



acatech IMPULS

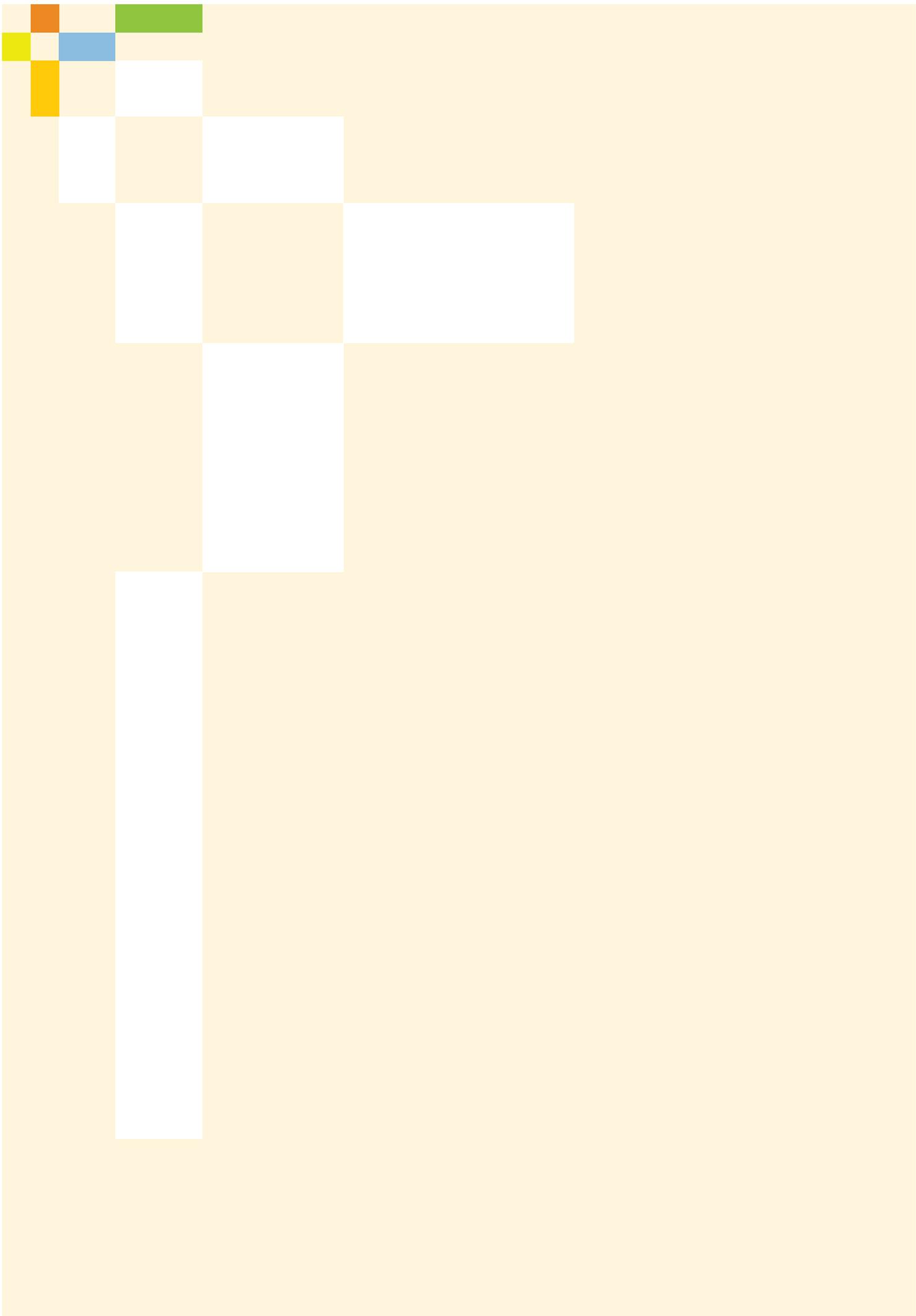
5G in der Industrie

Wege in die Technologieführerschaft
in Produktentwicklung und Produktion

Jürgen Fleischer, Albert Albers, Reiner Anderl,
Jan Aurich (Hrsg.)

 acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



acatech IMPULS

5G in der Industrie

Wege in die Technologieführerschaft
in Produktentwicklung und Produktion

Jürgen Fleischer, Albert Albers, Reiner Anderl,
Jan Aurich (Hrsg.)



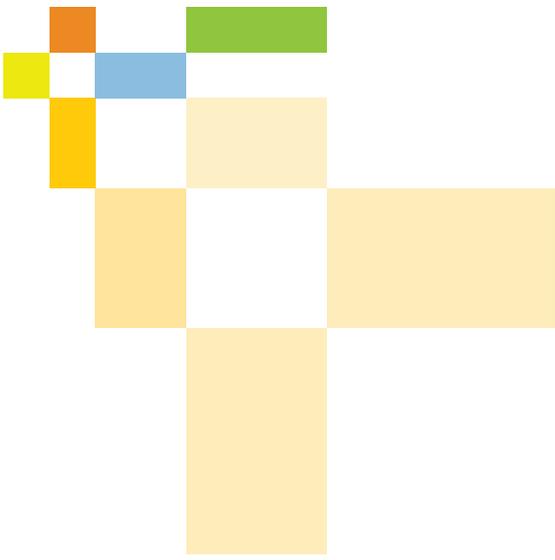
Die Reihe acatech IMPULS

In dieser Reihe erscheinen Debattenbeiträge und Denkanstöße zu technikk-
wissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Sie erörtern
Handlungsoptionen, richten sich an Politik, Wissenschaft und Wirtschaft
sowie die interessierte Öffentlichkeit. Impulse liegen in der inhaltlichen
Verantwortung der jeweiligen Autorinnen und Autoren.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter
www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| Zusammenfassung | 5 |
| Projekt | 7 |
| 1 Problemstellung | 8 |
| 1.1 Motivation und Zielsetzung | 8 |
| 1.2 Beschreibung des methodischen Vorgehens | 9 |
| 2 Leistungsmerkmale von 5G im Kontext von Produktentwicklung und Produktion | 11 |
| 3 Ergebnisse | 14 |
| 3.1 Infrastrukturanbieter, Serviceanbieter und Anwender | 14 |
| 3.2 Unternehmensübergreifende Potenziale und Bedarfe | 17 |
| 3.3 5G für Produkte, Produktentwicklung und Produktion | 19 |
| 3.4 Hemmnisse und Hürden zur Integration von 5G | 21 |
| 3.5 Impulse zur Überwindung der Hemmnisse und Hürden | 23 |
| 4 Handlungsfelder | 26 |
| 5 Ausblick | 29 |
| Literatur | 31 |



Zusammenfassung

Der neue Mobilfunkstandard der fünften Generation (5G) zählt zu den wichtigsten Technologien der Digitalisierung. 5G hat das Potenzial, Produkte selbst, aber auch die Art und Weise, wie sie entwickelt und produziert werden, nachhaltig zu verändern. Zum einen werden die Produkte interaktiver und lassen eine direkte Kommunikation zwischen Endkundinnen und -kunden und Herstellern zu. Zum anderen rücken komplette Wertschöpfungsnetzwerke näher zusammen: Produzenten können beispielsweise genau nachverfolgen, wann Vorprodukte vom Band gehen, und erhalten präzise Informationen zum Status von Lieferungen. Für Industrie 4.0-Anwendungen stellt 5G einen zentralen Enabler dar, ohne dessen Einsatz sich die Möglichkeiten von Industrie 4.0 nicht voll ausschöpfen lassen.

