



März 2018

Gregor Dürrenberger, FSM

Informationsblatt 5G

Die Mobilfunkgenerationen

Der Mobilfunk hat sich rasant entwickelt und die Dynamik wird anhalten. Inzwischen unterscheidet man 5 Technikgenerationen. Während die erste noch analog arbeitete, setzen alle Nachfolgetechnologien auf digitale Signalverarbeitung. Das wesentliche Merkmal der jeweils neueren Generation ist die höhere Datenrate um mehr Kapazität bereitstellen zu können. Zur Steigerung der Datenraten und anderer technischer Parameter wie die Reaktionszeit des Systems (Latenzzeit), hat man (i) die Bandbreiten vergrössert, (ii) die Modulationsverfahren effizienter gemacht und (iii) auch die Art, wie das Endgerät auf das Signal zugreift, verändert. Diese Verbesserungen waren nur möglich, weil sich die Hardware bzw. die Signalverarbeitung in den letzten 20 Jahren enorm weiterentwickelt hat.

Untenstehende Tabelle gibt einen Überblick über die vier digitalen Generationen, wobei jede Generation jeweils mit „internen“ Upgrades aufgerüstet wurde. In der Darstellung sind einige dieser Aufrüstungen vermerkt. Der erstgenannte Begriff jeder Generation – GSM, UMTS, LTE und NR (New Radio) – entspricht der „landläufigen“, also der gebräuchlichsten Bezeichnung der unterschiedlichen Mobilfunktechnologien. GSM ist der einzige in der Tabelle gelistete Standard der leitungsbasiert (kanalbasiert) ist – als Kunde zahlt man die Verbindungszeit – alle anderen Standards sind datenbasiert (paketbasiert) – als Kunde zahlt man das genutzte Datenvolumen.

Generation	2G			3G			4G		5G
Technologie	GSM	GPRS	EDGE	UMTS	HSPA	HSPA+	LTE	LTE-A	NR
Zugriffsverfahren	TDMA	TDMA	TDMA	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA	OFDMA	OFDMA
Modulationsverfahren	GMSK	GMSK	8-PSK	QPSK	QPSK, 16-QAM	QPSK, 16-QAM	QPSK, 16-, 64-QAM	QPSK, 16-, 64-, 256-QAM	QPSK, 16-, 64-, 256-QAM
Bandbreite	0.2 MHz	0.2 MHz	0.2 MHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz	1.4-20 MHz	20-100 MHz	35-400 MHz
Kanalbündelung	nicht möglich	bis 8	bis 8	nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich	bis 4	bis 4	bis 4
ungefähre max. Datenraten	0.01 Mbps	0.1 Mbps	0.2 Mbps	0.4 Mbps	14 Mbps	42 Mbps	150 Mbps	1000 Mbps	>1000 Mbps
sonstige Eigenschaften	leitungs-basiert			MIMO			MIMO	MIMO, Bänder-aggregation	MIMO, Bänder-aggregation
ungefähre Latenzzeit	500 ms	500 ms	300 ms	150 ms	100 ms	50 ms	10 ms	5 ms	1 ms

Tabelle 1: technische Eigenschaften der digitalen Mobilfunkgenerationen (Abkürzungen siehe Glossar)

New Radio oder 5G

Status: Die fünfte Mobilfunkgeneration, die gegenwärtig (Anfang 2018) noch nicht fertig standardisiert ist, soll 2020 in Betrieb gehen. Erste Endgeräte werden per 2019 erwartet.

Gründe: Grund für den neuen Standard ist das anhaltend stark wachsende Datenvolumen, das die 4. Generation (LTE) in einigen Jahren an ihre Kapazitätsgrenzen bringen wird. Sodann zeichnen sich neue Anwendungen ab, die kürzere Latenzzeiten als heute möglich notwendig machen (etwa für selbstfahrende Fahrzeuge). Weiter ist absehbar, dass der zunehmende Einsatz von Sensoren und intelligenten Geräten (Stichwort: Internet der Dinge), die aus Kostengründen drahtlos ans Internet angebunden sein werden, Systeme benötigen wird, die viele tausend Verbindungen bedienen können. LTE ist nicht auf solche massenhaften Anbindungen optimiert. Aus diesen und weiteren Gründen wurde die 5. Generation Mobilfunk entwickelt. Sie soll die Digitalisierung der Gesellschaft unterstützen und vorantreiben. Die von 5G oder New Radio (NR) angestrebten Kennzahlen zur Bewältigung der zukünftigen Anforderungen finden sich in Tabelle 1.

