

Ein leistungsfähiges optisches Zugangsnetz ist die Basis

# 5G-Mobilfunk – the Next Generation

Die neue Mobilfunkgeneration steht zwar technisch durchaus in der Tradition ihrer Vorgänger, eröffnet aber ganz neue Möglichkeiten. Ein Überblick über Geschichte, Technologie und Anwendungsbereiche.

Von Dr.-Ing. Alexander C. Adams

Die meisten „Cable Guys“ kennen in ihrem Freundes- und Bekanntenkreis den einen oder anderen, der sich in Anbetracht ihrer langjährigen Berufserfahrung in der oft kabelgebundenen Kommunikationsindustrie zu der Prophezeiung hinreißen lässt, in ein paar Jahren sei man arbeitslos. In ein paar Jahren brauche man keine Kabel mehr, da bis dahin die gesamte Kommunikation mobil und wireless – also ohne Kabel – stattfinde. Zur Unterstützung dieses Standpunkts wird gerne der „Mobilfunkstandard 5G“ angeführt. Das führt zu einem Fehlschluss, vielmehr bedeutet 5G nicht weniger Kabel, sondern mehr.

Zur näheren Erläuterung dieses Gedankens lohnt sich ein Ausflug in die Botanik. Ein Mobilfunknetz ist dem gemeinen Pilz in unseren heimischen Wäldern nicht unähnlich. Ein Pilz ist einer der größeren Organismen auf dem Planeten, er erstreckt sich unterirdisch über ein Hunderte Quadratmeter großes Gebiet und lebt mit Bäumen und Pflanzen in Symbiose. Das unterirdische Pilzgeflecht durchdringt die Wurzeln anderer Pflanzen zum Zwecke des Nährstoffaustauschs und bildet nebenbei ein Netzwerk, das z.B. Bäume für die Kommunikation untereinander nutzen, siehe Abbildungen 1 und 2. Für das menschliche Auge ist all dies nicht sichtbar. Wir nehmen den Pilz

nur dann wahr, wenn wir die Sporentransmitter zur Übertragung seiner genetischen Information über die „Luftschnittstelle“ auf dem Waldboden stehen sehen. Was wir umgangssprachlich als Pilz bezeichnen ist also nur der manchmal schmackhafte, manchmal halluzinogene Teil eines viel größeren Lebewesens.

## Wegstrecke größtenteils kabelgebunden

Ähnlich verhält es sich mit einem Mobilfunknetz. Die Übertragung von Information wie z.B. einer Bilddatei zwischen den USA und Europa von einem mobilen Endgerät zum anderen wird nur einen sehr kleinen Teil der Wegstrecke im sogenannten Funkzugangsnetz „durch die Luft“ zurücklegen. Vielmehr wird die Information auf der Senderseite mobil zum nächsten Mobilfunk-Transceiver übertragen,

von wo das Signal in ein kabelgebundenes, meistens optisches, Core-Netzwerk eingespeist wird. Auf diesem optischen Netz wird das Signal geroutet, bis es auf der anderen Seite des großen Teichs wieder an einen Mobilfunk-Transceiver geleitet wird, von wo das Signal dann wiederum über ein Funkzugangsnetz das mobile Endgerät des Empfängers erreicht. In unserem Stadtbild sehen wir analog zu dem schmackhaften Teil des Pilzes nur die Mobilfunktransceiver. Die diese untereinander verbindende kabelgebundene Infrastruktur sehen wir dabei genauso wenig wie die netzwerkartige Struktur des Pilzes im Waldboden.

## Analoge Mobilfunkdienste

Für diejenigen von uns, die Telefonieren noch als Erlebnis mit Kasten plus „Knochen“ und Wählscheibe mit kleinen runden Löchern kennengelernt haben, der



Abbildung 1: Fliegenpilz (*Amanita muscaria*)