Im Hinblick auf Latenzzeiten, die Übertragungsraten sowie die Gerätedichte zeichnet sich 5G durch deutlich verbesserte **Leistungsmerkmale** im Vergleich zu anderen Funktechnologien aus. Zudem verspricht 5G eine höhere Zuverlässigkeit und mehr Sicherheit. Darüber hinaus lassen sich neue Anwendungen, wie etwa die präzise Lokalisierung von Objekten im Innen- und Außenbereich, umsetzen, wodurch die intelligente Digitalisierung des Wertstroms ermöglicht wird. Beispiele, die durch die Anbindung mittels 5G realisierbar werden, sind unter anderem kabellose Steuerungslösungen, mobile Maschinenterminals sowie die Auslagerung von Rechenleistung. Dabei muss nicht immer eine neue Maschine angeschafft werden; durch **Nachrüstung (Retrofitting)** können bestehende Anlagen meist um neue Funktionalitäten erweitert werden.

5G bietet für beinahe alle Wirtschaftszweige Potenziale: Die Logistik, aber auch die Landwirtschaft, die Veranstaltungsbranche und die Industrie profitieren durch den Einsatz von 5G. Genauso breit gefächert sind die Vorteile für Nutzerinnen und Nutzer: Prozesse können leichter digitalisiert und flexibler gestaltet werden, das Arbeiten wird mobiler und durch den Einsatz von augmentierter und virtueller Realität effizienter. 5G vereinfacht die Vernetzung von Geräten und Maschinen und damit die Erfassung von Daten sowie deren Auswertung mithilfe von Künstlicher Intelligenz (KI). Die bei der Einführung von 5G beteiligten **Akteure** lassen sich in drei Kategorien einteilen: Infrastrukturanbieter, Serviceanbieter und Anwender. Aufgrund der komplexen Anforderungen der Technologie ist eine weitreichende Implementierung nur dann umsetzbar, wenn die Akteure aus den drei Kategorien miteinander kooperieren.

Die Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure bietet wiederum auch allen Beteiligten selbst Vorteile. **Rückkopplungsprozesse** werden einfacher realisierbar, sodass bestehende Informationssilos aufgebrochen und Synergieeffekte zwischen den beteiligten Unternehmen ermöglicht werden. Dies begünstigt die Entstehung unternehmensübergreifender europaweiter **Datenräume**. Damit trägt 5G auch zur digitalen Souveränität Deutschlands bei. Durch die echtzeitnahe Vernetzung kann Rechenleistung ausgelagert werden, und **Cloud Computing** gewinnt an Bedeutung. In diesem Zusammenhang wird der Bedarf nach **Hochleistungsrechenzentren** zunehmen. Aber auch innerhalb eines Unternehmens lassen sich **Synergien** erzielen, da 5G in der Lage ist, verschiedene bestehende Technologien gleichzeitig zu ersetzen. Darüber hinaus eröffnen sich zahlreiche Möglichkeiten für neue **Geschäftsmodelle**, insbesondere im Bereich Dienstleistungen rund um 5G, wie etwa im Aufbau und in der Wartung von 5G-Firmennetzen (Campusnetze).

Der Einsatz von 5G wird deutliche Auswirkungen auf die Arbeitswelt haben. **Künstliche Intelligenz** und **Augmented Reality** werden in produzierenden Unternehmen zum Alltag gehören. Gleichzeitig werden Rechenleistung und Datenverfügbarkeit standortunabhängig, was eine reibungslosere Zusammenarbeit über mehrere Standorte hinweg sowie mobiles Arbeiten in der Industrie ermöglicht.

Wenngleich die grundlegenden Vorteile und Möglichkeiten von 5G weitreichend bekannt sind, scheuen sich viele – insbesondere kleine und mittelständische – Unternehmen, die Technologie einzusetzen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Einführung von 5G derzeit noch mit hohen **Initialisierungskosten** verbunden ist, die sich nur amortisieren, wenn die unternehmensspezifischen Potenziale tatsächlich genutzt werden. Allerdings fehlt es den Unternehmen (noch) an **Wissen** über ihre spezifischen Möglichkeiten sowie die individuellen Hemmnisse bei der Einführung der Technologie. Der aus einer 5G-Implementierung erwachsende Nutzen kann daher den hohen (Initial-)Kosten nicht adäquat gegenübergestellt werden. Deshalb schreitet die Einführung von 5G aktuell nur langsam voran.

Dabei sollte die Implementierung von 5G möglichst rasch vorangetrieben werden, denn eine schleppende Einführung birgt das Risiko, dass Unternehmen bei der Digitalisierung abgehängt werden und international an Wettbewerbsfähigkeit verlieren. Als zentraler Teil der Kommunikationsinfrastruktur gefährdet dies nicht nur die zukünftige Wertschöpfung einzelner Unternehmen, sondern bedroht auch die Digitale Souveränität des gesamten Wirtschaftsstandorts Deutschland. Um Unternehmen in die Lage



zu versetzen, ihre unternehmensspezifischen Potenziale identifizieren zu können, bedarf es einer tiefgreifenden Untersuchung der vier im vorliegenden IMPULS identifizierten Themenbereiche.

Themenbereich 1: Die **industrielle Leistungsfähigkeit der 5G-Technologie** muss noch genauer untersucht werden. Es muss sichergestellt werden, dass die Leistungsparameter auch unter realen Bedingungen im industriellen Alltag eingehalten werden. Aufgrund der Kritikalität, die die 5G-Infrastruktur in zahlreichen Anwendungen haben wird, ist es essenziell, dass sowohl Zuverlässigkeit als auch Schutz vor Angriffen gewährleistet werden können.

Themenbereich 2: Neue **Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsszenarien** müssen strukturiert analysiert werden. Das gilt insbesondere für das Zusammenspiel aus Infrastrukturanbietern, Serviceanbietern und Anwendern. In diesem Rahmen kann auch die Frage erörtert werden, welche Voraussetzungen noch erfüllt werden müssen, damit ein florierendes digitales Ökosystem rund um 5G entstehen kann, und wie entsprechende Lücken geschlossen werden können.

Im Themenbereich 3 **Qualifizierung und Arbeitswelt** können Beispiele aus der industriellen Anwendung die notwendigen Anpassungen von Arbeitsorganisation und Arbeitskultur transparenter machen. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist die Qualifikation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Dies betrifft zum einen die Anwenderseite: Denn nur wenn die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein umfassendes Verständnis für die Technologie haben, sind sie in der Lage, Anwendungen im eigenen Unternehmen zu identifizieren. Zum anderen ist ein umfassendes Know-how auch für die Anbieter zentral, damit Dienstleistungen auf die speziellen Bedarfe verschiedener Anwender zugeschnitten und neue Geschäftsmodelle schnell adaptiert werden können.