Frequenzen: New Radio wird vorerst die bisherigen Frequenzen nutzen. Ab 2019/2020 werden Bänder im Bereich 3.4 – 3.8 GHz hinzukommen (siehe Abbildung 1). Die hohen Frequenzen im zweistelligen GHz Bereich werden erst in den frühen 20er Jahre aktuell sein. Ein in Diskussion befindliches Band für solche Millimeterwellen liegt um 26 GHz (24.25 – 27.5 GHz).

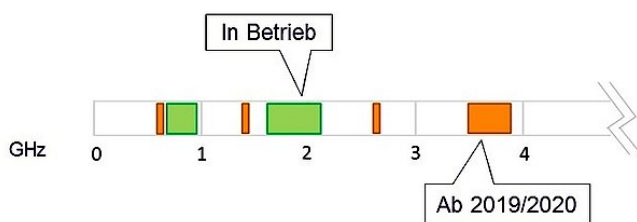


Abbildung 1: Frequenzbänder für Mobilfunk. Quelle: BAKOM

Funktechnik: Die neueste Mobilfunkgeneration wird funktechnisch wie LTE aufgebaut sein (u.a. OFDMA, QAM und Kanalbündelung), allerdings wird sie mit mehr Bandbreite senden können. Angestrebt ist etwa das Doppelte von LTE-A. Wie bei LTE advanced können Bandbreiten aggregiert und so Kapazitäten flexibel den Bedürfnissen angepasst werden.

Antennentechnik: Ebenfalls wie bei LTE werden Mehrfachantennen (MIMO) eingesetzt. Im 26 GHz Band (international noch nicht für 5G reserviert) und bei noch höheren Frequenzen ist massive MIMO (mMIMO) für das Beamforming vorgesehen. Beim Beamforming wird die Leistung wie in einer Parabolantenne gebündelt und gezielt in den Raum abgestrahlt. Es können gleichzeitig mehrere Strahlenbündel gebildet und unabhängig voneinander von der Antenne in unterschiedliche Raumrichtungen „verschickt“ werden. Ob und wann das auch für mobile Nutzer (Endgeräte) umgesetzt wird, ist noch nicht absehbar. Durch die Bündelung entsteht weniger „Streustrahlung“ im freien Raum. Tendenziell sinken dadurch die durchschnittlichen Immissionspegel.

Netzarchitektur: Ein weiteres Charakteristikum von New Radio ist das sog. Slicing: auf derselben Hardware können softwaremässig Subnetze mit ausgewählten Eigenschaften (Quality of Services) definiert werden. Das ermöglicht, Dienste unabhängig vom „restlichen“ Verkehr mit festgelegten Qualitätskriterien störungsfrei zu garantieren. Kritische

Anwendungen in Industrie, Mobilität, bei öffentlichen Infrastrukturen oder in der Sicherheit (Blaulichtdienste) können so ohne eigene Netze über 5G abgewickelt werden.

Fazit: 5G ist mehr als nur ein schnelles 4G. Es ist in quantitativer und in qualitativer Hinsicht ein Quantensprung, (siehe Abbildung 2).





















		Technologiestandards		
Eigenschaften		3G	4G	5G
Kapazität				
Latenzzeit				
Mehrfachantennen				
Beamforming				
Slicing				

Abbildung 2: 5G im Vergleich zu 3G und 4G.

Glossar

AM

Abkürzung für „Amplitudenmodulation“, ein Modulationsverfahren, das z.B. beim Analogfernsehen zur Übertragung des Bildes oder von Amateurfunkern genutzt wird. Information wird dabei über Änderungen der Amplitude des Trägersignals übermittelt.

CDMA

„Code Division Multiple Access“ ist ein Zugriffsverfahren in der Mobiltelefonie, das es ermöglicht, mehrere Benutzer gleichzeitig in demselben Frequenzband telefonieren zu lassen. Dazu wird jedem Benutzer ein Code zugewiesen, der die Informationen verschlüsselt. Mit Hilfe des Codes können aus dem Wirrwarr an einfallenden Signalen die für jeden Benutzer bestimmten Informationen wieder herausgefiltert werden.

EDGE

„Enhanced Data for GSM Evolution“ ist ein teilweise auf GSM basierender Standard. Er verwendet ein effizienteres Modulationsverfahren (8 PSK) als GSM. EDGE ist die schnellste Technologie, die auf dem GSM- oder 2G-Standard aufbaut.

