

Ob im Homeoffice, zur digitalen Lehre oder um Roboter in Fabriken zu steuern: die Digitalisierung basiert auf verlässlichen und leistungsstarken Kommunikationsnetzen. Der neue Mobilfunkstandard 5G ist dabei ein gewaltiger Schritt. Während die Vorgänger 2G, 3G und 4G ausschließlich den Konsumbereich abgedeckt haben, unterstützt 5G darüber hinaus die Steuerung von Maschinen – selbst für mobile Einheiten. Neben der Industrie geht es um die Mobilität, die Landwirtschaft, den Bau, selbst die Energiebranche wird ohne 5G ihre zukünftigen Netze, die sogenannten Smart Grids, nicht effizient managen können. 5G ermöglicht das Internet der Dinge in Echtzeit.

Die vorangegangenen Mobilfunkstandards fokussierten auf immer höhere Datenraten, um Streaming-Dienste wie Netflix mit 4K-Videos anbieten zu können. 5G hingegen unterstützt, Millionen Sensoren auszulesen und anzusteuern unter sehr geringen sogenannten Latenzen, also Verzögerungen, die durch das Kommunikationsnetz entstehen. Dies erlaubt übrigens auch das kollaborative Arbeiten von Menschen und Maschine

zu erkennen ist. Dabei geht es im Kern um mehr Kontrolle und Überwachung der Kommunikation. Dies steht in klarem Widerspruch zum Anspruch Deutschlands und Europas, digital souverän zu sein. Zur Einordnung: Während das klassische Internet durch Netzneutralität und dezentrale Strukturen geprägt war, bauen künftige Kommunikationsnetzwerke vermehrt auf zentrale Lösungen. Die Gefahr des „New IP“-Vorschlags liegt aus unserer Sicht darin, diese zentralen Lösungen zu verwenden, um Nutzer zu isolieren oder zu beobachten. Die Europäer müssen sich vereint dagegenstellen.

5G wiederum unterscheidet sich noch in einer weiteren Hinsicht, nämlich durch das Konzept der Softwarisierung. Während die Vorgänger in Form von hochspezialisierter Hardware daherkamen, basiert 5G hauptsächlich auf zugeschnittenen Softwarelösungen und generischer Hardware, also auf kostengünstigeren, flexibleren, austauschbaren und jederzeit verfügbaren Produkten. Verschiedene Softwarisierungskonzepte, die sich hinter Begrifflichkeiten wie etwa „Software Defined Radio“ (SDR) oder „Software Defined Networks“ (SDN) verbergen, ermöglichen den Netzbetreibern, gerade auch die laufenden Kosten niedrig zu halten.

Sie sind aber auch technologisch nötig. Durch sie können beispielsweise parallele logische Netzwerke aufgebaut werden (Network Slicing). Von größter Bedeutung ist dies, weil mit Hilfe von 5G verschiedenste Kommunikationsnetze für Multimedia, massive Sensor-Netze oder Regelungssysteme mit geringsten Verzögerungen unterstützt werden sollen. Ein einziges Kommunikationssystem für alle drei zuvor genannten Anwendungen würde einen riesigen Frequenzbedarf bedeuten, den die Netzbetreiber immer wieder teuer bezahlen müssten.

Softwarisierung ermöglicht indes einen weiteren zentralen neuen Ansatz: die sogenannte mobile Edge-Cloud. Damit ist die Möglichkeit umschrieben, Cloud-Dienste optimal im Kommunikationsnetzwerk zu platzieren, also auch in der Nähe des Geschehens. Das ist praktisch hoch relevant. Autos auf deutschen Autobahnen können zum Beispiel schlicht nicht aus Amerika gesteuert werden, sogar die Lichtgeschwindigkeit ist einfach „zu langsam“, um den Anforderungen des Regelkreises im Automobil zu genügen. Die Steuerungssoftware für die Fahrzeuge wird im Kommunikationsnetzwerk der Netzbetreiber neben dem Fahrzeug platziert. Bewegt sich das Fahrzeug, so bewegen sich die Cloud-Dienste parallel mit. Das werden die neuen Dienste der Netzwerkanbieter werden.