Die zentralen Fragen im Themenbereich 4 **Regulation und Infrastruktur** betreffen unter anderem die Haftung und die Datensouveränität. Hierbei ist es Aufgabe der Politik – zusammen mit Wissenschaft und Wirtschaft –, diese Fragen zu klären und passende Rahmenbedingungen zu schaffen, aber auch eine (internationale) Standardisierung bei der Vergabe von 5G-Lizenzen voranzutreiben. Gleichmaßen wichtig ist der Aufbau der notwendigen Infrastruktur. Es muss sowohl das kabelgebundene Breitbandinternet für die Anbindung von Campusnetzen als auch das öffentliche 5G-Netz flächendeckend ausgebaut werden. Darüber hinaus ist eine funktionierende und sichere Cloud-Infrastruktur elementar, um das volle Potenzial von 5G ausschöpfen zu können. Damit Deutschland hier nicht in die Abhängigkeit, in einen „Lock-in“, rutscht, ist es wichtig, eine europäische Alternative zu den Angeboten der großen Cloud-Anbieter (Hyperscaler) zu schaffen.

Diese Fragestellungen können am besten anhand von Beispielen aus der praxisnahen Anwendung analysiert werden. Von Unternehmen konzipierte und mit wissenschaftlicher Begleitung entwickelte **Anwendungsfälle (Use Cases)** veranschaulichen die vielfältigen Potenziale und dienen als Exempel, wie Hemmnisse bei der Implementierung der 5G-Technologie überwunden werden können. Davon können Anwender lernen und Möglichkeiten im sowie Hürden für das eigene Unternehmen leichter identifizieren. So können **Leuchtturmprojekte** entstehen, die die Vorteile der 5G-Technologie für andere Unternehmen deutlich machen und eine Sogwirkung (Pull-in-Effekt) auf weitere Unternehmen entfalten. Auf diese Weise können Use Cases einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, den flächendeckenden Einsatz von 5G in Unternehmen anzustoßen. Dies trägt dazu bei, dass Deutschland im Bereich Industrie 4.0 führend bleibt und die Zukunft des Wirtschaftsstandorts sichert.

Projekt

Projektleitung

- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer, Karlsruher Institut für Technologie
- Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers, Karlsruher Institut für Technologie
- Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl, Technische Universität Darmstadt
- Prof. Dr.-Ing. Jan Aurich, Technische Universität Kaiserslautern

Autorinnen und Autoren

- Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers, Karlsruher Institut für Technologie
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer, Karlsruher Institut für Technologie
- Philipp Gönninger, Karlsruher Institut für Technologie
- Edgar Mühlbeier, Karlsruher Institut für Technologie

- Tobias Schlagenhaut, Karlsruher Institut für Technologie
- Moritz Wäschle, Karlsruher Institut für Technologie

- Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl, Technische Universität Darmstadt
- Tim Giese, Technische Universität Darmstadt
- Yübo Wang, Technische Universität Darmstadt

- Prof. Dr.-Ing. Jan Aurich, Technische Universität Kaiserslautern
- Moritz Glatt, Technische Universität Kaiserslautern

- Simon Litsche, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Steffen Steglich, acatech Geschäftsstelle

Projektkoordination

- Simon Litsche, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Steffen Steglich, acatech Geschäftsstelle

Projektlaufzeit

02/2021–12/2021



1 Problemstellung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Der als Schlüsseltechnologie bezeichnete Mobilfunkstandard der fünften Generation (5G) bietet gegenüber anderen Technologien der drahtlosen Kommunikation eine deutlich verbesserte Leistung bezüglich Latenz, Datenrate oder Anzahl nutzbarer Geräte pro Funkzelle. Aufgrund dieser Eigenschaften wird 5G vielfach das Potenzial zugeschrieben, ganze Industriezweige revolutionieren zu können. Die genannten Eigenschaften sind seit der ersten Standardisierung von 5G im Jahr 2018 bekannt. Dennoch ist – abgesehen von Mobiltelefonen – bislang nur eine zögerliche Marktdurchdringung von 5G-Anwendungen zu beobachten.

Der Einfluss der 5G-Technologie wird zukünftig von der Produktentwicklung und Produktion über die Produkte selbst bis hin zur Endkundin beziehungsweise zum Endkunden reichen und starke gesellschaftliche Auswirkungen mit sich bringen. Um im globalen Wettbewerb bestehen zu können und nicht nur als Technologienutzer, sondern auch als Mitgestalter und Anbieter von Technologien und Services auf Basis von 5G zu agieren, müssen die Unternehmen in Deutschland über die Potenziale von 5G informiert und hinsichtlich der Anwendung gezielt geschult werden. Dies ermöglicht es, die Vorteile der Technologie frühzeitig zu erkennen sowie zielgerichtet einzusetzen. Hürden und Hemmnisse bei der Nutzung der Potenziale müssen identifiziert und Impulse zu deren Überwindung gesetzt werden. Darüber hinaus müssen Maßnahmen zur Förderung der Einführung der 5G-Technologie ergriffen und Strategien zum infrastrukturellen Ausbau entwickelt werden, damit die Grundlagen für die Mitgestaltung durch alle Stakeholder gegeben sind. Dies ist ein wichtiger Schritt, um die Digitale Souveränität des deutschen Industriestandorts zu sichern.

Der vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) veröffentlichte Leitfaden „5G im Maschinen- und Anlagenbau“ beschreibt die technischen Potenziale der 5G-Technologie, vergleicht diese mit konkurrierenden Kommunikationsprotokollen wie WiFi 6 und gibt Unternehmen damit ein Werkzeug an die Hand, um die technischen Spezifikationen von 5G abschätzen zu können.¹ Menning, Hajek und Münder beschreiben in ihrem White Paper die Nutzung von 5G in der industriellen Produktion

und fokussieren sich dabei auf Anwendungsfälle (Use Cases), die mithilfe von Industrie 4.0-Konzepten und 5G umgesetzt werden können. Die genannten Beispiele sind hier autonom agierende, selbstfahrende Transportsysteme sowie 5G im Bereich von Augmented und Virtual Reality zur Unterstützung von Arbeiterinnen und Arbeiter.² Im Kontext der Stadtplanung beschreiben Colman-Meixner et al. ebenfalls verschiedene 5G Use Cases.³ Hierbei liegt der Fokus auf den zukünftigen Anforderungen der urbanen Bevölkerung und wie diese durch eine entsprechende städtische 5G-Infrastruktur bedient werden können. Eine zentrale Rolle für mögliche Anwendungen spielen hierbei neutrale Hosts. Diese fungieren als Serviceanbieter, beispielsweise indem sie die Einrichtung und den Betrieb der 5G-Infrastruktur organisieren. Schneider et al. beschreiben in ihrer Arbeit 5G-Konzepte im industriellen Kontext innerhalb einer sogenannten intelligenten Fabrik (Smart Factory). Sie legen dar, wie die Produktion in einer Smart Factory durch die intelligente Vernetzung von Anlagen flexibler und effektiver gestaltet werden kann. In ihrem Ausblick verweisen sie auf das 5GTANGO-Projekt, bei dem die Konzepte validiert werden sollen.⁴