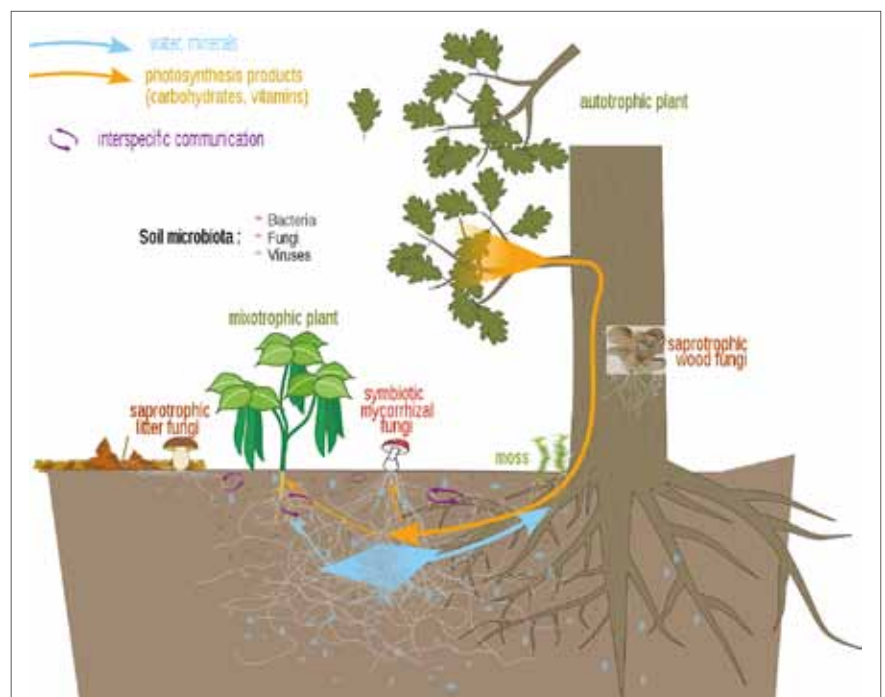


Abbildung 2: Schema Pilzstruktur



zudem von der Schwester dauerbesetzt wurde, ist Mobilfunk eine prima Sache. Die Idee ist jedoch älter, als man spontan annimmt. Bereits 1918 beschäftigte sich die Deutsche Reichsbahn mit Tests zur mobilen Telefonie. 1926 wurde auf der Bahnstrecke von Berlin nach Hamburg eine mobile Funkübertragung für die Nutzung der Passagiere der Ersten Klasse eingerichtet. Auch in der Bundesrepublik Deutschland gab es seit 1958 das sogenannte A-Netz und ab 1972 das B-Netz, die analoge Mobilfunkdienste zur Verfügung stellten und die größtenteils flächendeckend waren. Sie hatten jedoch nicht viele Nutzer, die Endgeräte waren kostenintensiv. Die Technologie wurde beispielsweise für das genutzt, das wir Kinder der 80er-Jahre aus der Buchreihe „Drei ???“ als Autotelefon kennen. 1985 startete das C-Netz als erstes zellulares, aber noch analoges Funknetz. Es stellte den Schritt vom Autotelefon zum mobilen Telefon (Cell-Phone) dar, auch wenn diese gewonnene Mobilität durch die Notwendigkeit, einen mittelgroßen Reisekoffer am Riemen über der Schulter zu tragen, gleich wieder etwas eingeschränkt wurde. A-, B- und C-Netze fasst man zur 1. Mobilfunkgeneration (1G) zusammen.

## Von 2G zu 4G

Das digitale Mobilfunkzeitalter begann in Deutschland Mitte 1992, mit der Einführung des „Global System for Mobile Communication (GSM)“. Auf dieser Technologie aufbauend wurden D- und ab 1994 auch E-Mobilfunknetze aufgebaut. Der Wechsel zur digitalen Datenübertragung markierte den Start der 2. Mobilfunkgeneration (2G). Durch das D-Netz wurde Mobilfunk erstmals zu einer von der breiten Bevölkerung nutzbaren Technologie. Die Nachfrage nach Endgeräten stieg und die Preise für ebendiese sanken. Zudem ermöglichte das D-Netz erstmals ein flächendeckendes Roaming und es prägte sich im deutschen Sprachraum der bemerkenswerte Anglizismus „Handy“ – ein Begriff, den der Angelsachse normalerweise als Adjektiv und nicht im Zusammenhang mit Mobiltelefonie benutzt.

Neben der Übermittlung von klassischen Sprachsignalen in guter Qualität ermöglichte GSM ab 1995 auch Datendienste wie Fax oder SMS. Um die Jahrtausend-

