschland allerdings noch nicht geplant.

NIEDRIGE MOBILFUNKFREQUENZEN 700 - 800 MHz

HOHE MOBILFUNKFREQUENZEN 3,4 - 3,8 GHz

SEHR HOHE MOBILFUNKFREQUENZEN 6 - 26/28 GHz

6. 5G – WAS IST NEU?



Neben der Übertragungstechnik unterscheidet sich die fünfte Mobilfunkgeneration noch in einem anderen wichtigen Aspekt von ihren Vorgängern: Die technologische Entwicklung ging konsequent von den Anwendungen aus. In Abstimmung mit den künftigen Nutzern und einer Vielzahl von Branchen definierten die künftig geplanten Anwendungen die technischen Parameter des neuen Netzes.

Anwendungsspezifische Netze

Dabei lassen sich für das 5G-Netz drei wesentliche Anwendungsbereiche unterscheiden: das ultra-schnelle mobile Breitband (Enhanced Mobile Broadband), die Kommunikation zwischen Maschinen und Anwendungen (Massive Machine Type Communications) sowie ein Hoch-Zuverlässigkeitsnetz mit kurzen Antwortzeiten (Ultra-Reliable and Low Latency Communications).

Für alle drei Bereiche gibt es unterschiedliche Herausforderungen und technische Rahmenbedingungen. Das Netz der Zukunft muss hochflexibel sein, um möglichst allen Anforderungen gerecht zu werden. Der 5G-Standard verspricht mehr Durchsatz, Kapazität und gleichzeitig sinkende Kosten pro übertragenem Datenvolumen. Die direkte Anbindung der Mobilfunkstationen an das Glasfasernetz gewinnt bei der 5. Mobilfunkgeneration weiter an Bedeutung. Neben dem Ausbau der mobilen Infrastruktur wird es auch einen weiteren Ausbau der Glasfasernetze geben müssen, damit 5G voll zum Einsatz kommen kann.

5G für ultra-schnelles mobiles Breitband

In den letzten Jahren hat die mobile Internetnutzung stark zugenommen, von Jahr zu Jahr ist die mobil übertragene Datenmenge um mehr als 50% gewachsen. Es ist damit zu rechnen, dass die Nutzung auch in Zukunft weiter deutlich steigen wird. Für die zu erwartende hohe Datenmenge zum Beispiel durch hochauflösende Videos (4K oder 8K-Videos) benötigen die Nutzer sowohl hohe Datenraten als auch eine hohe Kapazität des mobilen Netzes. 5G bietet mit Datenraten im Bereich von bis zu 10 Gigabit pro Sekunde hierfür die geeignete technische Basis. Anwendungen im Gebiet der virtuellen oder erweiterten Realität (Virtual Reality und Augmented Reality) sind mit 5G-Technik ebenso darstellbar. Solche Anwendungen benötigen auf den Punkt genau hohe Datenraten und eine große Kapazität. Ihr Einsatzgebiet kann vom mobilen Reparaturservice lokaler Handwerker bis hin zum medizinischen Operationssaal genutzt werden.

Da die LTE-Netze heute schon häufig am Rand ihrer Leistungsfähigkeit arbeiten, ist der Einsatz von 5G für dieses Anwendungsgebiet eine wichtige Voraussetzung.

5G für Kommunikation zwischen Maschinen (M2M)

Die Vernetzung von Märkten, Branchen, Industrien und der Gesellschaft wird sich weiter verändern. Steht heute die Vernetzung von Menschen im Vordergrund, kommt in Zukunft die Vernetzung von Dingen hinzu. Begriffe wie Industrie 4.0, Machine-to-Machine-Kommunikation (M2M) oder das Internet der Dinge (Internet of Things – IoT) beschreiben die Vernetzung von Maschinen und Geräten aller Art. Auf diesen Technologien basieren sowohl Industrie- und Produktionsanwendungen als auch die Anbindung und Vernetzung vieler Alltagsgegenstände wie Kühlschränke, Haustechnik oder auch „Wearables“ wie Smartwatches oder Fitness-Tracker. Die in diesem Bereich angesiedelten Anwendungen haben dabei eine Gemeinsamkeit: Sie übertragen in der Regel nur kleine Datenmengen. Dafür rechnen Experten allerdings mit einer rasant steigenden Zahl der vernetzten Geräte.

Kleine Datenmengen bei gleichzeitig großer räumlicher Verbreitung benötigen ein großflächiges Netz, das eine hohe Anzahl an kommunizierenden Geräten verarbeiten kann. Die Übertragungsgeschwindigkeit spielt bei dieser Klasse von Anwendungen nur eine untergeordnete Rolle. Wichtiger ist hier vor allem ein geringer Energieverbrauch, weil die vernetzten Gegenstände mit einer Batterie oder Akkuladung über einen möglichst langen Zeitraum betriebsfähig bleiben sollen.

5G als Hoch-Zuverlässigkeitsnetz

Das viel diskutierte hochautomatisierte und autonome Fahren und ein autonom fahrender öffentlicher Personennahverkehr stellen wiederum andere Anforderungen an die Netze: Ultraschnell und zuverlässig müssen die Informationen übermittelt werden. Dabei kommt die kurze Reaktions-

zeit (Fachbegriff: Latenz) der 5G-Technologie zum Tragen. Bei den UMTS/3G-Netzen lag die Antwortzeit bei rund 100 Millisekunden, im 4G-Netz noch bei etwa 30 Millisekunden. Im 5G-Netz sind je nach Einsatzgebiet Latenzen bis zu nur noch einer Millisekunde angestrebt. So werden Daten nahezu in Echtzeit übertragen.

Bei Anwendungen wie dem vernetzten Fahren kommt hinzu, dass höchste Zuverlässigkeit des Übertragungsnetzes erforderlich ist. Auch für spezielle, schnell ablaufende Prozesse, wie bildgebende Verfahren in der Medizin oder der Industrie, sind solche Hoch-Zuverlässigkeitsnetze notwendig.

Technologie-Evolution: Von LTE-Advanced zu 5G

Wie bereits erläutert wurde, ist die Funktechnik von 5G nicht gänzlich neu. Die jüngste Mobilfunkgeneration nutzt viele Bausteine, die auch schon in den höheren Ausbaustufen von 4G, dem sogenannten „LTE-Advanced“-Standard zum Einsatz kamen. Doch bei 5G bekommen diese Technologie-Bausteine eine wachsende Bedeutung, wurden technisch weiterentwickelt oder werden erstmals in voller Konse-

quenz genutzt. Im Zusammenspiel liefern sie die geforderte Effizienz, Reaktionsschnelligkeit und Zuverlässigkeit.

Kanalbündelung – Carrier Aggregation

Technisch lässt sich eine extrem hohe Bandbreite durch die sogenannte Kanalbündelung (Carrier Aggregation) erreichen. Die Bündelung der genutzten Funkfrequenzbereiche eines Netzbetreibers erlaubt es, die Datenrate pro Nutzer zu erhöhen. Dabei werden einem Nutzer mehrere einzelne Trägerfrequenzen beziehungsweise Funkkanäle zugewiesen. Durch diese Kombination einzelner Frequenzblöcke erhöht sich die maximale Datenrate pro Nutzer. Auch die Gesamtdatenrate pro Zelle steigt durch eine verbesserte Ausnutzung der einem Betreiber zur Verfügung stehenden Frequenzen. Allerdings geht diese Erhöhung der Kapazität mit einer geringeren Reichweite einher, da auch Frequenzen mit geringerer Reichweite für die Bündelung herangezogen werden. In ersten Ansätzen wurden Konzepte der Frequenzbündelung schon bei 4G/LTE realisiert, für 5G wurden sie noch weiterentwickelt.