Die vorgestellten Arbeiten bieten erste Einblicke in die Potenziale von 5G und entwickeln teilweise konkrete Use Cases. Der Fokus der meisten Arbeiten liegt entweder auf der Darstellung und Abgrenzung der technischen Spezifikationen von 5G im Vergleich zu konkurrierenden Kommunikationsarchitekturen oder auf der Beschreibung möglicher 5G Use Cases. Hierbei lässt sich im Kontext der Produktion eine Verbindung zum Begriff Industrie 4.0 feststellen. In der aktuellen Literatur fehlt jedoch eine ganzheitliche Betrachtung der Hemmnisse, Hürden und Potenziale von 5G für Unternehmen sowie ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Die Literatur zeigt zwar Use Cases auf, die daraus hervorgehenden Potenziale für Unternehmen sind allerdings lediglich auf abstrakter Ebene beschrieben. Unbeachtet bleiben weiterhin die auftretenden Hemmnisse und Hürden, die für eine erfolgreiche Implementierung von 5G überwunden werden müssen. Dieser IMPULS schließt die Lücke, indem Anwendungspotenziale identifiziert werden, die sich aus den genannten Leistungsmerkmalen für Produktentwicklung und Produktion ergeben, und Hemmnisse berücksichtigt werden, die einer breiteren Anwendung im Wege stehen. Die Produktentwicklung muss alle Lebenszyklusphasen des Produkts berücksichtigen. Eine ganzheitliche Sicht auf die Produktentwicklung wird mit der interdisziplinären, unternehmensweiten Zusammenarbeit verschiedener Fachleute in den Bereichen Produktentstehung, -nutzung und -verwertung

1 | Vgl. VDMA 2020.

2 | Vgl. Menning et al. 2019.

3 | Vgl. Colman-Meixner et al. 2019.

4 | Vgl. Schneider et al. 2019.

ermöglicht. Die Produktion ist die zielgerichtete Kombination von materiellen und immateriellen Einsatzgütern und deren Transformation in Produkte. Klassischerweise wird sie in die operativen Bestandteile Fertigung und Montage unterteilt, wobei ersterer das Herstellen von Werkstücken geometrisch bestimmter Gestalt beinhaltet, während letzterer alle Vorgänge umfasst, die dem Zusammenbau von geometrischen Körpern dienen.

Ziel dieses IMPULS ist es, die wesentlichen Fragestellungen für die erfolgreiche Einführung von 5G in der Produktentwicklung und Produktion auszuarbeiten und den weiteren Forschungsbedarf zu identifizieren. Gleichzeitig werden Potenziale aufgezeigt, die sich aus den technischen Spezifikationen des 5G-Kommunikationsstandards für die Produktentwicklung und Produktion ergeben. Dafür werden Kategorien definiert, mit deren Hilfe die Einordnung des aktuellen Umsetzungsgrads sowie die Identifikation von relevanten Handlungssträngen erfolgen können. Der IMPULS identifiziert Forschungslücken bei der Umsetzung von 5G in der Produktentwicklung und Produktion und stellt Handlungsoptionen für Ansätze vor, die diese Forschungslücken zeitnah beseitigen können.

1.2 Beschreibung des methodischen Vorgehens

Bevor in Kapitel 3 die Ergebnisse des IMPULS dargestellt und erläutert werden, wird in diesem Abschnitt zunächst auf die methodische Vorgehensweise eingegangen. Kapitel 2 beschreibt die technischen Merkmale der 5G-Technologie. In Kapitel 4 werden schließlich Handlungsfelder für eine erfolgreiche Integration von 5G in die deutsche Industrie vorgestellt. Kapitel 5 bietet einen Ausblick auf mögliche weitere Schritte, um die Implementierung von 5G weiter voranzutreiben.

Um einen umfassenden Überblick zum Stand der Umsetzung von 5G in Produktentwicklung und Produktion in Deutschland zu erhalten, wurden Expertinnen und Experten aus verschiedenen Wirtschaftszweigen befragt. Dazu gehören Infrastrukturanbieter von Kommunikationstechnologien, Serviceanbieter und die Automobilbranche, aber auch Gewerkschaften, öffentliche Institutionen und Start-ups. Ziel der Interviews mit den Expertinnen und Experten ist es, neben dem aktuellen Stand der Umsetzung vor allem die Potenziale des neuen Kommunikationsstandards für die Industrie aufzuzeigen,

Hemmnisse zu ermitteln und Handlungsfelder abzuleiten. Dazu werden die Kernaussagen aus den Interviews herausgearbeitet und kritische Fragestellungen identifiziert. Die erarbeiteten Handlungsstränge werden fünf Kategorien zugeordnet. So ergibt sich ein umfassendes Bild des gegenwärtigen Entwicklungs- und Umsetzungsstands der 5G-Technologie und -Services in Produkten sowie der Produktentwicklung und Produktion. Die Kategorien werden in Kapitel 3 genauer erläutert.

Die Ausarbeitung der Kategorien erfolgte in einem interdisziplinären Team, das in regelmäßigen Abstimmungsrunden einen Fragebogen mit Leitfragen entworfen hat. Auf dieser Basis wurden halbstrukturierte Interviews mit den Expertinnen und Experten geführt. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die Kategorien und Methoden gegeben.

Um die Potenziale der 5G-Technologie richtig bewerten zu können, ist es notwendig, zunächst die beteiligten Branchen und Unternehmen zu identifizieren. Daher wird in der ersten Kategorie aus den Interviews eine strukturelle Übersicht erarbeitet, und die beteiligten Unternehmen werden in die drei Gruppen Infrastrukturanbieter, Serviceanbieter und Anwender eingeteilt.

Die zweite Kategorie beschreibt unternehmensübergreifende Bedarfe und Potenziale von 5G. Hier werden Potenziale dargestellt, die sich innerhalb des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks entwickeln und die nicht von einzelnen Unternehmen realisiert werden können. Darüber hinaus werden spezifische Bedarfe von Unternehmensnetzwerken analysiert. Große Potenziale liegen insbesondere in der Rückführung von Informationen vom Produkt über die Produktion bis hin zur Produktentwicklung innerhalb von Unternehmensnetzwerken. Viel Raum für zusätzliche Wertschöpfung besteht beispielsweise im Informationskreislauf, indem Informationen von Lieferanten an Kundinnen und Kunden weitergegeben und von diesen wieder an Lieferanten zurückgespielt werden.

Die technischen Vorteile der 5G-Technologie machen den neuen Kommunikationsstandard – anders als die bisher bestehenden Mobilfunktechnologien – auch für die industrielle Anwendung interessant. Aus diesem Grund wird in der dritten Kategorie das Potenzial für Produktentwicklung, Produktion und Produkte näher betrachtet. Des Weiteren werden die Potenziale, die durch die Vernetzung einzelner Bereiche eines Unternehmens entstehen, sowie der Einfluss auf die Arbeitsweise der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in industriellen Branchen dargestellt.



Den Potenzialen der 5G-Technologie stehen Hemmnisse und Hürden gegenüber, die für eine erfolgreiche 5G-Implementierung überwunden werden müssen. Die Antworten der Expertinnen und Experten zu diesem Themenfeld werden der vierten Kategorie zugeordnet. Vor dem Hintergrund der internationalen Konkurrenz und der mittelständisch geprägten Unternehmenslandschaft in Deutschland ist diese Problematik von besonderer Bedeutung.

