

21/2020

## 5G FÜR DIE VERNETZTE INDUSTRIE

### AUF EINEN BLICK

**Die nächste Generation der drahtlosen Konnektivität, 5G, wird zu einem allgegenwärtigen Thema in der Industrie, ist aber immer noch Gegenstand vieler Mythen und Missverständnisse. Durch die Möglichkeit der maschinengestützten Kommunikation gehen die Fähigkeiten von 5G weit über mobiles Breitband hinaus. Dies ebnet den Weg für zahlreiche neue Anwendungsfälle insbesondere in der Industrie. Dieser Artikel betrachtet die disruptive Wirkung und Bedeutung von 5G aus der Perspektive der angewandten Forschung.**

Die 5. Generation des Mobilfunks, kurz 5G, setzt neue Standards: für die Verständigung zwischen Menschen, für die Mensch-Maschine-Kommunikation wie auch für die Kommunikation zwischen Maschinen. Bis zu 100 Mal schneller als der bisherige Mobilfunkstandard bietet 5G erstmals die erforderliche Qualität, Geschwindigkeit und Kapazität für die zuverlässige Übertragung enormer Datenmengen wie sie in einer digitalisierten Wirtschaft und Gesellschaft benötigt werden.

Die für den 5G-Standard vorgesehenen Frequenzbereiche bieten neue Möglichkeiten für Anwendungen in der Industrie wie auch für die Endverbraucher\_innen als Konsument\_innen. Es erwachsen völlig neue Szenarien für die Nutzung des Mobilfunks. Die bevorstehende Einführung von 5G bringt aber auch neue Anforderungen an Infrastruktur mit sich und wirft auch sehr grundlegende wirtschaftspolitische Fragen auf, bspw. welche Anforderungen an Infrastruktur-Ausrüster gestellt werden.

In der Evolution der Mobilfunkstandards wurden mit aufsteigender Generation kontinuierlich neue Meilensteine erreicht. Im Jahr 1979 begann die Kommerzialisierung der ersten Generation (1G), was analoge Sprachübertragung zu mobilen Endgeräten ermöglichte. 2G, auch bekannt als Global System for Mobile Communications (GSM), entwickelte die mobile Telefonie weiter auf einen globalen digitalen Standard. Das schuf die Voraussetzungen für den Austausch von Kurznachrichten mit dem Short Message Service (SMS-Dienst).

Datenübertragung und Download waren damit bereits realisierbar, benötigten aber unverhältnismäßig lange für den alltäglichen Gebrauch. 3G brachte höhere Datenübertragungsraten, wodurch es zu einem Boom an mobilen Anwendungen und der Einführung von Smartphones kam. Die 3G-Datenraten von bis zu 14 Mbit/s wurden mit dem ab 2010 eingeführten Standard Long Term Evolution (LTE) Advanced, dem derzeitigen Standard der vierten Generation (4G), weit übertroffen. Durch Datenraten von bis zu einem Gbit/s werden durch LTE erstmals Mobiles Streaming, technisch anspruchsvolle Computerspiele und Cloud-Nutzung ermöglicht (Liyanage et al. 2018: 22).

### 5G ALS SCHLÜSSELTECHNOLOGIE

5G verspricht Datenraten bis zu 20 Gbit/s und bis zu einer Million Endgeräte pro km<sup>2</sup>. Eine Reaktionszeit (Latenz) von bis zu 1 ms, statt den bisherigen ~45 ms, soll eine schnellere Datenübertragung nahezu in Echtzeit ermöglichen. Dadurch ergeben sich eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten, die teilweise bereits mit 4G realisierbar sind, ihr volles Potenzial aber erst durch die neue Mobilfunktechnologie ausschöpfen können (Abu-Rgheff 2020: 1).

Aufgrund von Zeitverzögerung durch dezentrale Datenverarbeitung können diese Werte für Datenrate und Latenz mit dem etablierten Cloud Computing, der Nutzung von dezentralen IT-Infrastrukturen und -Dienstleistungen zur Datenverarbeitung, nicht umgesetzt werden. Um die Datenverarbeitung näher an den Verwendungsort zu verlagern, wird für 5G daher Edge-Computing eingesetzt. Das heißt: Teile der Datenverarbeitung werden auf Server nahe beim Anwender/bei der Anwenderin, der sogenannten Edge-Cloud, verlagert. Das spart Datenverkehr und verringert die Latenz deutlich, also die Zeit zwischen einer Aktion oder einem Ereignis und dem Eintreten einer Reaktion.