Drei zentrale Anwendungsgruppen für 5G

Ultraschnelles mobiles Breitband



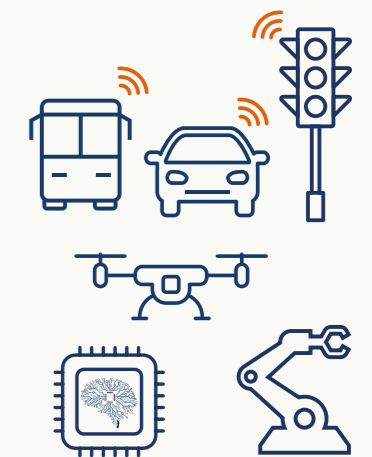
- Verbesserte Nutzungserfahrung
- Hohe Gerätekonnektivität
- Hohe mobile Datenraten
- Mobile Virtual- und Augmented-Reality-Anwendungen

Kommunikation zwischen Maschinen (M2M)



- E-Health-Anwendungen
- Industrie-4.0-Anwendungen
- Intelligente Logistik
- Umwelt-Monitoring
- Intelligente Versorgungsnetze
- Smart Farming

Hoch-Zuverlässigkeitsnetz



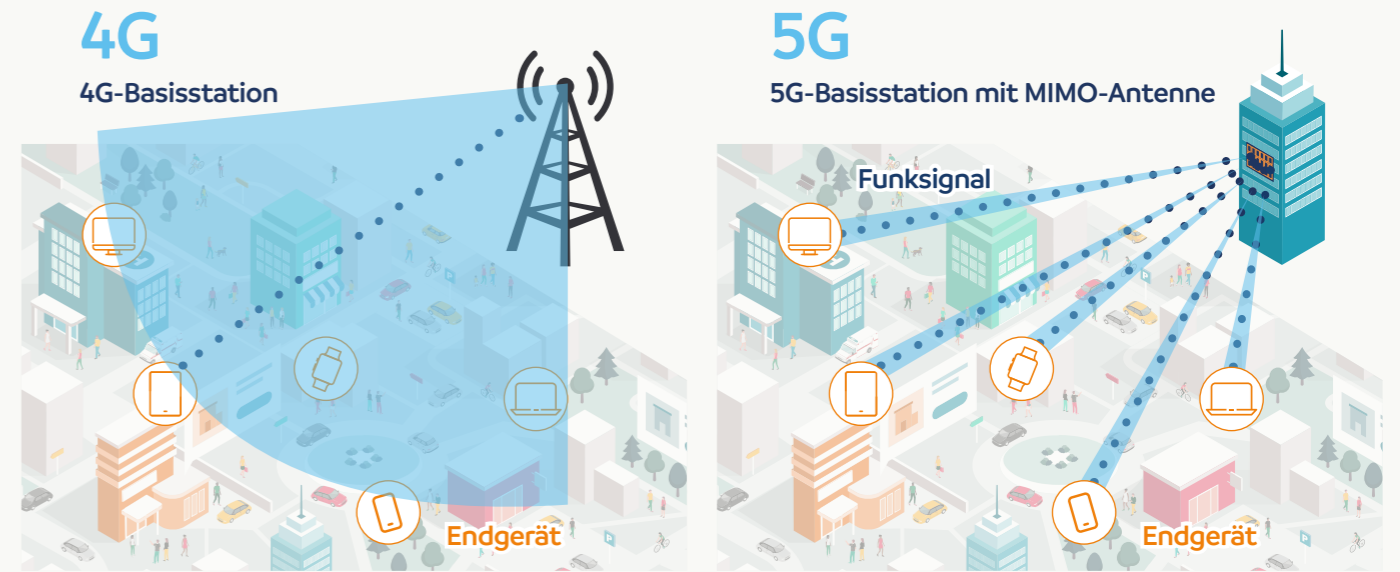
- Car-to-X-Kommunikation
- Paketdrohnensteuerung
- Monitoring von Vitaldaten
- Smart Manufacturing

Einsatz von Kleinzellen – Small Cells

Eine Kleinzelle (Small Cell) ist eine Mobilfunkzelle mit geringer Sendeleistung und damit resultierendem kleinen Versorgungsbereich – ähnlich einem WLAN-Hotspot, aber mit Einbindung ist das allgemeine Mobilfunknetz. Der Versorgungsradius liegt bei etwa 50 bis 150 Metern. Small Cells kommen zum Teil auch schon bei LTE-Advanced zum Einsatz – insbesondere an Orten mit hoher Nutzerdichte. Zum Beispiel in Fußgängerzonen oder auf hoch frequentierten Plätzen können Kleinzellen Engpässe im bestehenden Mobilfunknetz beheben. Small Cells ersetzen nicht die klassischen Mobilfunk-Dachstandorte, sondern ergänzen diese und verdichten das Netz an Orten mit besonders hoher Nachfrage, den sogenannten Hotspots. Der Betrieb von mehr Zellen in einem kleinen Gebiet bedeutet auch, dass die Kapazität, also die Anzahl möglicher gleichzeitiger Nutzer mit gleichzeitig hohem Datendurchsatz, signifikant erhöht werden kann. Small Cells sind somit für sehr hohe Kapazitätsanforderungen auf kleiner Fläche geeignet – zum Beispiel in Innenstädten, Veranstaltungszentren, Festplätzen, Stadien etc. Small Cells werden daher nicht entsprechend der annähernd regelmäßigen Wabenstruktur der herkömmlichen Mobilfunkstandorte aufgebaut.

Beim Einsatz von Small Cells profitieren die Nutzer von mobilen Endgeräten von der Leistungsregulierung zwischen Sendeanlage und Mobiltelefon, die dazu führt, dass der Akku weniger belastet wird. Bei größeren Funkzellen stellt sich dieser Effekt hingegen nur ein, wenn sich der Nutzer vergleichsweise nah an der Basisstation befindet.

Small Cells werden mit einer niedrigen Sendeleistung (meist kleiner als 10 Watt EIRP) betrieben und benötigen daher keine Standortbescheinigung. Sie werden aber dennoch der Bundesnetzagentur angezeigt. Die verwendeten Antennen sind deutlich kleiner als herkömmliche Mobilfunkantennen. Sie können an Hauswänden, Litfaßsäulen oder öffentlichen Telefonanlagen montiert werden. Möglicherweise werden solche Zellen zukünftig auch linienförmig entlang von Verkehrswegen, beispielsweise in Straßenlampen, verbaut.



Mehrantennen-Systeme –

Massive Multiple Input Multiple Output (massive MIMO)

Für die weitere Steigerung der Kapazität kommen größere Mehrantennen-Systeme (Massive Multiple Input Multiple Output, kurz mMIMO) zum Einsatz. Solche Mehrantennen-Systeme ermöglichen die Nutzung mehrerer Send- und Empfangsantennenelemente innerhalb eines Antennenkörpers zur drahtlosen Kommunikation. Ein spezielles Codierungsverfahren nutzt sowohl die zeitliche als auch die räumliche Dimension zur Informationsübertragung (Space-Time-Coding). So lassen sich die Übertragungsqualität und die Datenrate deutlich verbessern, obwohl nicht mehr Frequenzen herangezogen werden.