In der letzten Kategorie werden die Aussagen der Fachleute hinsichtlich möglicher Brücken zur Überwindung der identifizierten

Hemmnisse und Hürden zusammengefasst. Wichtige Aspekte hierbei sind die Schaffung passender Rahmenbedingungen sowie die Entwicklung realitätsnaher Use Cases. Diese können beispielsweise in Workshops vorgestellt werden und auf diese Weise Unternehmen die Potenziale von 5G aufzeigen. Dabei hilft auch der Aufbau eines Kompetenznetzwerks. Qualifizierungsmaßnahmen für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ermöglichen es diesen, die Potenziale von 5G-Lösungen im eigenen Unternehmen zu erkennen und zu bewerten.

2 Leistungsmerkmale von 5G im Kontext von Produktentwicklung und Produktion

Die in diesem IMPULS thematisierte 5G-Technologie beschreibt die industrielle Anwendung des 5G-Mobilfunkstandards. Dessen Mindestanforderungen respektive Zielgrößen wurden erstmals durch den Standard International Mobile Telecommunications 2020 (IMT-2020)⁵ seitens der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) definiert. Die Umsetzung dieser Anforderungen wurde durch das 3rd Generation Partnership Project (3GPP) erstmals 2018 im Rahmen des 3GPP Release 15 adressiert (Phase 1). Hieran schließt sich momentan die zweite Entwicklungsstufe (Release 16) an. Hervorzuheben ist der hohe netzwerkseitige Standardisierungsgrad von 5G. Das 3GPP ist ein Gemeinschaftsprojekt, das Standardisierungsorganisationen weltweit zusammenführt, um global akzeptierte Spezifikationen für mobile Netze zu erstellen. Ursprünglich gegründet, um derartige Spezifikationen für die dritte Generation (3G) von Mobilsystemen festzulegen, hat das 3GPP seine Arbeit für nachfolgende Generationen von mobilen Netzwerken fortgesetzt, einschließlich der hier betrachteten fünften Generation (5G).

5G ist der Nachfolger des 4G- oder Long-Term-Evolution(LTE)-Advanced-Standards. Bei industriellen Anwendungen bietet der 5G-Standard nach den Minimalanforderungen des IMT-2020-Standards im Vergleich zu seinen Vorgängern drei zentrale Vorteile (siehe Abbildung 1):

- eine höhere Bandbreite von bis zu 20 Gigabit pro Sekunde (enhanced Mobile Broadband, eMBB)
- eine höhere Gerätedichte von bis zu 10^6 Geräten pro Quadratkilometer (massive Machine Type Communication, mMTC)
- niedrigere Latenzen von bis zu 1 Millisekunde in Verbindung mit einer hohen Verfügbarkeit (Ultra-Reliable Low Latency Communication, URLLC)⁶

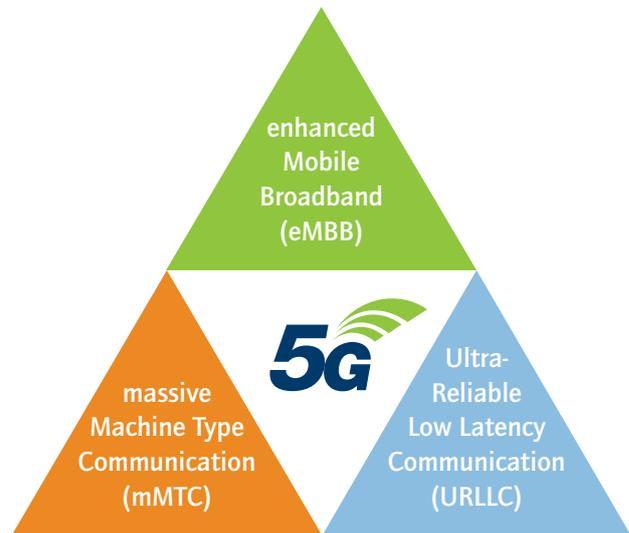


Abbildung 1: Die drei primären Merkmale von 5G (Quelle: eigene Darstellung unter Verwendung eines Logos von 3GPP)

„In den Medien werden die drei berühmten Ecken des Dreiecks zu den primären Merkmalen von 5G immer mit einem ‚und‘ verknüpft. Wenn man aber ein Merkmal optimiert, geht es in gewissem Grad zulasten der anderen Merkmale.“⁷

Enhanced Mobile Broadband (eMBB) ermöglicht beispielsweise die schnelle Übertragung großer Datenmengen, wie sie etwa bei bildbasierten Prozessüberwachungen oder in Augmented-Reality-Anwendungen anfallen. Durch massive Machine Type Communication (mMTC) kann eine große Anzahl an Geräten in einem industriellen Netzwerk betrieben werden. Beispielsweise können so zahlreiche Sensoren und Aktoren in der Industrie 4.0 individuell angesteuert oder Objekte in logistischen Systemen leichter nachverfolgt werden. Das Leistungsmerkmal Ultra-Reliable Low Latency Communication (URLLC) bildet die Grundlage für latenzkritische, kabellose Anwendungen. Dies eröffnet beispielsweise das Potenzial, Aufgaben der Steuerungstechnik im industriellen Bereich neu zu gestalten. Die Implementierung der genannten Funktionen von 5G erfolgt dabei im Rahmen der einzelnen Releases des 3GPP.⁸

5 | Vgl. ITU 2017.

6 | Vgl. ITU 2017.

7 | Dieses und alle weiteren Zitate stammen aus den Interviews mit den Expertinnen und Experten. Aus Datenschutzgründen werden keine Namen genannt.

8 | Vgl. 3GPP 2021.



Die erste Phase der Umsetzung (Release 15) des 5G-Standards konnte noch nicht alle ursprünglichen Anforderungen nach IMT-2020 erfüllen. Insbesondere die Realisierung von sehr geringen Latenzen (URLLC) ist in Release 15 noch nicht vorgesehen. Seit dem Abschluss der zweiten Phase (Release 16) können jedoch alle durch IMT-2020 festgelegten Anforderungen erfüllt werden.⁹ Einige Eigenschaften des aktuellen 5G-Standards, wie beispielsweise die Realisierung geringer Latenzzeiten (URLLC), übersteigen sogar die Mindestanforderungen nach IMT-2020, etwa durch die Realisierung von Latenzzeiten von bis zu 0,5 Millisekunden (statt 1 Millisekunde). Anzumerken ist zudem, dass die Charakteristiken des 5G-Netzes mit zukünftigen Anpassungen des 3GPP-Standards (Release 17, 18 etc.) kontinuierlich adaptiert und verbessert werden. Ein Vergleich der aktuellen Leistungsparameter eines 5G-Netzes nach 3GPP Release 16 mit den Eigenschaften von Wireless Local Area Network und 4G ist in Tabelle 1 dargestellt.