Durch die Softwarisierung wird das Kommunikationsnetz drittens nicht nur zum Durchleiten von Bits genutzt, es wird Daten auch verarbeiten und speichern können. Fähigkeiten, die bisher nur außerhalb des Netzwerkes in Rechenzentren von Google und Amazon möglich waren, werden im Netzwerk zur Verfügung gestellt. Dies sind gute Nachrichten für Netzbetreiber. Im 4G-Mobilfunk haben sogenannte Over-

the-Top-Anbieter (OTT) wie Airbnb oder Uber einen Großteil der Gewinne erzielt, weil die Dienste nicht aus dem Kommunikationsnetz heraus realisiert wurden, sondern ausschließlich auf dem Endgerät und in der Cloud. Mit 5G ist OTT hingegen keine Option mehr, da geringe Latenzen sich nur aus dem Kommunikationsnetz heraus realisieren lassen. Dies bedeutet auch, dass Methoden der Künstlichen Intelligenz direkt im Kommunikationsnetz ausgeführt werden können, um Daten lokal zu bearbeiten. Daher werden die Gewinne von Netzbetreibern künftig signifikant steigen.

Schließlich ermöglicht die Softwarisierung den Netzbetreibern jederzeit, ihre Netzwerke für verschiedene aktuelle und zukünftige Anwendungsfälle dynamisch zu reorganisieren und anzupassen. Bislang waren disruptive Veränderungen im Mobilfunk bloß durch die Einführung einer neuen Generation möglich, die nur etwa alle zehn Jahre neu definiert wurde. Zum Vergleich: Während im Mobilfunk der Begriff Generation genutzt wurde, um etwa eine neue Luftfunkschnittstelle einzuführen, gab es einen solchen Begriff in der Welt des Internets bekanntlich nie. In der gesamten Geschichte des Internets ist der engste Begriff des Generationswechsels in den Versionen der implementierten Internet-Protokolle (IP) zu finden, vor allem in der gerade laufenden Migration von IPv4 zu IPv6. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, dass die Internet-Gemeinschaft schon immer softwareorientiert war, während im Mobilfunk eine Generation bislang noch durch dedizierte Hardware mit festgelegter Funktionalität definiert wurde. Der softwareorientierte Ansatz hingegen, der den

gängigen Smartphones schon lange inhärent ist, ermöglicht über Software-Updates das kontinuierliche Hinzufügen neuer Funktionen auf der Grundlage eines gemeinsamen Satzes von Hardware-Komponenten.

Während 5G-Mobilfunksysteme derzeit aufgebaut werden und weitere 5G-Technologieschritte in der Standardisierung besprochen werden, haben Forscher und Politiker auf der ganzen Welt unterdessen schon damit begonnen, über 6G-Technologie zu diskutieren. Verschiedene Förderorganisationen haben erste Programme mit einem 6G-Label gestartet. Was soll das? Anders als bei 5G vermisst man bei 6G klare Anwendungsfelder. Auch ist durch die zuvor beschriebene Softwarisierung eine neue Generation eigentlich hinlänglich geworden. Woher kommt also dieser Reflex nach einer weiteren Generation? Wird der Begriff 6G die derzeitige 5G-Entwicklung sogar hemmen, da Industrievorteile stets auf die neueste Technologie warten?

Auch wenn es technologisch vielleicht nicht nützlich ist, so hilft der Begriff 6G, um die Entwicklung und Erforschung neuer Kommunikationstechnologien und Kommunikationsnetze in Politik und Gesellschaft zu motivieren. Dies ist insofern wichtig, da zwischenzeitlich in den Förderprogrammen fast ausschließlich Künstliche Intelligenz und Quanten-Technologie Beachtung fanden, sowohl der Mobilfunk als auch das klassische Festnetz aber nicht. Infolge der Pandemie hat sich dies geändert. Im Konjunkturpaket der Bundesregierung aus dem Juni wurden im Abschnitt 45 der Ausbau von 5G und die Entwicklung von 6G-Technologien hervorgehoben.

5G

Warum der neue Mobilfunkstandard wirklich revolutionär ist. Und was für Deutschland auf dem Spiel steht.

Von Frank H. P. Fitzek und Holger Boche

Die Definition von 6G-Technologien ist derzeit aber noch in der Diskussion. Deshalb wollen wir im Folgenden einige 6G-Realisierungsmöglichkeiten beschreiben.