>

Insbesondere für sicherheitskritische Systeme, welche auf niedrige Latenzzeiten angewiesen sind, ist das Konzept des Edge-Computings elementar (Hassan et al. 2019: 127.276 – 127.289).

5G eröffnet mit den genannten Eigenschaften ein breites Spektrum an Möglichkeiten für Anwendungen in Industrie und Gewerbe.

## BEDEUTUNG VON 5G FÜR DIE INDUSTRIE

Im Zuge von Globalisierung und Digitalisierung befinden sich Gesellschaft und Wirtschaft in einem umfassenden Wandel. Als Trends zeichnen sich aktuell eine steigende Nachfrage nach individualisierten, jederzeit verfügbaren Produkten und eine Forderung nach Transparenz über die gesamte Lieferkette hinweg ab. Dies stellt ganz neue Ansprüche an Flexibilität, Effizienz und Transparenz in der Industrie und stellt heute viele Unternehmen, insbesondere im Mittelstand, vor die Aufgabe, ihre Produkte, Prozesse und Dienstleistungen umzustrukturieren, zu optimieren oder zu erweitern. Folgerichtig werden starre Prozesse und feststehende Produktionsstraßen in Zukunft verstärkt einer dynamischen, flexiblen Produktion und Logistik weichen, in der in kürzester Zeit auf Änderungen reagiert, Neues integriert oder Bestehendes skaliert werden muss. Ein solches Umdenken ist für wettbewerbs- und zukunftsfähige Unternehmen unerlässlich.

Während insbesondere die Generierung von Daten in der Industrie weltweit stetig wächst, müssen die erhobenen Daten weiterverarbeitet und mehrwertschaffend genutzt werden (Statista/IDC 2020). Eine solche Verarbeitung und Nutzung von Daten und Informationen ist nur dann möglich, wenn sie mit einer sicheren, zuverlässigen und vor allem skalierbaren Methode übertragen werden.

Eine feste Verlegung von Datenkabeln ist zwar zuverlässig und leistungsstark, aber kostenintensiv, unflexibel und schwer skalierbar. Vorhandene drahtlose Technologien wie WLAN sind hingegen flexibler, dafür aber nicht immer zuverlässig und nur begrenzt skalierbar. Zudem sind die dafür verfügbaren Übertragungsfrequenzen limitiert und meist überbeansprucht. Die Bedeutung von 5G zur kabellosen Datenübertragung wird anhand des antizipierten Wachstums weltweit verkaufter 5G-Einheiten in der industriellen Anwendung deutlich. Während im Jahr 2021 zunächst mit 200.000 verkauften Einheiten gerechnet wird, erwartet man 22,3 Millionen verkaufte 5G-Einheiten im Jahr 2030 (McKinsey & Company 2020).

Wie aber lässt sich sicherstellen, dass 5G für die industrielle Kommunikation geeignet ist und auch verlässlich funktioniert? Dieser Frage hat sich die internationale 5G-Allianz für vernetzte Industrie und Automatisierung (5G-ACIA) angenommen. In dieser Allianz kooperieren führende IT- und Industriekonzerne für einheitliche 5G-Standards. Das gemeinnützige, anwendungsnah arbeitende Institut für Automation und Kommunikation (ifak), Mitglied der Zuse-Gemeinschaft, bringt hier beispielsweise seine Expertise aus der Funk-Kommunikation ein. Die Forschenden aus Magdeburg wirken damit auch als Transmissionsriemen zwischen Großunternehmen und Mittelstand.

Um Handlungsbedarf im Mittelstand und Hilfestellungen, die gemeinnützige, anwendungsorientierte Forschung leisten kann, deutlich zu machen, unterstützen Institute, wie bspw. das Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) an der RWTH

Aachen, Unternehmen, die erforderliche Expertise aufzubauen. Durch angewandte Forschung bringen sie den Unternehmen die Bedeutung von 5G näher, denn vielen Unternehmen erschließt sich noch nicht, wie sie 5G konkret nutzen können und welche Anforderungen die Nutzung an das Netzwerk stellt.

## INDUSTRIELLE ANWENDUNGSFÄLLE VON 5G

Durch die verbesserten Eigenschaften von 5G erhalten Industrieunternehmen eine verlässliche Netzwerktechnologie, die essenziell für die Anwendung vieler Industrie 4.0-Anwendungen ist, wie z. B. die drahtlose Steuerung, die für mobile Werkzeuge, Maschinen und Roboter besonders wichtig ist.