FDMA

„Frequency Division Multiple Access“ ist ein Zugriffsverfahren in der Mobiltelefonie, das jedem Benutzer ein eigenes Frequenzband zuweist. Solange jemand telefoniert, kann das zugewiesene Band von niemand anderem benützt werden.

FM

Abkürzung für „Frequenzmodulation“, ein Modulationsverfahren, das z.B. das UKW-Radio oder das Analogfernsehen zur Übertragung des Tons einsetzt. Information wird dabei über Änderungen der Frequenz des Trägersignals übermittelt.



GMSK

Abkürzung für „Gaussian Minimum Shift Keying“, ein einfaches Modulationsverfahren, das zwei Phasenzustände unterscheidet. Damit lässt sich 1 Bit Information übertragen.

GPRS

„General Packet Radio Service“ ist eine verbesserte Version von GSM um die Geschwindigkeit zu erhöhen (Faktor 10 gegenüber GSM) und um die Übertragung von Datenpaketen zu ermöglichen. Bei GPRS werden freie Kanäle dynamisch dem Benutzer zugeordnet. Es wird nur Kapazität belegt, wenn Daten übertragen werden. Der Kunde kann deshalb immer online sein.

GSM

"Global System for Mobile Communication" ist der europäische Mobilfunkstandard der zweiten Generation. Die erste Generation (Natel C) arbeitete mit Analogtechnik, die zweite Generation (GSM) basiert (wie alle auf GSM folgenden Generationen) auf der Digitaltechnik. GSM ermöglicht eine bessere Nutzung der Frequenzen als es die analoge Technik von Natel C zuliesst.

HSPA

"High Speed Packet Access" ist eine Erweiterung von UMTS (sog. 3.5G). Die Übertragungsrate ist gegenüber UMTS markant verbessert, in den neuesten Versionen liegt sie im Downlink (von der Basisstation zum Endgerät) um einen Faktor 50 höher als bei UMTS.

Kilo (k), Mega (M), Giga (G), Tera (T), Peta (P)

Abkürzungen, welche Grössenordnungen angeben. Die Grössenordnungen können sich auf eine beliebige Grundeinheit beziehen, z.B. bei Energiefragestellungen auf Wattstunden (Wh; z.B. Kilowattstunden, kWh), in der Elektrotechnik auf die Frequenz in Hertz (Hz; z.B. Megahertz, MHz). Die Grössenordnungen liegen jeweils um einen Faktor 1000 auseinander, sind also nur nützlich, wenn die Spannweite der relevanten Zahlen enorm gross ist. Im Unterschied zur Reihe Milli-Mikro-Nano-etc., welche von der Grundeinheit 1 aus jeweils einen Faktor 1'000 kleiner wird, vergrössert die Reihe Kilo-Mega-Giga-etc. die Grundeinheit jeweils um einen Faktor 1'000. In aufsteigender Folge ist k 1'000 Mal grösser als die Grundeinheit (=1), M ist 1'000 Mal grösser als k (oder zusammen genommen ist M 1 Million Mal grösser als die Grundeinheit), etc.

LTE

„Long-Term Evolution“ ist die aktuell neueste (vierte) Mobilfunkgeneration (4G). Ihre Datenrate ist um einen Faktor 10-20 höher als bei HSPA und liegt im Bereich von 100-300 Mbps. LTE erlaubt die Nutzung von bestehenden UMTS-Infrastrukturen, weshalb man die Technologie manchmal auch als Generation 3.9G bezeichnet.

LTE advanced

Bei „Long-Term Evolution advanced“ handelt sich um eine Weiterentwicklung von LTE. Zur Steigerung der Datenraten werden höhere Bandbreiten eingesetzt. Die Geschwindigkeit kann bis zu 1 Gbps betragen.

Mbps, kbps

Mbps steht für Megabits pro Sekunde, kbps für Kilobits pro Sekunde. Die Masseinheiten bezeichnen Übertragungsgeschwindigkeiten bei der Datenübermittlung. 1 Mbps bedeutet, dass pro Sekunde 1 Million Bits übertragen werden können. Bei 1 kbps sind es 1'000 Mal weniger. Ein Bit ist eine digitale Informationseinheit (0 oder 1). Für ein Zeichen (z. B. Buchstaben oder Zahl) werden normalerweise 8 Bits (= 1 Byte) benötigt. Demzufolge könnten mit 1 Mbps in einer Sekunde 125'000 Zeichen (oder 25 A4-Seiten kleingedruckter Text) übermittelt werden.