Da Frequenzen das wichtigste Gut in der mobilen Datenübertragung sind, ist dies ein enormer Vorteil: Die Leistung von 5G-Netzen kann mit Mehrantennensystemen deutlich gesteigert werden. Die Netzwerke und die Nutzer profitieren von höheren Datenraten und einer verbesserten Zuverlässigkeit.

Die Technologie baut aktuell auf 4G und kann in bestehende Netze eingebunden werden. Derzeit werden Mehrfachantennensysteme mit typischerweise deutlich mehr als 100 Antennen-Elementen entwickelt, erste Standorte mit 64 x 64 Send- und Empfangseinheiten in einem Antennenkörper laufen bereits.

Variable Ausrichtung auf die Endgeräte – Beamforming und Smart Power Lock

Eine weitere technische Möglichkeit im Rahmen der Mehrfachantennen (MIMO) liegt in der gezielten Versorgung einzelner Teilnehmergeräte durch ein sogenanntes Beamforming. Dabei können die Antennen das Funksignal gezielt auf einzelne Empfänger ausrichten – also meist auf die 5G-Smartphones. Dies bietet mehrere Vorteile: Sendeenergie wird nicht unnötig verschwendet, indem das Funksignal sich annähernd kugelförmig in alle Richtungen ausbreitet, obwohl nur ein kleiner Teil davon wirklich beim Empfänger ankommt und genutzt wird. Von der Signalübertragung her betrachtet, erlaubt Beamforming ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis und somit eine Erhöhung der Datenraten und/oder Reichweite bei geringerem Energieeinsatz. Somit trägt Beamforming auch dazu bei, dass 5G deutlich energieeffizienter arbeitet als frühere Mobilfunkstandards.

Gezielte Funkversorgung der Teilnehmer durch Beamforming



Straßenlaternen

Strommasten

Kleine Funkmasten





MOBILE EDGE COMPUTING:
Verlagerung intelligenter Rechenleistung nah an die Mobilfunk-Basisstation

NETWORK SLICING:
Logisch getrennte und qualitativ unterschiedliche Netze werden über dieselbe Netzwerk-Infrastruktur bereitgestellt

Die Vorschriften zur Standortbescheinigung und Sicherheitsbereichen berücksichtigen das Beamforming-Verfahren selbstverständlich. Die Regelung „Smart Power Lock“ sorgt dafür, dass die insgesamt ausgesendete Funkleistung unterhalb der definierten Grenzen bleibt.

Da sich die Sendeleistung bei 5G nach dem Ressourcenbedarf jedes einzelnen Mobilfunknutzers richtet (zum Telefonieren wird zum Beispiel eine geringere Datenrate benötigt als für Videostreaming), liegen die Signalstärken pro Beam in der Praxis meist deutlich unter der maximal möglichen Leistung. Da in einer Funkzelle mehrere Nutzer aktiv sind, verteilt sich die Gesamtenergie auf alle von ihnen – jedes einzelne Smartphone empfängt nur einen Bruchteil davon.

Das Zusammenspiel aus Beamforming und Smart Power Lock gewährleistet somit nicht nur einen sicheren und energiesparenden Betrieb von MIMO-Funksystemen, sondern trägt durch die Fokussierung überdies dazu bei, dass die Reichweite des Funksignals auf der genutzten Frequenz steigt.

Virtuell geteiltes Netz – Network Slicing und Verlagerung der Intelligenz an die Funkstation

Da unterschiedliche Nutzer und Anwendungen einen individuellen Bedarf an Kapazität, Datenraten und Zuverlässigkeit haben, ist es sinnvoll, das 5G-Netz flexibel zu gestalten. Durch das sogenannte Network Slicing ist die Aufteilung des Netzes für unterschiedliche Bedürfnisse möglich. Ein Netzbetreiber kann so unterschiedlichen Nutzern auf demselben Netz gleichzeitig verschiedene Qualitätsmerkmale je nach Kundenkategorie beziehungsweise Anwendung bereitstellen. Zum Beispiel mit einer zugesicherten Datenkapazität oder einer zugesicherten Reaktionszeit (Latenz).

So lassen sich über eine gemeinsame physische Infrastruktur mehrere virtuelle Netze verwalten und betreiben. Bildlich gesprochen „schneidet“ der Netzbetreiber eine Scheibe (englisch: slice) aus dem Netzwerk heraus, die für den jeweiligen Anwendungsfall passt. Ein weiterer Bestandteil der 5G-Netzarchitektur ist die Möglichkeit, einen Großteil der für die Datenverarbeitung erforderlichen Rechenleistung an die jeweiligen Funkstationen zu verlagern. Dieses Konzept wird als „Mobile Edge Computing“ bezeichnet.

Die bei 5G angestrebten sehr kurzen Reaktionszeiten (Latenzen) lassen sich mit zentralen Rechenzentren, die unter Umständen mehrere hundert Kilometer entfernt sind, nicht mehr realisieren. Die früher zentral durchgeführte Bereitstellung und Verarbeitung von Daten muss deshalb deutlich näher an die Mobilfunkbasisstationen heranrücken.

Beispielsweise könnten beim vernetzten Fahren Sensoren und Kameras in vorausfahrenden Autos messen, ob die Straße frei ist und diese Information über das Mobilfunknetz an die nachfolgenden Fahrzeuge senden. In Zukunft berechnet ein „Mobile Edge“-Server aus diesen Daten zum Beispiel, ob ein Überholvorgang gefahrlos möglich ist oder nicht. Diese Information kann so in wenigen Millisekunden an vernetzt fahrende Autos in der aktuellen 5G-Funkzelle übertragen werden.

Software-definierte Netze

Ein weiterer wichtiger Baustein, der von der 5G-Infrastruktur genutzt wird, ist die sogenannte Virtualisierung von Transport- und Kontrollfunktionen im Mobilfunknetz. Statt zu diesen Zwecken spezialisierte Hardware-Elemente zu verwenden, werden deren Funktionen durch Software auf leistungsstarken, aber flexiblen Rechner-Plattformen realisiert. Die Vermittlung und Steuerung von Datenflüssen im Netz wird so per Software abgebildet (Software-defined networking, SDN). Die dazu benötigten Ressourcen werden von flexibel nutzbaren Rechner- bzw. Hardwareinstanzen bereitgestellt (Network Function Virtualisation, NFV).

Der große Vorteil dieser Architektur liegt darin, dass benötigte Netzwerk-Ressourcen je nach aktuellem Bedarf in kurzer Zeit bereitgestellt werden können. Ebenso ist es bei drohender Überlast möglich, die Bereitstellung von Netzfunktionen zum Beispiel auf eine benachbarte Basisstation zu verlagern, deren Ressourcen zu diesem Zeitpunkt gerade nicht zu 100 Prozent erschöpft sind. Für die bereits vorgestellten Konzepte „Mobile Edge Computing“ und „Network Slicing“ sind SDN und NFV eine zwingende Voraussetzung.