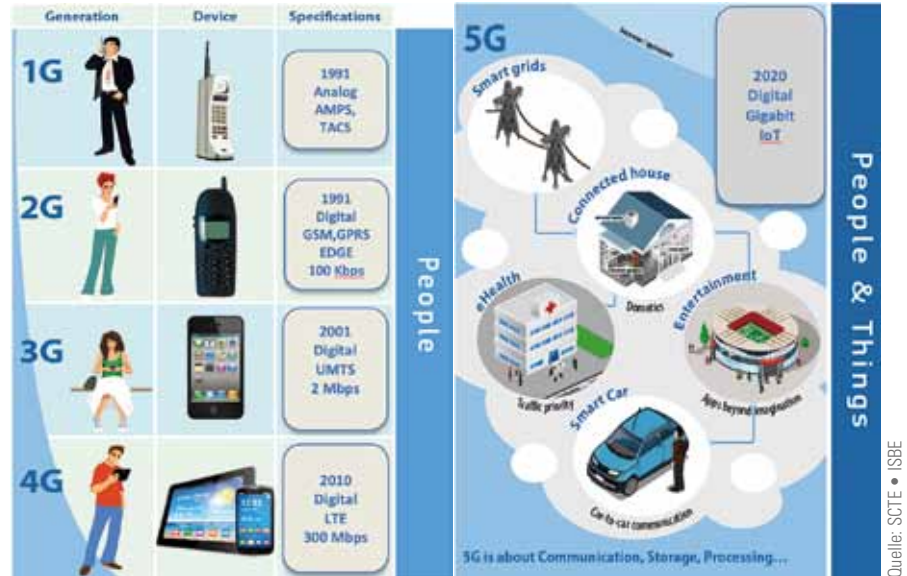


Abbildung 3: Fünf Generationen Mobilfunk

wende wurde mit der Erweiterung des GSM-Standards zu „General Packet Radio Service (GPRS)“ mobile Internetnutzung möglich, jedoch mit sehr geringen Übertragungsraten von 55,6 kbps. Diese wurden dann mit der GSM-Erweiterung „Enhanced Data Rates for GSM-Evolution (EDGE)“ erhöht. Mit EDGE wurden Übertragungsraten von 59,2 kbps pro Zeitschlitz möglich, wobei bis zu acht Zeitschlitz gleichzeitig genutzt werden konnten. (In Abbildung 3 wird nur von zwei Zeitschlitz ausgegangen.)

Mit dem als 3. Mobilfunkgeneration (3G) bezeichneten „Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) Standard“ wurde eine völlig neue Mobilfunktechnologie in die Netze eingeführt. Das erforderte die Planung und den Aufbau eigenständiger UMTS-Netze sowie die Konzeption von Endgeräten, die neben GSM auch UMTS unterstützten. UMTS ist GSM nicht unähnlich, jedoch wurden auch Sprachsignale in Datenpaketform übermittelt und es wurde ein größerer Frequenzbereich für die Übermittlung von Daten zur Verfügung gestellt. Somit ermöglichte UMTS die gleichzeitige Übertragung von Sprach- und Datensignalen. Die Einführung von Breitbandtechnik hatte große Auswirkungen auf die Mobilfunkindustrie. Datenraten von bis zu 384 kbps ermöglichten die Nutzung des Handys als digitales Informationsmedium, und seitdem ist Telefonie nur noch eine von vielen

Fähigkeiten unserer Smartphones. In den UMTS-Netzen werden mittlerweile durch technische Weiterentwicklungen wie High Speed Packet Access (HSPA, HSPA+) Datendurchsätze von bis zu 42 Mbps erreicht.

LTE ist die Kurzform von „Long Term Evolution“, was für „langfristige Entwicklung“ steht. Es ist die Bezeichnung für den 4. Mobilfunkstandard (4G), der 2010 in Deutschland eingeführt wurde. LTE nahm sich des immerwährend steigenden Bedarfs nach Bandbreite an und steigerte die Leistungsfähigkeit der Mobilfunknetze durch noch höhere Übertragungsraten. Geschwindigkeiten von 300 Mbps im Downlink und 50 Mbps im Uplink sind mit LTE möglich. Für den Netzausbau nutzten Netzbetreiber Frequenzen in Bereichen um 700 MHz und 800 MHz, sowie 1,8 GHz und 2,8 GHz.

## 5G: höherer Datendurchsatz

Nicht nur in der kabelgebundenen Kommunikation, auch im Mobilfunk schreitet die technische Entwicklung zügig voran. Während die 4G-Netze weiterhin betrieben und verfeinert werden, steht die nächste – die nunmehr fünfte – Mobilfunkgeneration bereit. Der 5G-Standard wurde 2017 veröffentlicht und betrifft immer weniger den Bereich der Telefonie. Er setzt den Schwerpunkt auf die Orchestrierung großer Datendurchsätze. 5G erreicht Datenraten von