## MOBILE ROBOTER UND FAHRERLOSE TRANSPORTSYSTEME (FTS) IN DER INTRALOGISTIK

Mobile Roboter und mobile Plattformen wie z. B. FTS werden in vielfältigen Anwendungsfällen in industriellen und intralogistischen Umgebungen eingesetzt. Ein mobiler Roboter ist im Wesentlichen eine programmierbare Maschine, die in der Lage ist, mehrere Operationen auszuführen und sich entlang vorprogrammierter Routen zu bewegen, um eine Vielzahl von Aufgaben auszuführen. Ein mobiler Roboter ist beispielsweise in der Lage, Güter, Materialien und andere Objekte zu bewegen, und kann innerhalb einer gegebenen industriellen Umgebung einen großen Bewegungsbereich haben. Mobile Robotersysteme sind in der Lage, mit ihrer Umgebung zu interagieren, d. h. sie können ihre Umgebung wahrnehmen und auf sie reagieren. Eine Untergruppe in der Kategorie der mobilen Roboter sind FTS Fahrzeuge, die automatisch gelenkt werden. Sie werden eingesetzt, um Güter und Materialien innerhalb eines definierten Bereichs effizient zu bewegen.

Heutzutage sind FTS in Fabriken auf Sensoren angewiesen, um die Navigation und Kollisionskontrolle zu unterstützen. Sie arbeiten normalerweise auf festen Strecken oder verfügen nur über Grundkenntnisse zur Optimierung von Routen und bewegen sich aufgrund möglicher Gefahren sehr langsam. Die nächste Generation von FTS wird fortschrittliche Analysen und maschinelles Lernen (die Fähigkeit von Computersystemen, Informationen zu analysieren und aus Erfahrungen zu „lernen“) verwenden, um Entscheidungen zu treffen. Mit diesen Funktionen können FTS Daten anzeigen, sich schneller bewegen und komplexe Navigationsentscheidungen treffen (z. B. das Vermeiden überfüllter Bereiche mit anderen Fahrzeugen), vorausgesetzt, sie verfügen über ein 5G-Netzwerk mit drahtlosen Hochgeschwindigkeitsverbindungen für eine geringe Latenz und zuverlässige Kommunikation. Darüber hinaus unterstützt 5G FTS der nächsten Generation dabei, Steuerungssoftware zu betreiben und Daten in der Edge-Cloud zu verarbeiten, wodurch ihnen enorme Rechenleistung zu geringeren Kosten als bei der Verarbeitung an Bord zur Verfügung gestellt wird.

## PREDICTIVE MAINTENANCE

Ungeplante Ausfallzeiten sind eines der größten Probleme der Hersteller, und die Kosten sind in der Regel um ein Vielfaches höher als die geplanten Ausfallzeiten. Wenn ein

ungeplanter Fehler an einem Betriebsmittel auftritt, sind die Folgen schwerwiegend und führen zu einem komplexen Reparaturprozess. Durch die Ausstattung der Maschine mit Sensoren kann der Status in Echtzeit überwacht und Parameterkombinationen können ausgewertet werden, um festzustellen, wann die Maschine vorzeitig ausfallen könnte. Dies vermeidet nicht nur Ausfälle, sondern reduziert auch die Kosten für die routinemäßige Wartung und verlängert die Lebensdauer des Systems. Die Theorie der vorausschauenden Wartung ist leicht zu verstehen, aber die Vorteile sind bislang nicht im erwarteten Umfang eingetreten. Das liegt teilweise an den Herausforderungen bei der Integration der Daten aus der operativen Betriebstechnologie in IT-Systeme. Andere Hürden bilden aktuell noch Probleme bei der effektiven Vorhersage von Ergebnissen, da nicht genügend Variablen gemessen werden können und die Plattform für maschinelles Lernen daher noch nicht ausgereift genug ist, um nützliche Erkenntnisse zu liefern.

5G wird eine neue Form der vorausschauenden Wartung unterstützen. Der Grund dafür ist, dass die Anzahl der an das Gerät angeschlossenen Sensoren maßgeblich erhöht werden kann, um eine Fülle verschiedener Parameter (Temperatur, Vibration, Luftfeuchtigkeit, Druck usw.) messen und zuverlässig in Echtzeit übertragen zu können. Dies ist wichtig, da der Wert der Informationen aus der Analyse von Daten, dem Querverweis auf historische Daten und Trends zur aktiven Vorhersage von Ergebnissen resultiert. Die Daten müssen so vollständig wie möglich sein, um sicherzustellen, dass keine Anomalien übersehen werden.