Voraussetzungen für den 5G-Netzausbau

Bis 5G in Deutschland flächendeckend nutzbar ist, müssen jedoch weitere Voraussetzungen geschaffen werden. Hier kommt dem Glasfaserausbau eine besondere Bedeutung zu, denn ohne eine Anbindung der Mobilfunkstationen an das Glasfasernetz können die vielen Vorteile der neuen Technologie kaum genutzt werden.



Insgesamt bedeutet das Ausrollen der 5G-Technologie einen investitionsintensiven Netzausbau.

Der Ausbau wird dabei von **drei Faktoren** stark beeinflusst:

1. Höhe der nach einer Auktion zur Verfügung stehenden Investitionsmittel
2. Generelle Auflagen bei der Vergabe
3. Verfügbarkeit und Genehmigungsverfahren für neue Standorte



Bedeutung des LTE- und Glasfaser-Ausbaus für künftige 5G-Versorgung

Für den Ausbau der 5G-Netze wird vornehmlich das vorhandene Netz aus Mobilfunkstandorten genutzt. Zum ersten Mal wird mit 5G ein neuer Mobilfunkstandard eingeführt, der in der Anfangsphase technisch direkt an den Vorgängerstandard gekoppelt wird. Vor diesem Hintergrund kommt auch dem laufenden LTE-Netzausbau eine besondere Bedeutung für den künftigen 5G-Ausbau zu.

Der Schwerpunkt des 5G-Ausbaus wird zunächst dort liegen, wo mehr Kapazität und Bandbreite dringend erforderlich ist, beispielsweise an stark frequentierten Orten wie in Innenstädten, Sportstadien oder Flughäfen. Dort werden auch zusätzliche Standorte erforderlich sein.

Neben der Versorgung über Makrozellen werden bei 5G durch die bereits erwähnten Small Cells (Kleinzellen) insbesondere in Ballungsräumen vor allem Kapazitätsengpässe beseitigt und einzelne kleinere Versorgungslücken geschlossen. Dies wird dazu führen, dass die notwendigen Mobilfunkstandorte näher an die Nutzer gebracht werden müssen. Die ergänzend einsetzbaren Small Cells benötigen wie die Makrozellen ebenfalls eine leistungsfähige Anbindung an Glasfasernetze. Mit dem Aufbau von 5G-Netzen werden somit gleichzeitig neue Anforderungen an den Ausbau der Glasfasernetze gestellt, diese bilden einen entscheidenden Baustein für die schnellen 5G-Übertragungen.

Denn ohne Glasfaser ist 5G kaum denkbar: Die steigenden Datenmengen müssen in hoher Geschwindigkeit von der Basisstation angeliefert beziehungsweise abgeführt werden.

Auch die für viele 5G-Anwendungen erforderlichen kurzen Latenzen lassen sich am besten über eine Glasfaser-Anbindung an die Kern-Infrastruktur der Mobilfunk-Netzbetreiber erreichen.

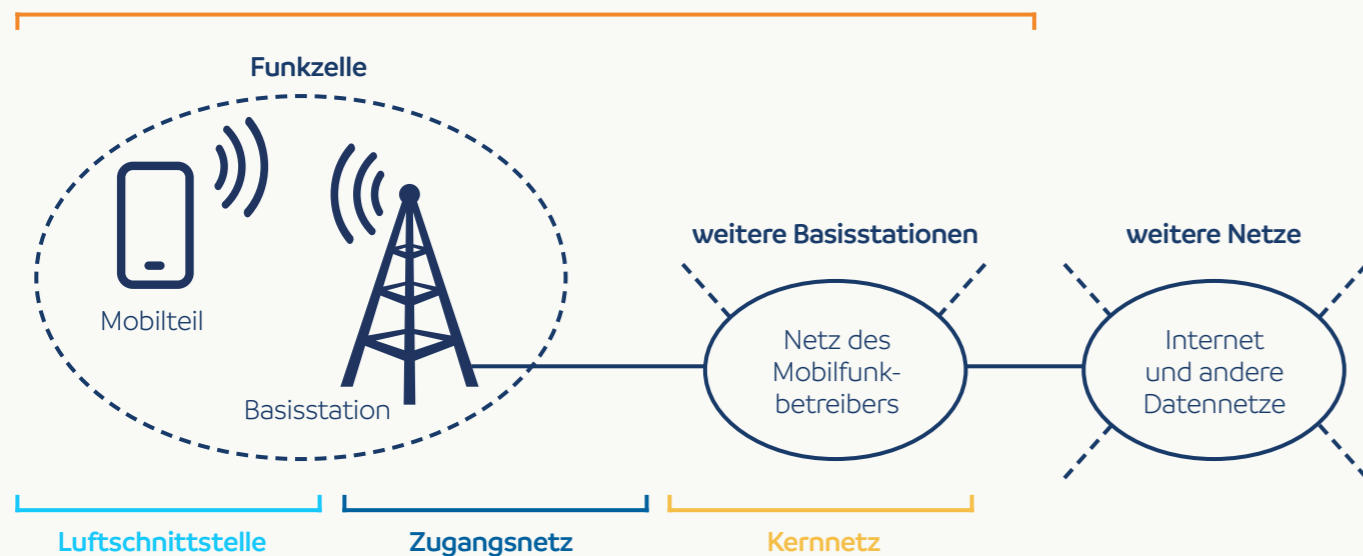
Standortverfügbarkeit und zugehörige Genehmigungsverfahren

Die für den 5G-Ausbau notwendige Standortverdichtung stellt die Mobilfunkbetreiber sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht vor neue Herausforderungen. Das Finden von geeigneten Mobilfunkstandorten, die technisch und wirtschaftlich sinnvoll sind und gleichzeitig effizient zu der Erfüllung der Versorgungsaufgaben beitragen, ist ein nicht zu unterschätzender Faktor. Es gelten weiter die in der Bundesimmissionsschutzverordnung festgehaltenen Vorgaben zur kommunalen Abstimmung von Mobilfunkstandorten (§7a,26.BImSchV.) sowie die freiwillige Selbstverpflichtung der Netzbetreiber und die Vereinbarung mit den Kommunalen Spitzenverbänden.

Die Immission von 5G-Sendestationen ist dort, wo sich Menschen dauerhaft aufhalten, vergleichbar mit derjenigen der bisher bekannten Mobilfunksender. Eine vereinfachte Abschätzung ist unter www.informationszentrum-mobilfunk.de mit einem Online-Simulationstool möglich.

Dabei sollte man auch bedenken: Müsste der ständig wachsende mobile Datenverkehr auf Dauer mit dem zehn Jahre älteren LTE-Standard realisiert werden, würde dies eine deutlich höhere Immission verursachen – während die neueren technischen Möglichkeiten von 5G den Kunden dennoch nicht zur Verfügung stünden.

Mobilfunknetz



7. BREITBAND-MOBILFUNK: NUTZEN UND NEUE ANWENDUNGEN

Der in den vorangehenden Kapiteln gezeigte Nachfragezuwachs und die insbesondere durch 5G ermöglichten neuen Anwendungen erfordern einen kontinuierlichen Netzausbau. Insbesondere diese neuen Anwendungen, die sich quer durch alle Branchen und Lebensbereiche ziehen, sind für die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Deutschland unverzichtbar.