10 Gbps auch unter Verwendung bisher nicht für den Mobilfunk genutzter höherer Frequenzbereiche. 5G weist also einen höheren Datendurchsatz als die Vorgänger auf. Es verwendet ähnliche Modulations- und Multiplexverfahren wie schon LTE. Als Modulationsverfahren kommt vornehmlich Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) zum Einsatz, wobei das in 5G verwendete Verfahren nunmehr CP-OFDM (Cyclic-Prefix-OFDM) ist, was eine Weiterentwicklung zu LTE darstellt. Die verwendeten Quadratur-Amplitudenmodulationen (QAM) auf den OFDM-Trägern sind QPSK, 16-QAM, 64-QAM und 256-QAM. Zudem stützt sich 5G auf den massiven Einsatz eines Verfahrens, das „Carrier Aggregation“ (Trägerbündelung) genannt wird, wobei bis zu 16 Träger zur Erhöhung des Datendurchsatzes zusammengefasst werden können, eine Art mobiles Channel Bonding.

Die in der fünften Generation erreichbaren Latenzzeiten liegen bei wenigen Millisekunden bis zu unter einer Millisekunde. Dabei sollte aber beachtet werden, dass Information nicht nur durch den mobilen Anteil des Netzes übertragen wird und dass neben der Luftschnittstelle auch die Latenz des hinter der Basisstation liegenden Netzes und der beteiligten Server zu berücksichtigen ist.

### Nutzung von zwei Frequenzbereichen

Das von 5G verwendete Frequenzspektrum wird in zwei Bereiche unterteilt, die mit FR1 und FR2 bezeichnet werden. Die Bezeichnungen leiten sich vom englischen „Frequency Range“ ab. FR1 umfasst das Spektrum zwischen 600 MHz und 6 GHz und in diesem Bereich werden die Verfahren Time Division Duplex (TDD) wie auch Frequency Division Duplex (FDD) angewandt. In Deutschland sind im FR1 die Bereiche um 700 MHz, 2 GHz, 3,4 GHz und 3,7 GHz vorgesehen. Alle bereits für den Mobilfunk der dritten und vierten Generation (zum Beispiel UMTS, LTE) verfügbaren Frequenzbereiche zwischen 700 MHz und 2,6 GHz können grundsätzlich auch für 5G genutzt werden. Signale niedriger Frequenzen sind langwelliger als solche mit höheren Frequenzen und haben eine größere Reichweite. Sie

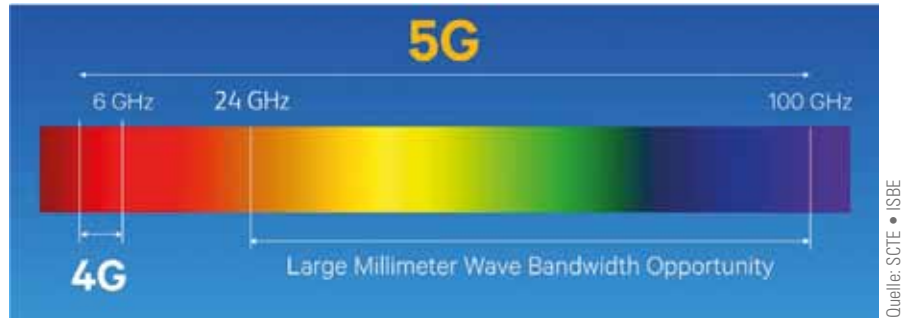


Abbildung 4: Grobe Übersicht 5G-Spektrum

haben gute Ausbreitungseigenschaften und eignen sich insbesondere für die Flächenversorgung.

FR2 beginnt oberhalb von 24 GHz und arbeitet demzufolge nahe am Millimeterwellenbereich. (Dieser liegt eigentlich im Frequenzbereich zwischen 30 GHz und 300 GHz.) Momentan sind Frequenzen bis 40 GHz freigegeben, eine Erweiterung dieses Bereichs auf 60 GHz oder 80 GHz ist geplant. Abbildung 4 stellt eine grobe Übersicht dar.

Der Nachteil von elektromagnetischer Strahlung ist, dass ihre Reichweite mit höherer Frequenz abnimmt. Elektromagnetische Strahlung einer Frequenz von z.B. 28 GHz kann Hindernisse wie Wände oder Vegetation schlecht durchdringen. Jedoch kann die Strahlung an Oberflächen reflektiert werden und sozusagen auf Umwegen das Ziel erreichen. Hierbei sind die dabei entstehenden Zeitdifferenzen bei Anwendung der OFDM-Technik irrelevant.