## AUGMENTED REALITY (AR)

AR ist eine Technologie, die computergenerierte Bilder mit der Sicht des Benutzers/der Benutzerin auf die reale Welt überlagern kann, um eine zusammengesetzte Ansicht zu erhalten. Der Mensch bleibt Schaltstelle in der Produktion. Beschäftigte können durch AR in der Fabrik auf neuartige Unterstützung zurückgreifen. Damit kann die Effizienz der Produktion deutlich gesteigert werden. Allerdings gibt es noch technische Herausforderungen, die die flächendeckende Nutzung von Augmented-Reality-Brillen behindern. Die meisten AR-Anwendungen laufen auf dem Gerät selbst, was bedeutet, dass die Brillen relativ groß sind, um die erforderliche Rechenleistung zu verarbeiten. Darüber hinaus schränkt der heute erforderliche, jedoch notwendige vorinstallierte Inhalt die Verwendung von AR-Brillen ein.

Um die Rechenleistung von AR-Geräten auszulagern, muss die Verbindung zwischen dem Gerät und der Edge-Cloud die für hochauflösende Videostreams benötigte hohe Bandbreite und die extrem niedrige Latenz unterstützen, um die diskutierte Effizienz, Produktivität und Ergonomie zu realisieren. Erst 5G kann diese Potenziale hinreichend freisetzen.

## BEDEUTUNG VON 5G FÜR DIE ZUKUNFT DER ARBEIT

Betrachtet man die oben aufgeführten Einsatzmöglichkeiten von 5G in innerbetrieblichen Umgebungen, so wird deutlich, dass im Produktionsumfeld Arbeitsabläufe durch 5G vernetzter und flexibler werden. 5G kann somit den Übergang zur Indust-

rie 4.0, der vierten industriellen Revolution, vereinfachen und intensivieren. Teilweise werden Routinearbeiten wegfallen, die freiwerdenden Ressourcen können auf die Organisation der Arbeit konzentriert werden. Die Geschichte der Industrialisierung zeigt: Das Arbeitsvolumen insgesamt dürfte steigen. Zur Wahrheit gehört aber auch: In bestimmten Umfeldern werden durch verstärkte Automatisierung bestimmte Arbeiten entfallen, Berufsbilder werden sich verändern. Mit einer durch 5G beschleunigten Digitalisierung gewinnen lebensbegleitendes Lernen und Weiterbildung daher an Bedeutung, für Absolvent\_innen klassischer Lehrberufe ebenso wie für Akademiker\_innen. Arbeitnehmer\_innen und Unternehmen sollte ermöglicht werden, Schulungs- und Qualifizierungsformate in Anspruch zu nehmen, die das Innovationspotenzial ihrer Branche und auch verwandter Wirtschaftszweige fördern. Diese Anregung wird regelmäßig unter anderem aus den Reihen der Zuse-Gemeinschaft, dem Verbund gemeinnütziger, privatwirtschaftlich organisierter Forschungsinstitute, vorgetragen. Erste Reformschritte hat die Große Koalition mit dem „Arbeit von morgen“ Gesetz auf den Weg gebracht.

## DER 5G-AUSBAU ALS POLITISCHE AUFGABE

5G ist auf verschiedenen Ebenen zum Politikum geworden. Der notwendige Ausbau des Mobilfunknetzes hat die Schwächen europäischer Industriestrukturen offengelegt, da es zum chinesischen Ausrüster Huawei, den die USA und Großbritannien vom 5G-Ausbau in ihren Ländern verbannen wollen, wenige Alternativen gibt. In der Debatte wird auch ein „Test für die digitale Souveränität Europas“ gesehen. Deutlich ist geworden: In der von den liberalen Gedanken des Binnenmarktes geprägten Europäischen Union fehlt es an einer Strategie zum Umgang mit ausländischen Technologieanbietern. Deutschland hat sich in der Frage nicht festgelegt, sich aber beim Ausbau ehrgeizige Ziele gesetzt. Im Corona-Konjunkturprogramm hat sich die Große Koalition auf ein „flächendeckendes 5G-Netz“ bis 2025 verpflichtet (Bundesministerium der Finanzen 2020). Äußerungen von Bundesforschungsministerin Anja Karliczek, nicht an jeder Milchkanne sei 5G nötig, hatten zuvor für Enttäuschung gesorgt (Reuters Nachrichtenagentur 2018). Die Frage, wie stark wie schnell 5G auch in den ländlichen Raum vordringt, bleibt vordringlich. Denn als Wirtschaftsfaktor ist die Bedeutung von 5G nicht hoch genug einzuschätzen. Angekündigt hat die Koalition nun auch die Schaffung einer Mobilfunkinfrastrukturgesellschaft.