Bereits heute sind mit LTE (4G) Datenraten von 500 MBit/s bis hin zu einem Gigabit/s möglich. Entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Mobilfunknetzes ist aber nicht nur eine besonders hohe Datenrate, sondern die optimale Anpassung

an die Anforderungen einer bestimmten Anwendung. Egal ob in der Stadt, im Zug oder auf dem Land. Mit der 5G-Technologie lassen sich deutlich höhere Spitzendatenraten als mit 4G erreichen, noch wichtiger sind aber höhere Durchschnittsdatenraten, so dass eine konstant hohe Performance für die Nutzer möglich wird. Die Spitzendatenrate der 5G-Funkübertragung wird ein einzelner Nutzer dagegen kaum benötigen, für interaktive Anwendungen und die Gesamtkapazität der Mobilfunkzellen ist sie aber von Bedeutung. 5G kann mit der hohen Leistungsfähigkeit und hohen Durchschnittsdatenraten zumindest übergangsweise die letzte Meile zum Nutzer als virtuelle Glasfaser überbrücken.

Anwendungen in Kommunen

Für Kommunen ist eine leistungsfähige Infrastruktur nicht nur ein wichtiger Wettbewerbsvorteil, sondern auch die Basis dafür, bestehende kommunale Dienstleistungen zu verbessern – etwa den öffentlichen Nahverkehr oder das Rettungswesen. Darüber hinaus lassen sich auf der Basis solcher Infrastruktur neue digitale Angebote etablieren – beispielsweise die Digitalisierung von Verwaltungsdienstleistungen oder ein vernetztes Parkraummanagement.



Anwendungen in der Industrie

Im Industriebereich steht die Vernetzung von Maschinen und Geräten im Vordergrund. Insbesondere sind hier ultrakurze Latenzzeiten zu nennen, also Reaktionszeiten im Bereich von 1 Millisekunde. In der industriellen Fertigung wird der durchgängige Datenaustausch zwischen Maschinen, Anlagen, Mensch und Robotern zunehmend an Bedeutung gewinnen. Industrieroboter können auf Basis von 5G-Technik in Echtzeit gesteuert werden. Besonders die wirtschaftliche Vernetzung einer Vielzahl von Sensoren ist für IoT wichtig. Mit 5G kann die Anzahl verbundener Geräte auf mehrere hunderttausend pro Basisstation gesteigert werden. Da diese Sensoren oftmals an schwer zugänglichen Stellen verbaut oder in andere Objekte eingebettet sind, ist hier der sparsame Umgang mit Energie sehr wichtig. Mit 5G erreichen manche von ihnen Batterielaufzeiten von bis zu zehn Jahren.



Anwendungen im Bereich Mobilität

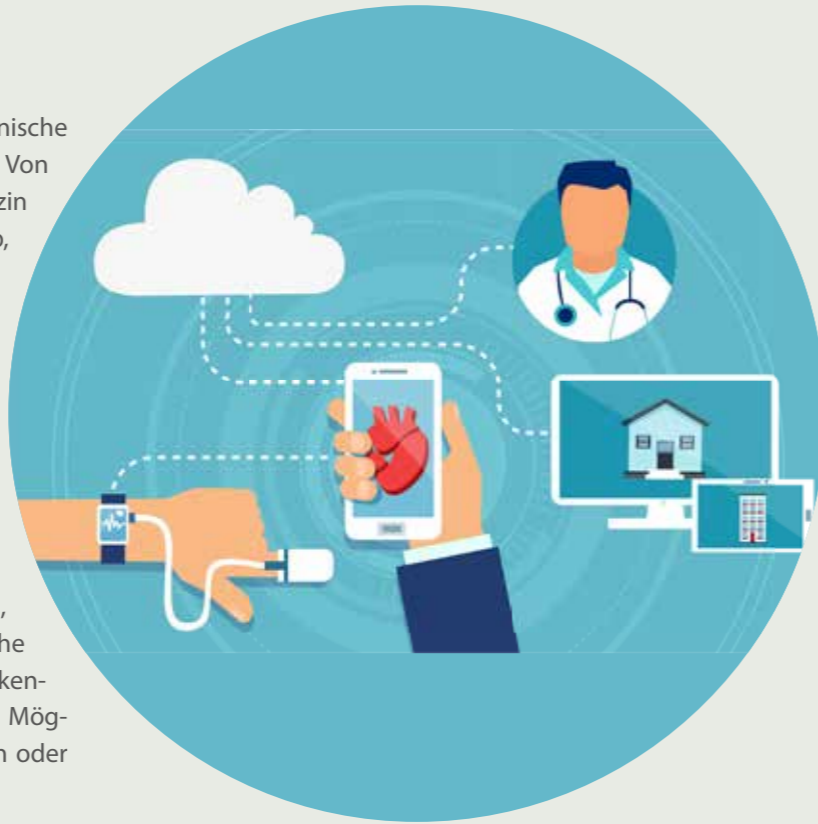
Eine weitere Anwendung für 5G wird das vernetzte hochautomatisierte und autonome Fahren sein. Dies wird die Sicherheit im Straßenverkehr erhöhen und den Verkehrsfluss verbessern, sodass auch Ressourcen geschont und schädliche Emissionen verringert werden können. Entsprechend ausgerüstete Fahrzeuge müssen sich zwar auch ohne Netzverbindung sicher bewegen können, aber durch die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander (Car-to-Car-Kommunikation) sowie durch Einbindung von Verkehrsdaten und Fahrzeugsensoren entstehen weitere Vorteile wie assistiertes Überholen oder die automatische Bildung von Rettungsgassen. Wichtigste Voraussetzung für diese Anwendungen sind hohe Verfügbarkeit und geringe Latenzen. 5G sorgt zudem für eine bessere Vernetzung der verschiedenen Verkehrsträger untereinander. Der Logistikbereich profitiert ebenfalls auf vielfältige Art und Weise: Vernetzte und hoch-



automatisierte Fahrzeuge wird es auch im Transportwesen geben. Beim Warentransport kommen außerdem vernetzte Sensoren zum Einsatz, die die Position, Temperatur, Erschütterungen und Ähnliches an Logistikzentralen oder Speditionsdisponenten übertragen. An- und Ablageplätze lassen sich in Echtzeit zuweisen, sodass weniger Leerlaufzeiten entstehen.

Anwendungen im Gesundheitswesen

Im Gesundheitswesen stehen vor allem telemedizinische Anwendungen im Fokus der Planungen rund um 5G. Von der Facharztversorgung bis hin zur Tele-Intensivmedizin gehen die Konzepte. Sie zielen nicht zuletzt darauf ab, die ärztliche Versorgung in strukturschwachen Gebieten zu verbessern. Auch eine Optimierung der Rettungskette lässt sich mit Breitband-Mobilfunk realisieren. So können Ersthelfer bereits per Videoverbindung angeleitet werden, Rettungsfahrzeuge werden präziser zum Ort des Notfalls geleitet und während des Transports ins Krankenhaus lassen sich bereits Vital- und andere Diagnose-Daten dorthin übertragen. Darüber hinaus zählen die Fernbehandlung und das Telemonitoring von Langzeitpatienten, videobasierte Arztgespräche und telemedizinische Beratungen zwischen Ärzten in kleineren Akutkrankenhäusern und Spezialisten in anderen Kliniken zu den Möglichkeiten, die sich durch Vernetzung mit 5G ergeben oder deutlich ausgebaut werden.