### Phased-Array-Antennen und Beamforming

5G verwendet sogenannte Phased-Array-Antennen, die die elektromagnetische Strahlung bündeln, formen und auf das Ziel ausrichten. Mit der Bündelung der elektromagnetischen Wellen, dem sogenannten Beamforming, kann eine präzise Ausrichtung der Signalleistung in Form einer „Keule“ in Richtung des Empfängers erreicht werden (siehe Abbildung 5). Die Hauptsenderichtung wird beim Beamforming so ausgerichtet, dass einzelne Endgeräte von den für sie vorgesehenen Signalen angesprochen werden können. Das kann über eine direkte Sichtverbindung oder auch indirekt über Reflexionsflächen geschehen. Dies

hat den Vorteil, dass sich der Energiebedarf im Sender spürbar reduziert und die Sendeleistung zudem dem Bedarf der Anwendung angepasst werden kann. Durch das Beamforming wird das Signal-Rauschverhältnis verbessert. Außerdem wird die gleichzeitige Übertragung von Daten an verschiedene mobile Geräte im gleichen Frequenzbereich unterstützt, indem unterschiedliche Keulen verwendet werden (Space-Division Multiplexing). Zudem wird der Wirkungsgrad des Systems erhöht, da eine geringere Streuung der Sendeleistung stattfindet.

Die 5G-Spezifikation sieht für den Millimeterwellenbereich derzeit ein Array von bis zu 256 Einzelantennen vor, die für ein Massives MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) geschaltet werden können. Es werden Gruppen von Antennen gebildet, die jeweils eigene Keulen bilden, die unabhängig voneinander zur drahtlosen Kommunikation genutzt werden.

Dieses spezielle Codierungsverfahren genannt Space-Time-Coding nutzt sowohl zeitliche wie räumliche Dimensionen zur Verbesserung der Qualität und Datenraten bei der Informationsübertragung. Die Leistungsfähigkeit von 5G-Netzen kann mit Mehrantennensystemen deutlich gesteigert werden. So kann eine hohe Anzahl von Anwendern das 5G-Netz gleichzeitig nutzen.

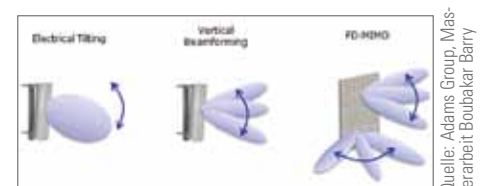


Abbildung 5: Antennentechnik und Beamforming



## Steigender Energieverbrauch wird erwartet

Im Idealfall liegt der theoretische Energieverbrauch pro Bit bei einem 5G-System nur bei etwa einem Prozent eines 4G-LTE-Systems. Der Einsatz von 5G-Technologie fördert aber auch zusätzlich die erwartete starke Zunahme von internetfähigen Geräten. Es wird von vielen Milliarden Geräten ausgegangen, die in den kommenden Jahren unsere Netze für den Informationsaustausch nutzen werden. Obwohl also ein 5G-Bit energetisch günstiger ist als sein 4G-Cousin, wird der allgemeine Anstieg der Datenraten den Gesamtenergieverbrauch mittelfristig steigen lassen. Auch wird die Nutzung der erhöhten Frequenzbereiche die Geräte stärker erwärmen, was grundsätzlich den Energieverbrauch steigert. Zudem reduziert die Verwendung von Millimeterwellen die Reichweite der Basisstationen, was wiederum neben

den umrüstbaren 4G-Standorten einen Zuwachs an neuen mit Glasfaser angebundenen 5G-Basisstationen erfordert.

## Netzarchitektur richtet sich nach Anforderungen

Ein großer Unterschied zu den Vorgängertechnologien besteht darin, dass die Anzahl der in ein geografisches Gebiet versorgenden Mobilfunkstationen bei Einsatz von 5G-Technologie nicht direkt anhängig von der Besiedlungsdichte des Gebiets ist. Die Architektur des 5G-Netzes richtet sich entscheidend nach den Anforderungen der Anwender an geografischen Punkten innerhalb des Gebiets. Dies unterstreicht die Flexibilität des 5G-Standards, denn eine 5G-Anwendung in einer Werkshalle, in der eine hohe Anzahl an Menschen und Maschinen gleichzeitig arbeiten, wird andere Anforderungen an die Netzwerkarchitektur stellen als eine 5G-Applikation,

die entlang einer Autobahn mit Fokus auf extrem kurzen Latenzzeiten und mit hoher Zuverlässigkeit autonomes Fahren ermöglicht. In der Fläche werden sich zunächst 5G-Zellen ausbreiten, die auf der bestehenden 4G-Infrastruktur aufsetzen. 5G-Technologie ist mit 4G-Technologie rückwärts-kompatibel. 4G- und 5G-Netze werden gemeinsam bzw. parallel betrieben, was einen gestuften Ausbau ermöglicht.