optimiert sind, zum Beispiel in eine Netzwerkscheibe mit sehr niedriger Latenzzeit und in eine mit hohen Datenbandbreiten. Die übrigen Leistungsparameter werden dabei jedoch nicht ihre Maximalwerte erreichen können. Diese logische Trennung hinsichtlich verschiedener Anforderungsprofile der Kommunikation ermöglicht zudem eine gleichbleibend hohe Reliabilität. Neben dem zunehmend verbreiteten Betrieb öffentlicher Mobilfunknetze durch private Anbieter bietet 5G die Möglichkeit, private und lokal verfügbare Netze, sogenannte Campusnetze, zu betreiben. Im industriellen Kontext werden diese üblicherweise von dem Unternehmen, welches das Netz nutzt, aufgebaut und betrieben. Das Unternehmen erhält dabei die Kontrolle über die an das Netz angeschlossenen Geräte und über die Ressourcenzuweisung für diese Geräte. In Deutschland ist das Spektrum zwischen 3,7 und 3,8 Gigahertz sowie zwischen 24,25 und 27,50 Gigahertz (26 Gigahertz-Band) für lokale private Netze reserviert und kann

| Technologie | Latenz | Reliabilität | Bandbreite | Gerätedichte |
|-------------------------------|---------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 5G (Release 16) ¹⁰ | bis zu 0,5 ms | bis zu 99,9999 % bei 0,5-1 ms Latenz | bis zu 20 Gbit/s ¹¹ | mehrere Tausend ¹² |
| 4G ¹³ | bis zu 5 ms | bis zu 99,999 % bei 5 ms Latenz | bis zu 1 Gbit/s | bis zu 1.000 |
| WLAN 6 ¹⁴ | bis zu 10 ms | geringer ¹⁵ | bis zu 9,6 Gbit/s | bis zu 250 |

Tabelle 1: Vergleich der technischen Leistungsfähigkeit ausgewählter Funktechnologien anhand bestimmter Kriterien (Quelle: 3GPP 2018/IEEE 2021/Penttinen 2021)

Dabei kann ein einzelnes 5G-Netz nicht alle drei Extreme der in Abbildung 1 dargestellten Leistungsmerkmale gleichzeitig erreichen. Beispielsweise können ultraniedrige Latenzzeiten und hohe Bandbreiten nicht in demselben Netzwerk realisiert werden. Diese Einschränkung kann zum Teil durch die Aufschlüsselung der Geräte in verschiedene Netzwerkscheiben (Slices) mit unterschiedlichen Anforderungen überwunden werden. Mit Network Slicing kann das verfügbare Spektrum in verschiedene Teile aufgeteilt werden, die für unterschiedliche Leistungsanforderungen

bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) gegen eine vergleichsweise geringe Gebühr lizenziert werden.¹⁶

Alternative Technologien der drahtlosen industriellen Kommunikation sind Wireless Local Area Network nach dem aktuellen Standard 802.11ax (WiFi oder WLAN 6) und 4G. Nachteilig bei WLAN ist jedoch die fehlende logische Trennung zwischen verschiedenen Geräten hinsichtlich ihrer Kommunikationsanforderungen, die bei 5G durch das Network

9 | Vgl. Penttinen 2021.

10 | Vgl. Penttinen 2021.

11 | Anzumerken ist, dass dieser Wert lediglich bei der vollen Frequenzauslastung von 400 Megahertz erreichbar ist. In privaten Campusnetzwerken können derzeit im Frequenzbereich von 3,7 bis 3,8 Gigahertz lediglich 100 Megahertz lizenziert werden, woraus geringere Datenraten resultieren. Im Hochfrequenzbereich (26 Gigahertz-Band) können jedoch höhere Bandbreiten (Vielfache von 200 Megahertz) lizenziert werden, welche die angegebenen 20 Gigabit ermöglichen. Vgl. Bundesnetzagentur 2021.

12 | Die Angaben zur Gerätedichte beziehen sich bei 4G beziehungsweise WLAN meist auf eine Funkzelle, deren Größe von mehreren Variablen abhängig ist, während der 5G-Standard die Gerätedichte auf Quadratkilometer bezieht.

13 | Vgl. 3GPP 2018.

14 | Vgl. IEEE 2021.

15 | Eine explizite Zahl kann nicht genannt werden, da die WLAN-Technologie hinsichtlich anderer Merkmale entwickelt wird. Jedoch fällt die Reliabilität deutlich geringer aus. Vgl. Oughton et al. 2021. Anzumerken ist, dass der WLAN-Standard (802.11be), der 2024 finalisiert werden soll, Latenzen von unter 5 Millisekunden bei einer Reliabilität von 99,99 Prozent ermöglicht. Vgl. Lopez-Perez et al. 2019.

16 | Vgl. Bundesnetzagentur 2021.

Slicing ermöglicht wird.¹⁷ Hierdurch existiert keine gleichbleibende Verbindungsreliabilität zur Erfüllung der Kommunikationsanforderungen (Quality of Service).¹⁸ Aufgrund dessen kann es bei Nutzung von WLAN zu Überlastungen kommen, weswegen zum Beispiel Pakete verloren gehen oder verzögert ankommen. Bei der Steuerung eines Industrieroboters kann dies beispielsweise zu fehlerhaften Verfahrenswegen führen. 4G und 5G können mit solchen Situationen besser umgehen, da es eine zentrale Kontrollinstanz – nämlich die Basisstation – gibt, welche die gesamte Kommunikation steuert, was diese Technologien widerstandsfähiger gegenüber Störungen macht.¹⁹ Der größte Nachteil von 4G im Vergleich zu 5G sind die geringeren Leistungsparameter: 4G kann nur eine Geschwindigkeit von bis zu 1 Gigabit pro Sekunde und Latenzen von rund 5 Millisekunden erreichen. Ebenfalls bietet 4G eine deutlich geringere maximale Gerätedichte und weist hinsichtlich der Zuverlässigkeit Defizite auf.

Ein weiterer wichtiger Vorteil von 5G ist die Implementierung von Mechanismen, um eine höhere IT-Sicherheit zu erreichen. So ist der getrennte kryptografische Schutz einzelner Komponenten vorgesehen, wodurch bei einem Angriff nicht das gesamte Netzwerk betroffen ist. Weiterhin wird im Gegensatz zu 4G die Langzeitidentität der Teilnehmer (IMSI) verschlüsselt übertragen.²⁰ Spezifische Sicherheitsfunktionen für 5G wurden insbesondere in Einsatzfeldern wie Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) und nicht öffentlichen Netzwerken festgelegt. Beispielsweise werden für industrielle Automatisierungen bedarfsgerechte, alternative und sichere Authentifizierungsmechanismen zugelassen. Zusammenfassend bieten die Sicherheitsfunktionen von 5G eine robuste Unterstützung für Netzimplementierungen im betrieblichen Kontext. Das Thema IT-Sicherheit betrachten weitergehend die Standardisierung 3GPP sowie für Industrienetzwerke die Organisation 5G Alliance for Connected Industries and Automation.²¹

17 | Vgl. Oughton et al. 2021.

18 | Vgl. Foukas et al. 2017.

19 | Vgl. Oughton et al. 2021.

20 | Vgl. Cisco 2020.

21 | Vgl. 3GPP 2021 und 5G-ACIA 2021.