Anwendungen in der Energieversorgung

Intelligente Versorgungsnetze spielen bei der Energiewende eine entscheidende Rolle. Mobilfunk als Teil der Infrastruktur der Digitalisierung ist somit eine wichtige Voraussetzung für ihren Erfolg.

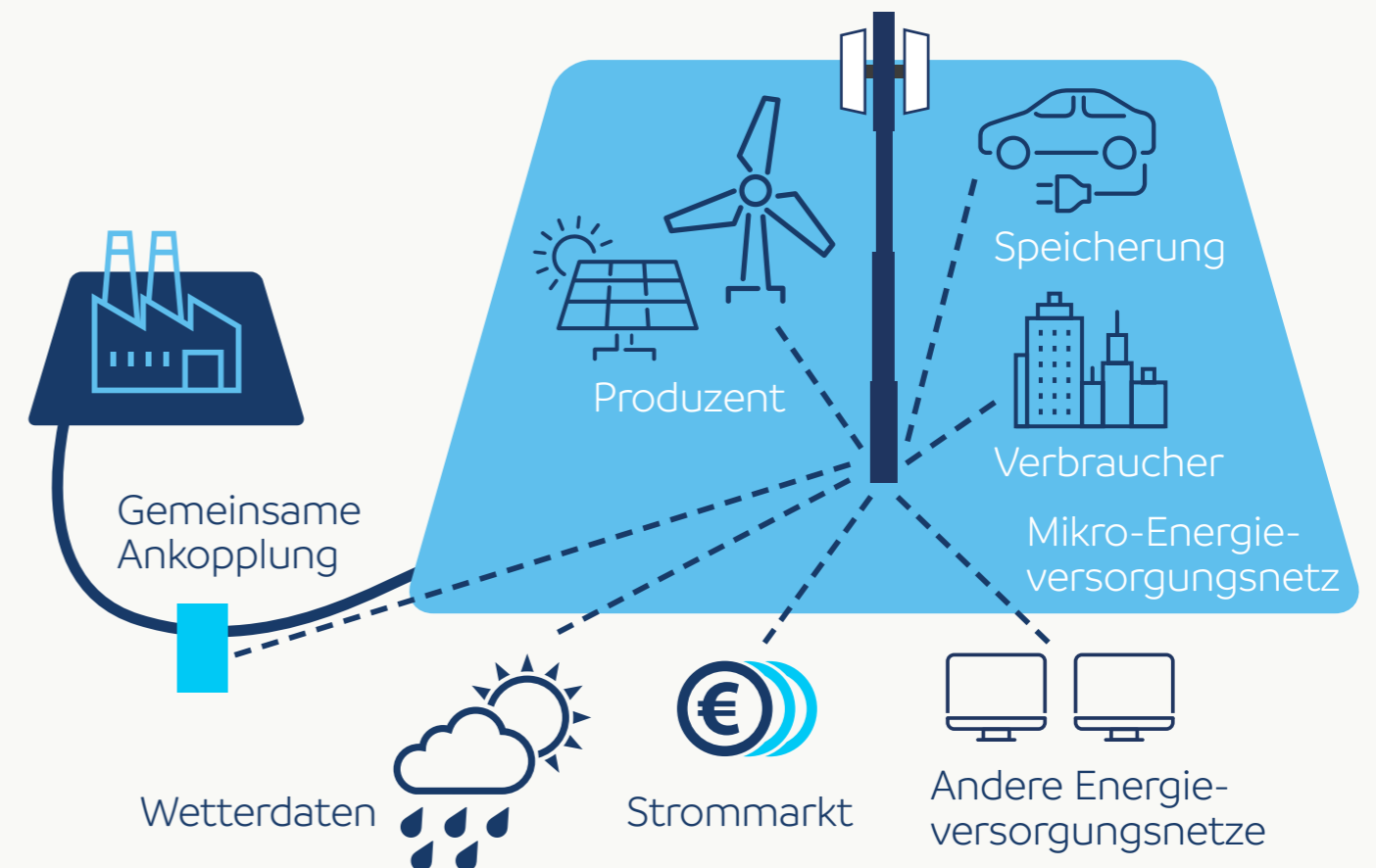
Mit Vernetzung, die in weiten Teilen auf schnellem Mobilfunk basiert, lässt sich die Kapazität der Netze optimieren. Über sogenannte virtuelle Kraftwerke werden Erzeuger, Netzbetreiber, Speicher und Verbraucher zusammengeschaltet.

5G ermöglicht darüber hinaus die einfachere Implementierung intelligenter Gebäudetechnik wie Smart-Metering, Heizanlagensteuerung oder auch die Überwachung von Versorgungsinfrastrukturen wie Wasser-, Abwasser- oder Belüftungssystemen.



Anwendungen in der Landwirtschaft

Auch in der Landwirtschaft lassen sich viele Prozesse und Arbeitsschritte durch intelligente Vernetzung verbessern – das Schlagwort lautet hier „Smart Farming“. Dazu zählen etwa Dienste wie prädiktive Wartungsintervalle von Maschinen. Große Anbauflächen lassen sich mithilfe von Daten über Bodenbeschaffenheit, Düngemittelbedarf, Wetterdaten und weiteren Informationen effizienter bewirtschaften.



GLOSSAR

5G

Neueste Mobilfunkgeneration. Nach der im Juni 2019 beendeten Frequenzversteigerung wird das 5G Mobilfunknetz derzeit bei Frequenzen zwischen 700 MHz und 3,7 GHz aufgebaut. 5G definiert höhere Datenraten und schnellere Reaktionen (geringere Latenzen) als frühere Mobilfunkstandards. Den Standard kann man bei allen möglichen Frequenzen einsetzen. 2019 wurden die Frequenzen versteigert, die den Einsatz von Beamforming-Antennen erlauben. Längerfristig ist auch eine Nutzung im Millimeterwellen-Bereich (26 bis 100 GHz) geplant.

BfS (Bundesamt für Strahlenschutz)

Das Bundesamt für Strahlenschutz ist eine Behörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Im Zusammenhang mit der Bewertung des Mobilfunks erfüllt das BfS drei wichtige Aufgaben: die Beratung der Bundesregierung, die Information der Öffentlichkeit und die Initiierung von Forschung.

Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV)

Die 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – 26. BImSchV) beinhaltet Regelungen zum Schutz und zur Vorsorge vor möglichen Gesundheitsrisiken durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder. Sie ist 1997 als eine der ersten gesetzlich verankerten Regelungen der Grenzwerte für elektromagnetische Felder in Kraft getreten und wurde im August 2013 novelliert. Die seit 1997 im Bereich Mobilfunk geltenden Grenzwerte wurden in der im Jahr 2013 erneuerten Verordnung nicht verändert.

Bundesnetzagentur (BNetzA)

Die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) ist eine selbstständige Behörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Für den Bereich Mobilfunk ist die BNetzA neben vielen anderen Regulierungsaufgaben auch für die Genehmigung des Betriebs von ortsfesten Sendeanlagen mit einer Sendeleistung von mehr als 10 Watt EIRP (gerichteter Sendeleistung) verantwortlich. Auf Basis der „Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV)“ erteilt sie eine sogenannte Standortbescheinigung. Erst wenn diese vorliegt, darf eine Mobilfunksendeanlage in Betrieb genommen werden. Regelmäßige Kontrollmessungen der BNetzA auf Grundlage der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV) garantieren die Einhaltung der vorgeschriebenen Personenschutzwerte.