## Viele virtuelle Spezialnetze

Die bisherigen Mobilfunknetze bis einschließlich 4G bestehen aus freistehenden Masten und klassischen Dachstandorten. Diese stellen die Flächenabdeckung für einen geografischen Bereich her. Bei 5G entsteht im Endausbau nicht nur eine größere räumliche Abweichung in der Standortdichte, die Standorte unterscheiden sich auch optisch und in ihrer Leistungsfähigkeit deutlich von beste-

BKtel



hender Technologie. Neben den weiterhin benötigten Dachstandorten wird insbesondere die Netzwerkarchitektur im kleinzelligen Bereich ausgebaut. Die Vielzahl der verschiedenen Anforderungen an das 5G-Netz führt dazu, dass es anders als bisher kein gleichförmiges Netz für alle Anwender geben wird. Vielmehr ermöglicht 5G viele virtuelle, auf ihre jeweilige Spezialanwendung zugeschnittene Spezialnetze, die aber auf Basis einer gemeinsamen Infrastruktur betrieben werden.

### Kleinzellen für hohe Anforderungen auf kleiner Fläche

Kleinzellen (englisch: Small Cells) kommen insbesondere an Orten mit hoher Nutzerdichte zum Einsatz, z.B. in Fußgängerzonen, auf belebten Plätzen oder in Fußballstadien. Sie können Engpässe im übergeordneten Makronetz beheben. Kleinzellen ersetzen mitnichten die bestehenden Mobilfunk-Dachstandorte, sondern ergänzen sie und verdichten das Netz an Punkten besonders hoher Nachfrage. Befinden sich mehrere Zellen auf einem relativ kleinen Gebiet, erhöht sich die Anzahl der gleichzeitig möglichen Nutzer signifikant. Kleinzellen eignen sich also hervorragend für hohe Anforderungen auf kleiner Fläche. Die Nutzer der mobilen Endgeräte profitieren zudem von der Leistungsregulierung zwischen Sender und Empfänger, da das Endgerät weniger Leistung verbraucht und somit die Akkus schont.

Eine Small Cell ist eine Mobilfunkzelle mit geringer Sendeleistung, woraus ein kleiner Versorgungsbereich resultiert,

ähnlich einem WLAN-Hotspot, jedoch mit Einbindung in das Mobilfunknetz. Der Versorgungsradius einer Small Cell liegt bei etwa 150 Metern. Durch die Installation sehr nahe an den Nutzern müssen entsprechend viele Zellen zwecks einer unterbrechungsfreien Versorgung eines Gebiets wie der oben genannten Fußgängerzone installiert werden. Small Cells werden mit einer nur geringen Leistung von weniger als 10 Watt betrieben. Die verwendeten Antennen sind deutlich kleiner als herkömmliche Mobilfunkantennen und können z.B. an Hauswänden oder Litfaßsäulen montiert werden. Bei hohen Übertragungsfrequenzen im Millimeterwellenbereich liegt die Dimension einer einzelnen Antenne ebenfalls im Millimeterbereich, daher können in einem Array auf wenig Raum eine Vielzahl von Antennen untergebracht werden.

### Drei Anwendungsbereiche

Ingenieure und Techniker unterscheiden bei 5G-Netzen grundsätzlich drei unterschiedliche Anwendungsbereiche: Schnelles mobiles Internet (Enhanced Mobile Broadband), die Kommunikation von Maschinen und Anwendungen untereinander (Massive Machine Type Communications, M2M), sowie Hochzuverlässigkeitsnetze mit sehr kurzen Latenzzeiten (Ultra-Reliable Low-Latency Communications). Diese sind in Abbildung 6 zusammengefasst. Alle drei Kategorien haben unterschiedliche technische Rahmenbedingungen. Ein 5G-Netz muss über Flexibilität verfügen, um diesen unterschiedlichen Anforderun-

gen gerecht zu werden. Es verspricht einen hohen Datendurchsatz bei geringeren Betriebskosten. 5G kann sein Potential jedoch nur dann entfalten, wenn die direkte Anbindung der Mobilfunkstationen an das optische Netz vorangetrieben wird.