Milli (m), Mikro (μ), Nano (n), Piko (p), Femto (f)

Abkürzungen, welche Grössenordnungen angeben. Die Grössenordnungen können sich auf eine beliebige Grundeinheit beziehen, z.B. in der Elektrotechnik auf die magnetische Flussdichte in Tesla (T; z.B. Mikrottesla, μ T) oder die elektrische Kapazität Farad (F; z.B. Pikofarad, pF), oder in der Oberflächenphysik auf die Länge in Meter (m; z.B. Nanometer, nm). Die Grössenordnungen liegen jeweils um einen Faktor 1'000 auseinander, sind also nur nützlich, wenn die Spannweite der relevanten Zahlen enorm gross ist. Im Unter-

schied zur Reihe Kilo-Mega-Giga-etc., welche von der Grundeinheit 1 aus jeweils einen Faktor 1'000 grösser wird, verkleinert die Reihe Milli-Mikro-Nano-etc. die Grundeinheit jeweils um einen Faktor 1'000. In absteigender Folge ist m 1'000 Mal kleiner als die Grundeinheit (=1), μ ist 1'000 Mal kleiner als m (oder zusammen genommen ist μ 1 Million Mal kleiner als die Grundeinheit), etc.

MIMO

Mit "Multiple Input Multiple Output" sind Mehrfachantennen bei Sendern und Empfängern gemeint. Eine Verdoppelung der Antennenzahl erlaubt ungefähr eine Verdoppelung der Datenmenge bei derselben Sendeleistung. Unter massive MIMO (mMIMO) versteht man eine sehr grosse Anzahl Antennen (z. B. Arrays aus 8x8, 16x16, etc. Antennen), die ein sog. Beamsteering ermöglichen, also eine Bündelung und Lenkung der Abstrahlung hin zu den Empfangspunkten.

ms

Millisekunde, eine tausendstel Sekunde.

OFDMA

„Orthogonal Frequency Division Multiple Access“ ist ein Zugriffsverfahren in der Mobilkommunikation, das erlaubt, dass viele Benutzer gleichzeitig dasselbe Frequenzband nutzen. Statt eine schnelle Folge vieler kurzer Signale mit Hilfe einer grossen Bandbreite zu verschicken, wird die Bandbreite in Teilbänder aufgestückt und die einzelnen Signale werden auf diesen „Teilbändern“ mit tieferer Symbolrate, dafür aber gleichzeitig versendet. Man kann sich das akustisch vorstellen: statt die Töne, C-E-G-B in schneller Folge nacheinander anzuschlagen, kann man sie als Akkord, den man entsprechend länger hält, spielen.

PM

Abkürzung für „Phasenmodulation“, ein Modulationsverfahren, das die digitalen Funkdienste (Mobilfunk, digitales Radio, digitales Fernsehen) nutzen. Information wird dabei über Änderungen der Phase des Trägersignals übermittelt.

PSK

Abkürzung für „Phase Shift Keying“, ein Modulationsverfahren, das auf einer Phasenänderung beruht. Einfachste Fälle: 180° Phasenverschiebung (2-PSK), 90° Phasenverschiebung (4-PSK).

QAM

„Quadratur Amplitude Modulation“ ist ein Modulationsart, das PM und AM kombiniert. In der gegenwärtig leistungsfähigsten kommerziellen Version werden 256 einzelne Zustände unterschieden. Damit lassen sich 8 Bit (= 1 Byte) darstellen.

QPSK

„Quadrature Phase Shift Keying“ ist ein Modulationsverfahren, das 4 Phasenzustände unterscheidet. Damit lassen sich 2 Bit Information übertragen. Identisch mit 4-QAM und 4-PSK.

TDMA

„Time Division Multiple Access“ ist ein Zugriffsverfahren in der Mobiltelefonie, das erlaubt, dass mehrere Benutzer gleichzeitig in demselben Frequenzband telefonieren können. Jedem Benutzer wird dazu ein kurzes Zeitfenster zur Verfügung gestellt. Pro Frequenzband werden bei GSM 8 Zeitfenster von je etwa einer halben tausendstel Sekunde definiert, die reihum den Kunden zugewiesen werden. Die Empfänger werden auf das richtige Fenster synchronisiert und erhalten so nur die für sie bestimmten Informationen.

UMTS

"Universal Mobile Telecommunication System" ist der globale Mobilfunkstandard der dritten Generation (3G). Da UMTS u.a. mit grösseren Bandbreiten (5 MHz) arbeitet als GSM, ist die Übertragungsgeschwindigkeit 40 Mal höher. UMTS ist nicht nur für Gespräche, sondern auch und primär für mobile Datennutzung geeignet.