Downlink

Übertragungsrichtung von der Mobilfunk-Basisstation zum Mobiltelefon und somit vom übergeordneten Netz „hinab“ zum Nutzer.

„Dynamic Spectrum Sharing“ (DSS)

Mit dieser Methode, lässt sich ein Frequenzbereich gleichzeitig für 5G und für 4G (LTE) nutzen. Das dafür verwendete Spektrum wird dynamisch gemäß der aktuellen Nachfrage zwischen den beiden Funkstandards aufgeteilt. Gibt es in der Funkzelle mehr 5G-Endgeräte, wird ein größerer Teil für 5G genutzt, überwiegen die 4G-Endgeräte, sendet das Netz zu größerem Anteil 4G-Signale aus. Der Vorteil besteht darin, dass das Spektrum nicht mehr durch eine zum konkreten Zeitpunkt nicht benötigte Mobilfunktechnologie blockiert wird.

Exposition

Ausmaß, in dem eine Person der Einwirkung von Umweltfaktoren, z. B. elektromagnetischen Feldern, ausgesetzt ist.

EMVU (elektromagnetische Verträglichkeit mit der Umwelt)

Unter der elektromagnetischen Verträglichkeit mit der Umwelt (EMVU) versteht man die Verträglichkeit elektromagnetischer Felder mit allen in der Umwelt vorkommenden Lebewesen (Makro- und Mikroorganismen, Menschen, Tieren und Pflanzen). Dabei sind sowohl thermische als auch athermische Einwirkungen von elektromagnetischen Feldern auf biologische Systeme von Bedeutung.

Grenzwerte

In Deutschland orientieren sich die Grenzwerte an den 1998 verabschiedeten Richtlinien der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP). Sie liegen etwa 50-fach unter den Wirkungsschwellen für schädliche thermische Effekte. Die Aktualisierung dieser Empfehlungen erfolgt auf Basis regelmäßiger Sichtung und Bewertung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes durch nationale und internationale Expertengremien. Die Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen sind in Deutschland in einer entsprechenden Verordnung innerhalb des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) verankert. Für Europa hat der Rat der Europäischen Union im Juli 1999 eine Empfehlung (1999/519/EG) zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 bis 300 Gigahertz) ausgesprochen. Auch sie basiert auf den Empfehlung der ICNIRP.

GSM (Global System for Mobile Communications)

GSM (Global System for Mobile Communications) ist ein Standard für voll-digitale Mobilfunknetze, der hauptsächlich für Telefonie und SMS (Short Message Service) sowie in begrenztem Ausmaß auch zur Datenübertragung genutzt wird. Als Nachfolger der analogen Systeme der ersten Mobilfunkgeneration (in Deutschland: A-, B- und C-Netz) markierte GSM den Wechsel zur digitalen zweiten Mobilfunkgeneration (2G).

HSPA

High Speed Packet Access (HSPA) ist eine Erweiterung des Mobilfunkstandards UMTS, die höhere Datenübertragungsraten ermöglicht. Es wird zwischen HSDPA zur Erhöhung der Datenübertragungsraten des Downlinks und HSUPA für den Uplink unterschieden.

IARC (International Agency for Research on Cancer)

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) gehört zur Weltgesundheitsorganisation (WHO). Diese Einrichtung koordiniert und betreibt Forschung zu den Ursachen und der Genese von Krebs und entwickelt wissenschaftliche Strategien zur Krebsbekämpfung. Die IARC ist an epidemiologischer Forschung und Laborversuchen beteiligt und verbreitet wissenschaftliche Informationen durch Veröffentlichungen, Tagungen, Kurse und Forschungsstipendien. Zu den wichtigsten Publikationen der IARC zählen die Monografien über Krebsrisiken und die Einstufung des krebserregenden Potenzials bestimmter Stoffe in eine von insgesamt fünf Kategorien (von „krebserregend für den Menschen“ bis „wahrscheinlich nicht krebserregend für den Menschen“).

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)

Die ICNIRP wurde im Jahr 1992 von der IRPA (International Radiation Protection Association) als unabhängige internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung gegründet. Ihre Arbeit wird von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Europäischen Union (EU) anerkannt. Die Hauptaufgaben der ICNIRP bestehen in der kontinuierlichen Analyse und gesundheitlichen Bewertung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes auf allen Gebieten, die für den Strahlenschutz relevant sind. Dabei werden auch mögliche Effekte der Immissionen des Mobilfunks berücksichtigt. Diese Analysen, verbunden mit Empfehlungen, werden regelmäßig veröffentlicht. Ziel ist eine weltweite Harmonisierung der Verfahren und Vorgehensweisen zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung.

Immission

Einwirken von Emissionen wie Lärm, Schmutz, Strahlung etc. auf Menschen, Tiere, Pflanzen, Gebäude bzw. allgemein die Umwelt.

Ionisierende Strahlung

Zur ionisierenden Strahlung zählen sowohl elektromagnetische Strahlen wie Röntgen- und Gammastrahlung als auch Teilchenstrahlung, z. B. Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung. Ionisierende Strahlung ist dadurch charakterisiert, dass sie genügend Energie besitzt, um Elektronen aus Atomen und Molekülen zu entfernen (Ionisation). Durchdringt sie eine Zelle oder einen Organismus, gibt die ionisierende Strahlung Energie ab. Ist diese hoch genug, kann es zur Schädigung der Zellbestandteile bzw. Moleküle kommen. Umgangssprachlich wird die ionisierende Strahlung häufig auch als radioaktive Strahlung bezeichnet.

IoT

„Internet of Things“ – das „Internet der Dinge“. Gemeint ist die Vernetzung zwischen Maschinen, Sensoren und anderen „Dingen“ und somit eine (Daten-) Kommunikation, die nicht zwischen Menschen stattfindet. Siehe auch M2M.

LTE (Long Term Evolution)

Die LTE-Technologie (Long Term Evolution) ist eine Weiterentwicklung des UMTS-Standards der 3. Mobilfunkgeneration (3G). LTE bietet deutlich höhere Übertragungsgeschwindigkeiten (ca. 100 Mbit/s) als UMTS. Der LTE-Standard wird der vierten Mobilfunkgeneration (4G) zugeordnet. Zur Nutzung und zum Ausbau der neuen Technologie wurden von der Bundesnetzagentur Frequenzen in den Bereichen 800 Megahertz, 1.800 Megahertz, 2.000 Megahertz und 2.600 Megahertz vergeben.

LTE Advanced

LTE Advanced, kurz LTE-A, ist eine Erweiterung von LTE. Mit LTE Advanced wird eine Übertragungsraten von bis zu 1 Gbit/s erreicht. Diese Übertragungsraten wurden erforderlich, weil sich der Bedarf an schnellen Übertragungsraten und mehr Bandbreite in den Mobilfunknetzen jedes Jahr in etwa verdreifacht.