In den letzten Jahren hat die schnelle mobile Internetnutzung stark zugenommen, jährlich wächst sie in ungefähre Übereinstimmung mit Nielsens „Gesetz“ um ca. 50 Prozent. Eine Änderung dieser Entwicklung ist auch in den kommenden Jahren nicht absehbar. Für die zu erwartenden Datenmengen durch Anwendungen wie hochauflösende 4K- oder 8K-Videos benötigen die Nutzer eine hohe Netzkapazität. 5G bietet mit Datenraten im Bereich von 10 Gbps eine solide technische Basis hierfür. Ferner lassen sich mit 5G-Technik Anwendungen auf den Gebieten der erweiterten und der virtuellen Realität (Augmented and Virtual Reality) abbilden. Solche Anwendungen benötigen hohe Bitraten und eine geringe Latenz. Ihr Einsatzbereich kann vom mobilen Pizzaservice bis hin zum digitalen Operationssaal reichen.

Die Vernetzung von Industrien, von Branchen und Märkten sowie der ganzen Gesellschaft wird fortschreiten und sich auch als Prozess weiter verändern. Stand bei der Verwendung von Internet und Daten bisher die Vernetzung von Menschen im Vordergrund, wird es in Zukunft um die Vernetzung von Dingen gehen. Begriffe wie Industrie 4.0, Machine-to-Machine Communication (M2M) und das Internet-of-Things (IoT) beschreiben die Vernetzung von Maschinen und Applikationen. Dabei geht es sowohl um Produktions- und Industrieanwendungen wie auch um die Vernetzung gänzlich alltäglicher Dinge wie von Haustechnik, Sportschuhen oder dem Kühlschrank, der das Bier selbstständig bestellt. All diese Anwendungen im Einzelnen weisen den gemeinsamen Vorteil auf, dass sie in der Regel nur kleine Datenmengen übertragen. Zum Beispiel braucht es für die Bierbestellung eines Smart-Kühlschranks nicht viel Datenvolumen. Jedoch wurde bereits erwähnt, dass in den kommenden Jahren weltweit Milliarden solcher Geräte als Neuankömmlinge in unseren Netzen erwartet werden. Kleine Datenmengen bei einer gleichzeitig großen räumlichen



Quelle: SCTE • ISBE

Abbildung 6: Anwendungsbereiche von 5G-Technologie



Verbreitung benötigen ein großflächiges, flexibles Netz, das die Signale einer hohen Anzahl an simultan kommunizierenden Geräten verarbeiten kann. Bei diesen Anwendungen spielen Übertragungsgeschwindigkeit und Latenz eher eine untergeordnete Rolle, wichtiger ist hierbei ein geringer Energieverbrauch.

Manche Applikationen auf einem 5G-Netz lassen aber wenig Platz für Fehler und erfordern eine kurze Reaktionszeit und eine geringe Latenz. Dies wird in 5G-Hochzuverlässigkeitsnetzen gewährleistet. Ein Beispiel hierfür ist das viel diskutierte autonome Fahren, das ganz besondere Herausforderungen an das Netz stellt. Informationen müssen sehr schnell und zuverlässig übermittelt werden, wobei die kurze Latenz von 5G-Netzen zum Tragen kommt. In 3G-Netzen lag sie bei ca. 100 Millisekunden, im 4G-Netz bei ca. 30 Millisekunden und bei 5G nur noch bei ca. einer Millisekunde. Dies stellt faktisch eine Echtzeitübertragung dar. Anwendungen wie autonomes Fahren machen die höchste Zuverlässigkeit des Übertragungsnetzes erforderlich. Auch für speziell schnell ablaufende Prozesse wie z.B. medizinische oder industrielle bildgebende Verfahren ist das Hochzuverlässigkeitsnetz notwendig.

### Flexibilität ist gefragt

Da unterschiedliche Nutzer und Anwendungen auch unterschiedliche individuelle Bedarfe an Datenraten und Zuverlässigkeit haben, ist die flexible Gestaltung zukünftiger Netze sinnvoll. Das sogenannte Network Slicing ermöglicht die Aufteilung eines Netzes für unterschiedliche Bedürfnisse und Anwendungen. Dies ermöglicht es dem Netzbetreiber,