3 Ergebnisse

3.1 Infrastrukturanbieter, Serviceanbieter und Anwender

Für nahezu alle Wirtschaftsbereiche bietet die 5G-Technologie weitreichende Potenziale, und es ergeben sich neue Geschäftsfelder. Für eine strukturierte Darstellung der beteiligten Akteure wurden diese in die drei Gruppen Infrastrukturanbieter, Serviceanbieter und Anwender eingeteilt. Es zeigt sich, dass einzelne Unternehmen – insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) – die Einführung und Nutzung der 5G-Technologie in der Regel nicht selbst bewerkstelligen können. Um die Möglichkeiten von 5G nutzen zu können, bedarf es also eines gemeinsamen Vorgehens der Infrastrukturanbieter, Serviceanbieter und Anwender.

Die sich daraus ergebenden Potenziale, aber auch die wechselseitigen Abhängigkeiten zeigen, dass auch Fragen der digitalen Souveränität von dieser Entwicklung berührt sind. Digitale Souveränität bedeutet, dass Individuen, Unternehmen und Politik in der Lage sind, unabhängig zu entscheiden, auf welche

Weise und mit welcher Zielsetzung der digitale Wandel gestaltet werden soll. Es geht hierbei sowohl um Wettbewerbsfähigkeit als auch um politische Selbstbestimmtheit. Digitale Souveränität europäischer Prägung will allen Entitäten Wahlfreiheit bei der Digitalisierung ermöglichen. Dabei muss sie europäischen Rechts- und Wertevorstellungen folgen, weltoffen sein und fairen Wettbewerb fördern. Um die Komplexität der digitalen Souveränität abzubilden, hat acatech ein Schichtenmodell mit acht aufeinander aufbauenden Ebenen entwickelt (siehe Abbildung 2).

Da für die meisten Aspekte Digitaler Souveränität eine funktionierende Kommunikationsinfrastruktur benötigt wird, entspricht diese der Ebene 2. Nachdem 5G wiederum einen elementaren Teil der Kommunikationsinfrastruktur ausmacht, ist 5G essenziell, um auf Ebene 2 Souveränität zu erlangen. Auf dieser Technologie können weiterreichende Geschäftsmodelle aufbauen, weshalb 5G auch relevant für darüber liegende Schichten ist. Die Geschäftsmodelle können die Ebenen 3 (Infrastructure-as-a-Service) und 4 (Platform-as-a-Service) umfassen. Weil 5G zudem Potenziale für die unternehmensübergreifende Vernetzung bietet, ist die Technologie ebenfalls ein wichtiger Baustein für die Schaffung europäischer Datenräume (Ebene 5) und die Entwicklung von Software zur Auswertung dieser Daten (Ebene 6). 5G ist also von zentraler Bedeutung für die Digitale Souveränität

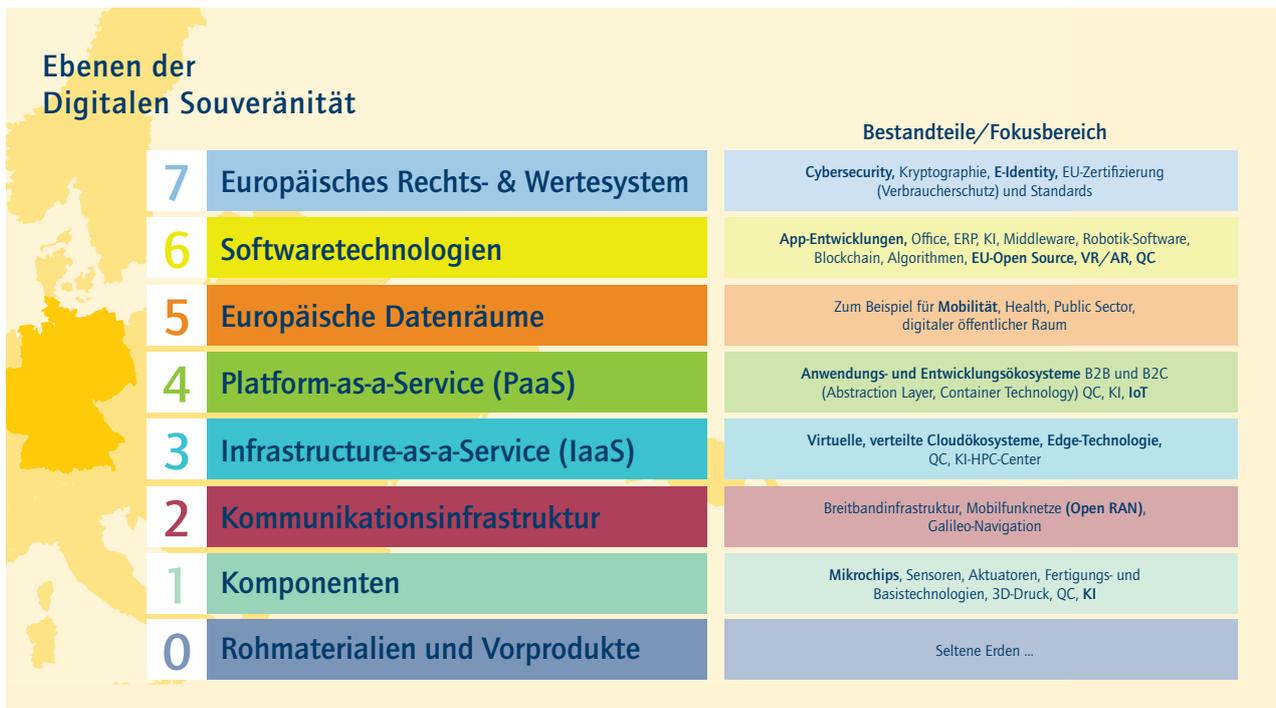


Abbildung 2: Schichtenmodell der aufeinander aufbauenden Ebenen der Digitalen Souveränität (Quelle: acatech 2021)

Deutschlands. Sie sollte im Fokus der Politik stehen, um einen möglichst breiten Zugang zur Technologie und einen souveränen Umgang damit zu ermöglichen.²²

Die Gruppe der **Infrastrukturanbieter** besteht zum einen aus Unternehmen, die am öffentlichen Netzausbau beteiligt sind, und zum anderen aus Unternehmen, die private 5G-Infrastruktur anbieten. Telekommunikationsanbieter wie die Telekom oder Vodafone sind als Netzbetreiber in Deutschland für den öffentlichen Bereich zuständig. Darüber hinaus gibt es Unternehmen wie Huawei, Nokia oder Ericsson, die Hardware bereitstellen, aber auch private Campusnetze einrichten, welche einem drahtlosen lokalen Netzwerk – basierend auf der 5G-Mobilfunktechnologie – entsprechen. Diese Campusnetze können individuell sowohl in privaten als auch in öffentlichen Einrichtungen implementiert werden. Sie können in ihrer grundlegenden Funktion WiFi-Netze ersetzen, bieten aber darüber hinausgehende Potenziale, insbesondere für das Produktionsumfeld. Alle Unternehmen, die 5G-Infrastruktur – sowohl bei öffentlichen als auch bei Campusnetzen – bereitstellen, sind auf die Komponenten weniger Hardwarehersteller angewiesen. Der Markt für 5G-Hardware weist eine oligopolähnliche Struktur auf: Die drei größten Hardwarehersteller Huawei, Ericsson und Nokia halten derzeit einen Marktanteil von über 75 Prozent. Die Infrastrukturanbieter bauen die Hardware zwar größtenteils souverän ein, die einzelnen Komponenten sind aber üblicherweise proprietär und untereinander nicht interoperabel, was zu unerwünschten Abhängigkeiten, sogenannten Lock-in-Effekten, führen kann. Dem versucht die O-RAN Alliance entgegenzuwirken. Die Initiative strebt eine standardisierte und offene Netzarchitektur an, um eine vertikale Kompatibilität zwischen verschiedenen Hardwareherstellern zu erreichen, was auch die Sicherheit der Zugangsnetze erhöht.