In Deutschland ist das Vorhaben des 5G-Ausbaus in zwei unterschiedliche Bereiche aufgeteilt: Den Ausbau des öffentlichen Mobilfunknetzes und den Aufbau privater Campus-Netze.

Im Juni 2019 wurden die öffentlichen 5G-Frequenzen an die Unternehmen Deutsche Telekom, Vodafone, Telefónica und 1&1 Drillisch versteigert (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2019). Dabei ist die Versorgung ländlicher Regionen mit 5G kein lukratives Geschäft. Es ist Aufgabe der Politik, den tatsächlichen Netzausbau zu verfolgen und die gesteckten Ziele einzuhalten. Ein warnendes Beispiel ist der Breitbandausbau. Hier wurden ebenfalls mehrere Milliarden Euro Förderung zugesichert, die zu großen Teilen jedoch nie ausgegeben wurden. Das Ergebnis ist ein ständiges, jahrelanges Verschieben der Ziele beim Breitbandausbau, in welchem Deutschland im europäischen

Vergleich heute noch hinterherhinkt (Bundesnetzagentur 2019). Einen ähnlichen Zustand gilt es beim 5G-Ausbau unbedingt zu vermeiden.

Einen eigenen Weg geht Deutschland mit dem Vorhalten von 5G-Frequenzen für die Industrie. Unternehmen und andere Organisationen können so unabhängig von einem Mobilfunkanbieter auf ihrem eigenen Gelände ein eigenes Netz betreiben (Bundesnetzagentur 2020). Dieser „Sonderweg“ bietet dem Standort Deutschland die Chance, Vorreiter bei der Entwicklung neuer, industrieller 5G-Anwendungen zu werden und so zahlreiche hochqualifizierte Arbeitsplätze zu schaffen. Zudem verspricht der Einsatz von 5G in der Industrie hohe Produktivitätssteigerungen. Doch das Know-how zur Nutzung des Mobilfunks in der Industrie muss erst aufgebaut werden. Eine Aufgabe für die Politik wird sein, den Austausch zwischen Betrieben und Mobilfunkexperten zu fördern und so die Entwicklung neuartiger Lösungen zu beschleunigen. Nordrhein-Westfalen hat zu diesem Zweck das Competence Center 5G.NRW ins Leben gerufen, in dem Wissenschaft und Unternehmen gemeinsam an innovativen 5G-Anwendungen arbeiten. Ziel ist es, Nordrhein-Westfalen zum Leitmarkt für 5G zu entwickeln. Das gemeinnützige Forschungsinstitut FIR e.V. bietet mit seiner 5G Modellfabrik gerade Mittelständlern die Möglichkeit, den Nutzen von 5G für ihre Unternehmen zu testen. Aufgrund des nicht-profitorientierten Ansatzes bietet die gemeinnützige Forschung hier den großen Vorteil der Unabhängigkeit. Was für das FIR im nationalen Kontext gilt, leistet das Magdeburger Forschungsinstitut ifak im globalen Zusammenhang.

## AUSBLICK

Der Fortschritt in der Mobilfunktechnologie ist rasant. Einige Länder und Unternehmen haben bereits mit der Entwicklung der nächsten Mobilfunk-Generation, 6G, begonnen (Zhang et al. 2020: 40). Mit dem Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) am Endgerät sollen zudem intelligente Netzwerke entstehen, was zusätzliche Anwendungsfälle generiert (Giordani et al. 2020: 55). Es wird erwartet, dass die Internationale Fernmeldeunion 2021 mit der Definition von Standards zu 6G beginnt. Aufgrund immer kürzerer Entwicklungszyklen mit jeder Generation wird mit der Einführung des neuen Standards zwischen 2028 und 2030 gerechnet (Samsung Research 2020).

5G und 6G werden einen wesentlichen Einfluss auf die Zukunft des industriellen Gewerbes haben. Für Deutschland und Europa ist es daher essentiell, diese Zukunftstechnologien zu fördern und ein zügiges Ausrollen zu ermöglichen.