1 Architektur von Kommunikationsnetzen: Neben der Weiterentwicklung von zellularen 5G-Mobilfunknetzen in den nächsten Ausbaustufen, werden neue Kommunikationsarchitekturen eingesetzt werden. Zellulärer Mobilfunk ist ein strikt durchgeplantes Kommunikationsnetzwerk mit dem Ziel, die komplette Bevölkerung zu versorgen mit mobiler Datenkommunikation zu jeder Zeit und an jedem Ort. Derzeit werden aber auch schon erste Inselösungen, die sogenannten 5G-Campus-Netzwerke, für Industrie, Kommunen oder Bildungsstätten aufgebaut. Diese 5G-Netzwerke unterscheiden sich durch ihre Abdeckung, da sie nur eine Fabrik oder ein Dorf versorgen sollen – ohne dabei unbedingt Mobilität in andere Netze zu garantieren. 5G-Campus-Netzwerke tragen zur digitalen Souveränität Deutschlands und zum schnellen Aufbau von 5G bei. So können 5G-Campus-Lösungen in großen Betrieben eingesetzt werden, die sich neben 5G-Frequenzen auch eigene 5G-Technologie beschaffen, die sich dann unter der vollen Kontrolle des Betriebes befindet. Damit kann der Betrieb sicherstellen, dass nur Technologie aus bestimmten Länderregionen benutzt wird. Aber auch kleine Betriebe können von 5G-Campus-Lösungen profitieren. So kann ein 5G-Campus eine ganze Region abdecken, in der kleinere Unternehmen Roboter anlernen, wie zum Beispiel eine Bäckerei, um den Backprozess zu unterstützen.

Die Weiterentwicklung von Campus-Lösungen könnte ein wichtiger Bestandteil der 6G-Forschung sein. Dabei geht es dann neben der reinen Kostenreduktion auch um Themen wie Sicherheit, Energieverbrauch und weitere Softwarelösungen für den Bereich der Luftfunkschnittstelle, den sogenannten OpenRAN-Lösungen. OpenRAN steht für „Open Radio Access Networks“ und ist eine offene Schnittstelle bis zur Antenne, die durch Software jederzeit rekonfigurierbar ist.

Während sich Campus-Lösungen auf kleinere Abdeckungsbereiche fokussieren, werden 5G-Lösungen auch aus der Luft angeboten werden. Hier sind Satelliten und HAPs (High Altitude Platforms) zu nennen, die 5G dynamisch für verschiedene Landstriche zur Verfügung stellen. HAPs können durch Drohnen, Zeppeline oder Flugzeuge der Netzbetreiber realisiert werden – ein weiteres neues Geschäftsmodell auch für den Netzbetreiber. Dies könnte das oft zitierte „5G an jeder Milchkanne“-Problem lösen. Auch hier könnte neue Forschung wichtig werden, da es aufgrund der Distanz zwischen Satellit und Endgerät zu höheren Latenzen kommt. Auch die Verbindung von Satelliten und Quantenkommunikation wird sich zu einem wichtigen Forschungsfeld entwickeln.

2 Mensch-Maschine-Kooperation: 5G adressiert die Kommunikation zwischen Maschinen, wohingegen sich 6G mit der Kooperation zwischen Menschen und Maschinen näher beschäftigen könnte. Während das heutige Internet den Informationsaustausch allgemein zugänglich macht, geht es im sogenannten taktilen Internet, wie Fachleute dies nennen, darum, Fähigkeiten und Fachwissen zu demokratisieren für Menschen unterschiedlichen Geschlechts, Alters, kulturellen Hintergrunds oder körperlicher Einschränkungen. Der Begriff „taktile“ beschreibt dabei die Übertragung von taktilen und haptischen Informationen, um in virtuellen Welten Dinge zu erfühlen und zu ertasten. Bisher wurden nur audiovisuelle Informationen im Internet übertragen. Damit wird sich die Art und Weise, wie wir lernen (etwa das Klavierspielen oder verschiedene Sportarten), wie wir arbeiten oder

wie wir im Alter durch Maschinen unterstützt werden, dramatisch wandeln. Diese neue Form der Zusammenarbeit unterstreicht übrigens auch, dass die Digitalisierung unter dem Strich nicht zwangsläufig zum Verlust von Arbeitsplätzen führt. Auf der anderen Seite wird der Arbeitsmarkt besser ausgebildete Fachkräfte benötigen.

3 Integration von Quantenkommunikation: Quantenkommunikation wird schon seit Jahrzehnten diskutiert. Die Vorteile sicherer Kommunikation durch Quantenverschränkung sind offensichtlich. Darüber hinaus gibt es aber weitere Möglichkeiten, Quantenverschränkung für Kommunikationsnetzwerke zu nutzen. Einige Beispiele sind die Synchronität zwischen Kommunikationsteilnehmern, die wichtig ist für sichere und effiziente Kommunikationsprotokolle, die verzögerungsarme Verarbeitung der Daten im Kommunikationsnetzwerk während des Transportes – oder einfach nur höhere Datenraten. Quantentechnologien bringen Vorteile jeglicher Art für die Kommunikation im Festnetz, im zellularen Mobilfunk und auch mit Satelliten. Quantenkommunikation wird weiterhin Kommunikationsnetze gegen feindliche Angriffe von außen komplett sicher realisieren. Die Kombination von Quantumcomputing und Quantenkommunikation wird dabei ein spannendes Forschungsfeld.