M2M-Anwendungen

Das Kürzel M2M steht für „Machine to Machine“. Gemeint ist also die (Daten-) Kommunikation zwischen Maschinen, beispielsweise die Meldung des Füllstands eines Verkaufsautomaten, die kontinuierliche Übermittlung von Betriebsdaten einer Produktionsanlage oder aber auch die Übertragung der Sensorwerte von medizinischen Geräten. M2M oder IoT (siehe dort) gelten neben der Kommunikation zwischen Menschen als wichtige Anwendung künftiger Mobilfunknetze.

Messenger-Dienste

Mobilfunkdienste zur Übermittlung persönlicher Nachrichten. Diese haben ihren Ursprung im Kurznachrichtendienst SMS (engl.: Short Message Service). Heute zählt das kostenlos nutzbare WhatsApp zu den beliebtesten Messenger-Diensten. Andere Angebote sind beispielsweise Signal, Telegram, Threema oder der in den Social-Media-Dienst Facebook integrierte „Facebook Messenger“.

Mobilfunk-Basisstation

Technisches Synonym zu einem Antennenstandort beziehungsweise einer Sende- und Empfangsstation im Mobilfunknetz. In dem aus einzelnen Mobilfunk-Zellen (siehe dort) aufgebauten Mobilfunknetz ist die Basisstation dafür zuständig, diese Zellen mit Funksignalen zu versorgen. Vereinfacht kann man sich die Basisstation als die Funkantenne in der Mitte einer Zelle vorstellen. Da Mobilfunk-Basisstationen heute überwiegend mit sektoriserten Antennensystemen arbeiten, versorgt eine solche Basis in der Praxis heute in der Regel drei an sie angrenzende Funkzellen. So werden weniger Basisstationen benötigt als das Netz Funkzellen aufweist.

Mobilfunk-Zelle

Mobilfunknetze sind geografisch in viele aneinandergrenzende Gebiete unterteilt, die sogenannten Funkzellen. Die Aufteilung in Funkzellen von begrenzter Größe ermöglicht es, die beschränkte Anzahl verfügbarer Funkkanäle optimal zu nutzen. Im Mobilfunknetz werden dieselben Frequenzen in ausreichendem räumlichem Abstand wiederverwendet. Je nach zu versorgendem Bereich kann eine Funkzelle einen Durchmesser bis zu 20 km haben (Großzelle), zwischen 500 m und 5 km (Kleinzelle) oder nur bis etwa 150 m (Mikrozelle).

Nichtionisierende Strahlung

Nichtionisierende Strahlung ist elektromagnetische Strahlung, die nicht genügend Energie aufweist, um Elektronen aus der äußeren Schale von Atomen oder Molekülen zu entfernen. Die Energie nichtionisierender Strahlung ist also zu gering, um chemische Bindungen beeinflussen zu können. Zur nichtionisierenden Strahlung werden elektromagnetische Felder im Frequenzbereich unter etwa 750 Terahertz (THz) oder einer Wellenlänge oberhalb von etwa 400 Nanometern (nm) gezählt. Darunter fallen niederfrequente Felder (z. B. technischer Wechselstrom), hochfrequente Felder (z. B. Rundfunk und Mobilfunk) sowie die Infrarotstrahlung, das sichtbare Licht und die UV-Strahlung im Frequenzbereich bis 400 nm. UV-Strahlung mit Wellenlängen kürzer als 400 nm zählen hingegen zur ionisierenden Strahlung.

SAR-Wert von Handys

Die Spezifische Absorptionsrate (SAR) ist das Maß für die vom Gewebe in einem bestimmten Zeitraum absorbierte Energie elektromagnetischer Felder, welche zu dessen Erwärmung führt. Um gesundheitliche Wirkungen hochfrequenter Felder auszuschließen, darf die Spezifische Absorptionsrate eines Handys nicht mehr als 2 Watt pro Kilogramm Körpergewebe betragen. Dieser Höchstwert wird von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) seit 1998 empfohlen. Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) und die EU-Kommission schlossen sich dieser Empfehlung 1998 bzw. 1999 an. Anschließend wurden durch europäische Fachgremien Normen erarbeitet, um die Einhaltung dieses Grenzwertes zu überprüfen. Alle im Handel befindlichen Handys unterschreiten den von der ICNIRP empfohlenen maximalen SAR-Wert von 2 Watt pro Kilogramm.

SingleRAN-Verfahren

In früheren Mobilfunknetzen gab es für jeden unterstützten Mobilfunkstandard eigene Antennen und eigene Hardware-Elemente in der Mobilfunk-Basisstation. Das „Radio Access Network“ (kurz RAN, also das Funknetz) war auf jeweils einen Funkstandard festgelegt – typischerweise gab es an einem Standort mehrere solcher RANs. In moderner Mobilfunk-Infrastruktur wird der verwendete Mobilfunkstandard durch Software definiert. Die Hardware in der Basisstation und innerhalb physikalischer Grenzen auch die Antennen sind so ausgelegt, dass die Software über sie die Signale der unterschiedlichen Mobilfunkstandards (2G/GSM, 3G/UMTS, 4G/LTE, 5G) bereitstellen kann. Dabei ist es sogar möglich, den unterstützten Standard dynamisch an den aktuellen Bedarf anzupassen (siehe auch Dynamic Spektrum Sharing, DSS).

Uplink

Übertragungsrichtung vom Mobiltelefon zur Mobilfunk-Basisstation und somit vom Nutzer „hinauf“ ins Netz.

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONSQUELLEN:

Behörden/Institutionen national:

Bundesregierung: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digital-made-in-de/die-digitalstrategie-der-bundesregierung-1549554>
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: <https://www.bmvi.de>
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: <https://www.bmu.de>
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: <https://www.bmwi.de>
Bundesnetzagentur (BNetzA): <https://www.bundesnetzagentur.de>
Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): <http://www.bfs.de>
Strahlenschutzkommission (SSK): <https://www.ssk.de>

Behörden/Institutionen international:

Europäische Kommission: https://ec.europa.eu/health/home_en
International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): <https://www.icnirp.org>
International Electrotechnical Commission (IEC) Bundesbehörde für Kommunikation der Vereinigten Staaten (FCC): <https://www.iec.ch>

Verbände und Organisationen national:

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.: <https://www.bitkom.org>
Informationszentrum-Mobilfunk: <https://www.informationszentrum-mobilfunk.de>
Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE): <https://www.vde.com/de>

Verbände und Organisationen international:

3rd Generation Partnership Project (Standardisierung auch für 4G und 5G): <https://www.3gpp.org>
Forum Mobilkommunikation, Österreich: <https://www.fmk.at>
GSM Association (GSMA): <https://www.gsma.com>
Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): <https://www.ieee.org>

IMPRESSUM



DStGB
Deutscher Städte-
und Gemeindebund

Herausgeber

Deutscher Städte- und Gemeindebund

Marienstraße 6
12207 Berlin
Telefon 030 77307-0
Telefax 030 77307-200
E-Mail: dstgb@dstgb.de
Web: www.dstgb.de

Stand: September 2020

**INFORMATIONSZENTRUM-
MOBILFUNK.DE**

Vertreten durch:

Lichtblick Kommunikation

E-Mail: info@informationszentrum-mobilfunk.de
Web: www.informationszentrum-mobilfunk.de

Layout & Gestaltung:

komFOUR GmbH & Co. KG

Bildmaterial:

Informationszentrum Mobilfunk, Adobe Stock