### Autor\_innen

**Murtaza Abbas** ist Projektmanager im Bereich Informationsmanagement des FIR an der RWTH Aachen.

**Leonhard Henke** ist Projektmanager im Bereich Informationsmanagement des FIR an der RWTH Aachen.

**Lukas Stratmann** ist Projektmanager im Bereich Business Transformation des FIR an der RWTH Aachen.

**Christine Leidinger** ist Projektmanagerin am Center Connected Industry und verantwortet dort die 5G-Aktivitäten.

**Alexander Knebel** ist Sprecher der Zuse-Gemeinschaft, dem Verbund gemeinnütziger, privatwirtschaftlich organisierter Industrieforschungseinrichtungen.

**Vasco Seelmann** leitet die Fachgruppe Informationstechnologiemanagement am FIR an der RWTH Aachen und koordiniert die 5G-Aktivitäten des Instituts.

### Literaturverzeichnis

Abu-Rgheff, Mosa Ali 2020: 5G Physical Layer Technologies. Hoboken, New Jersey, Chichester, West Sussex, England: IEEE Press; Wiley.

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2019: Frequenzaktion beendet. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/Frequenzauktion-faq.html>.

Bundesministerium der Finanzen 3.6.2020: Eckpunkte des Konjunkturprogramms: Corona-Folgen bekämpfen, Wohlstand sichern, Zukunftsfähigkeit stärken. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunktepapier-corona-folgen-bekaempfen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunktepapier-corona-folgen-bekaempfen.pdf?__blob=publicationFile&v=6).

Bundesnetzagentur 2019: Antragsverfahren für lokale 5G-Campus-Netze gestartet. Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/20191121\\_lokaleFreq.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/20191121_lokaleFreq.html).

Bundesnetzagentur 2020: Mobiles Breitband. Versorgung der Bevölkerung mit funkgestützten Breitbandanschlüssen. Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html).

Giordani, Marco; Polese, Michele; Mezzavilla, Marco; Rangan, Sundeep; Zorzi, Michele 2020: Toward 6G Networks: Use Cases and Technologies, in: *IEEE Commun. Mag.* 58, 2020 (3), S. 55–61.

Hassan, Najmul; Yau, Kok-Lim Alvin; Wu, Celimuge 2019: Edge Computing in 5G: A Review, in: *IEEE Access* 7, S. 127.276–127.289.

Liyanage, Madhusanka; Ahmad, Ijaz; Buy Abro, Ahmed; Gurtov, Andrei; Ylianttila, Mika 2018: Comprehensive Guide to 5G Security. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

McKinsey & Company 2020: The 5G Era. New Horizons for Advanced Electronics and Industrial Companies. Online verfügbar unter <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/the-5g-era-new-horizons-for-advanced-electronics-and-industrial-companies>.

Reuters Nachrichtenagentur 2018: „5G ist nicht an jeder Milchkanne notwendig“, in: *WirtschaftsWoche Online (wiwo.de)*, 21.11.2018. Online verfügbar unter <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/forschungsministerin-karliczek-5g-ist-nicht-an-jeder-milchkanne-notwendig/23663688.html>.

Samsung Research 2020: 6G. The Next Hyper-Connected Experience for All. Online verfügbar unter <https://cdn.codeground.org/nsr/downloads/researchareas/6G%20Vision.pdf>.

Statista; IDC 2020: Colume of Data/Information Created Worldwide from 2010 to 2024, hrsg. v. Statista und IDC. Online verfügbar unter <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>.

Zhang, Jian-hua; Tang, Pan; Yu, Li; Jiang, Tao; Tian, Lei 2020: Channel Measurements and Models for 6G: Current Status and Future Outlook, in: *Front Inform Technol Electron Eng* 21, 2020 (1), S. 39–61.

Zhang, Shunliang 2019: An Overview of Network Slicing for 5G (3).

### Impressum

© 2020

**Friedrich-Ebert-Stiftung**

Herausgeberin: Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik

Godesberger Allee 149, 53175 Bonn

Fax 0228 883 9205, [www.fes.de/wiso](http://www.fes.de/wiso)

Für diese Publikation ist in der FES verantwortlich:

Dr. Robert Philipps, Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik  
Bestellungen/Kontakt: [wiso-news@fes.de](mailto:wiso-news@fes.de)

Die in dieser Publikation zum Ausdruck gebrachten Ansichten sind nicht notwendigerweise die der Friedrich-Ebert-Stiftung.

Eine gewerbliche Nutzung der von der FES herausgegebenen Medien ist ohne schriftliche Zustimmung durch die FES nicht gestattet.

**ISBN: 3-96250-699-5**