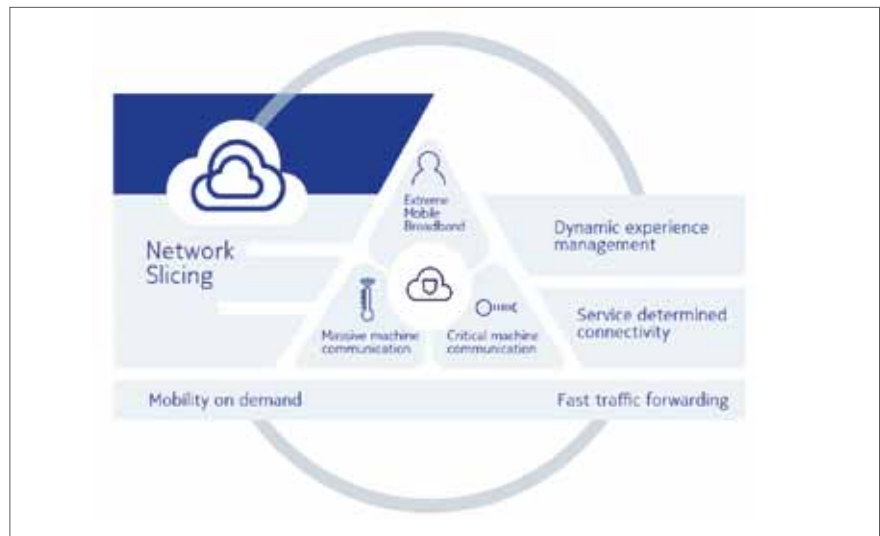


Abbildung 7: Network Slicing und Virtualization

bestimmte Qualitätsmerkmale für eine Anwendungs- oder Kundenkategorie zur Verfügung zu stellen, z.B. einen definierten Datendurchsatz oder eine bestimmte Latenzzeit. Auf diese Weise lassen sich über eine gemeinsame physikalische Infrastruktur mehrere virtuelle Netze verwalten. Bildlich gesprochen schneidet (englisch: to slice) der Netzbetreiber eine Scheibe aus dem Netzwerk heraus, die für den jeweiligen Anwendungsfall passt, weshalb in diesem Zusammenhang der Begriff „Network-as-a-Service“ Verwendung findet (Abb. 7). Ein weiterer Vorteil von 5G-Technologie und ihrer Netzwerkarchitektur ist die Möglichkeit, einen Großteil der benötigten Rechenleistung an die jeweiligen Mobilfunkstationen zu verlagern. Mobile Edge Computing (MEC) ist ein Konzept, das flexible Rechenressourcen in unmittelbarer Nähe zu den mobilen Nutzern bereitstellt, was eine geringe Latenzzeit ermöglicht.

### Eile beim Ausbau ist vonnöten

Die Netzbetreiber machen beim 5G-Ausbau durchaus Druck, vor allem in den Ballungsgebieten geht es voran. Ganz offensichtlich haben sie es eiliger als beim LTE-Ausbau, der 2010 mit der Einführung von 4G Einzug hielt und zehn Jahre später noch nicht flächendeckend abgeschlossen war. Die Hast ist nicht unbegründet, denn die Industrie braucht 5G dringend. Sie braucht stabile, schnelle und flexible Datenverbindungen, denn eine leistungs- und konkurrenzfähige mobile Infrastruktur ist der Schlüssel zur Zukunft des Wirtschaftsstandorts Deutschland. Mit einem einfachen Upgrade ist der Sprung in diese Zukunft jedoch nicht getan. Neue Antennen braucht das Land, Basisstationen müssen mit MEC aufgerüstet werden. Zur Herstellung einer Hochgeschwindigkeitsverbindung ins übergeordnete Netz müssen Basisstationen mit optischen Verbindungen angeschlossen werden, alles andere bremst 5G aus.

Die fünfte Mobilfunkgeneration eröffnet neue Möglichkeiten. Nicht nur werden meine Töchter auf ihren Smartphones noch vergnüglicher der Beschäftigung nachgehen können, die sie „Zocken“ nennen, vor allem aber wird 5G zum entscheidenden Wirtschaftsfaktor. Menschen und Maschinen werden sich auf bisher ungeahnte Weisen vernetzen und neue wirtschaftliche und gesellschaftliche Möglichkeiten schaffen. Die Zukunft wird zeigen, wohin die Reise geht. ■



© Adams Group

### Dr.-Ing. Alexander C. Adams

ist Geschäftsführer der Firma Adams Network Engineering, einem Unternehmen der Adams Group. Alex verfügt über 20 Jahre Erfahrung in der deutschen und internationalen Breitbandkommunikationsindustrie. Er ist europäischer Repräsentant der SCTE -- Society of Cable Telecommunications Engineers (US), arbeitet in der Proactive Network Maintenance Research Gruppe der CableLabs und ist Dozent an der Jade Hochschule in Wilhelmshaven sowie Auditor der dibkom. Alex hält einen Bachelor- sowie Master Abschluss in Elektrotechnik von der University of Hawai'i und hat an der TU Darmstadt promoviert.