4 Eine neue Informationstheorie: Ein wesentlicher Kritikpunkt an der 5G-Technologie war die grundsätzlich gering ausgeprägte Risikobereitschaft, wirklich neuartige Technologien einzusetzen. Die Standardisierer haben sich ausschließlich auf die Neuzusammenstellung bekannter Technologien der Informationstheorie beschränkt. Dabei basiert der Großteil der Informationstheorie auf Erkenntnissen des verstorbenen Informatik-Vordenkers Claude Shannon aus dem Jahre 1948. Die klassische Theorie von Shannon definiert die Kapazitätsgrenze eines Kommunikationskanals nur in Abhängigkeit der benutzten Bandbreite und der Kanal-Qualität. Und dies unter der Annahme eines nicht endenden Bitstroms. In derzeitigen Kommunikationssystemen werden Informationen aber mit endlichen Bitmengen übertragen, den sogenannten Datenpaketen. Daher ist die Shannon-Grenze klassisch nicht zu bezwingen. Während sich die etablierte Informationstheorie nach Shannon mit der Frage nach der eigentlich gesendeten Information beschäftigt, wird in der zukünftigen Informationstheorie, der Post-Shannon-Theorie, ausgewertet, ob überhaupt eine Nachricht versendet worden ist. Der disruptive Ansatz der Post-Shannon-Theorie benutzt neben den zu übertragenen Bits auch die Identifikationsinformationen. Das bedeutet, es wird noch ausgewertet, welche Ressourcen zur Übertragung benutzt worden sind. Der Übergang von

Unser Podcast zu Digital- und Technikthemen
www.faz.net/digitec-podcast

der Frage „Was wurde gesendet?“ zur Frage „Was und wie wurde etwas gesendet?“ wird zu immensen Kapazitätsvergrößerungen führen. Neue Kommunikationssysteme werden unter Ausnutzung der Softwarisierung die Post-Shannon-Theorie umsetzen.

Unser Fazit: 5G-Mobilfunknetze sind der Schlüssel für eine erfolgreiche Digitalisierung. Für diese Technologie sind evolutionäre Weiterentwicklungen zu erwarten. 6G steht dabei nicht für eine weitere Mobilfunkgeneration, sondern 6G könnte ein Synonym für disruptive Erweiterungen im gesamten zukünftigen Kommunikationsnetzwerk darstellen. Dazu muss sich 6G mit der Erforschung der Grundlagen, dem Design, der Realisierung, der Anwendung und den Marktchancen künftiger Kommunikationssysteme beschäftigen. Dabei spielt die digitale Souveränität Deutschlands und Europas im Bereich der Software und der Hardware eine wesentliche Rolle, um die Menschen erklärbar umzusetzen. Hier bietet 6G eine große Chance, verlorene Marktanteile in der Kommunikationswelt wieder in Europa anzusiedeln.

Frank H. P. Fitzek ist Professor an der TU Dresden und koordiniert das „5G Lab Germany“. **Holger Boche** ist Professor an der TU München und wurde unter anderem mit dem Leibniz-Preis ausgezeichnet.

Testen Sie die F.A.Z. Digitec App unter
www.fazdigitec.de

am selben Ort. 5G-Mobilfunksysteme werden deshalb derzeit mit Hochdruck aufgebaut. Vollendet ist die dahinterstehende Entwicklung aber noch nicht.

Das entsprechende Standardisierungsgremium 3GPP hat indes schon einen Fahrplan mit den nächsten Schritten vorbereitet. Ziel ist es, den Mobilfunk auf der ganzen Welt so zu harmonisieren, dass Mobilfunkteilnehmer überall ihre Endgeräte benutzen können. Das Gremium diskutiert verschiedenste technische Realisierungsmöglichkeiten und beschließt letztlich, welche Technologien eingesetzt werden sollen. Während die ersten beiden Generationen durch die Europäer geprägt wurden, übernahmen mit der dritten Generation die Amerikaner das Ruder. In der vierten und fünften Generation haben Europäer, Amerikaner und Asiaten gemeinsam am Standard gearbeitet. In dem Gremium selbst sitzen die Hersteller von Kommunikationsprodukten wie Ericsson, Huawei oder Nokia und außerdem Netzanbieter wie die Deutsche Telekom, Vodafone, Verizon oder China Mobil. Mit 5G kamen erstmals auch Anwender wie die deutsche Autoindustrie und Automatisierungstechniker in das Gremium.

Derzeit drängen chinesische Unternehmen darauf, das Kommunikationsnetz wesentlich zu ändern, wie dies etwa am „New IP“-Vorschlag durch China Telecom, China Unicom und Huawei