Zur Gruppe der **Serviceanbieter** zählen sowohl Infrastrukturanbieter, die den Aufbau und die Wartung der Netze als Dienstleistungen anbieten, als auch neutrale Hosts. Diese ermöglichen neben den Infrastrukturanbietern ebenfalls einen Zugang zu 5G-Netzen, spezialisieren sich aber auf die Integration und den Betrieb von privaten Campusnetzen und bieten kein öffentliches Netz an. Meist stellen sie das Netzwerkmanagement sowie den Betrieb der Netze, jedoch nicht die Infrastruktur bereit. Da die Verwaltung von 5G-Netzen im Vergleich zu WLAN deutlich aufwendiger ist, können sich hier neue Geschäftsmodelle wie die spezialisierte Administration von 5G-Netzen entwickeln. Ein neues Geschäftsmodell für die Infrastrukturanbieter sowie eine Kostenersparnis für Anwender ist eine geteilte 5G-Infrastruktur. Mehrere Unternehmen nutzen dabei ein privates Netz und teilen

sich die Kosten für den Aufbau und die Wartung des Netzes. Dies reduziert einerseits Investitions- sowie laufende Betriebskosten der 5G-Infrastruktur und ermöglicht andererseits Synergieeffekte, wie zum Beispiel die Nutzung eines fahrerlosen Transportsystems in mehreren Unternehmen. Damit lässt sich aus Anwendersicht eines der zentralen Hemmnisse bei der Einführung von 5G abbauen, während gleichzeitig neue Mehrwerte generiert werden.

„5G vereint die Telekommunikationsindustrie mit der vertikalen fertigen Industrie, sodass neue Wertstromkinematiken entstehen. Eins plus eins gleich drei.“

Ein weiteres Geschäftsfeld, für das die Einführung von 5G wichtig ist, sind Remote-Dienstleistungen. In der Industrie können vermehrt Services angeboten werden, die von einer verbesserten Echtzeitfähigkeit der Datenübertragung profitieren. Ein Beispiel ist das Geschäftsmodell Production-as-a-Service, bei dem die Steuerungs- und Kontrolltätigkeiten als Dienstleistung via Fernsteuerung – remote – angeboten werden. Ein weiteres Beispiel ist die Dienstleistung Manufacturing-as-a-Service, was die vollständige Produktion eines bestimmten Produkts in flexibler Losgröße umfasst. Die verbesserte Datenübertragung erhöht in beiden Fällen die Steuerungs- und Kontrollmöglichkeiten für den Serviceanbieter und ermöglicht eine stärkere Integration des Serviceanbieters in den Produktionsprozess. Zukünftig können so ganze Produktionsanlagen oder Fabriken remote gesteuert und verwaltet sowie kritische Entscheidungen reaktionsschnell getroffen werden. Zusätzlich können Kundinnen und Kunden per Echtzeitübertragung und erweiterte Sensorik ihr Produkt direkt verfolgen sowie bei Bedarf Änderungen vornehmen.

Die dritte Gruppe der **Anwender** ist über nahezu alle Wirtschaftsbereiche verteilt. Für die Industrie ergeben sich zahlreiche Potenziale in der Umsetzung und Verbesserung von Industrie 4.0-Lösungen. 5G wirkt hierbei als Enabler-Technologie, die die Umsetzung bereits bekannter Potenziale ermöglicht und zusätzlich neue Potenziale eröffnet. Die Lokalisierung von Objekten mittels Triangulation beispielsweise wird durch 5G realisierbar und kann damit sogar in überdachten Bereichen genutzt werden. Produkte sowie deren einzelne Teile, Werkzeuge und Logistiksysteme können zu jedem Zeitpunkt lokalisiert werden, wodurch die intelligente Digitalisierung des Wertstroms eines Unternehmens möglich wird. Kabellose Steuerungslösungen sowie mobile Maschinenterminals werden durch die Anbindung mittels 5G realisierbar (siehe Anwendungsszenario I). Die echtzeitnahe



Anwendungsszenario I

Über die echtzeitnahe Übertragung großer Datenmengen lassen sich Maschinterminals dezentral auf mobilen Geräten (Devices) umsetzen. Daten mehrerer Maschinen können so auf einem mobilen Device eingesehen und über ein einzelnes Gerät mit mehreren Maschinen parallel interagiert werden. Dies bietet enorme Vorteile hinsichtlich Arbeitseffizienz, Reduzierung von Laufwegen und Platzbedarf.

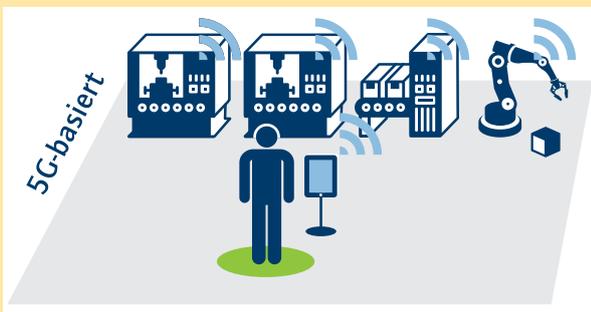
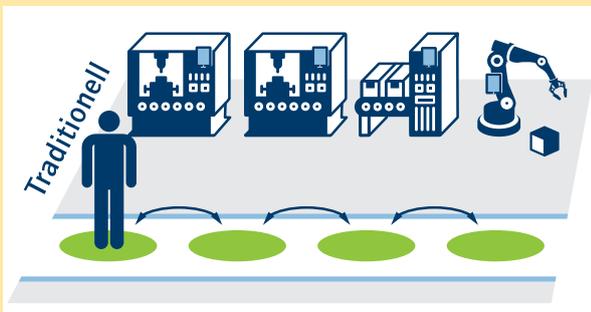


Abbildung 3: Anwendungsszenario I (Quelle: eigene Darstellung unter Verwendung von Icons von Noun)

Übertragung von Daten ermöglicht weiterhin die intelligente Vernetzung und Re-Konfiguration von Robotersystemen im Rahmen einer variantenreichen Produktion (siehe Anwendungsszenario II). Auch in anderen Branchen bieten sich durch 5G neue Potenziale, etwa in der Landwirtschaft, der Veranstaltungsbranche oder der Logistik. Die Intralogistik kann mithilfe fahrerloser Transportsysteme, die in Echtzeit Objekte erkennen, verbessert werden. In der Landwirtschaft können autonom fahrende Traktoren oder Echtzeitbilder zur Bewässerung und zur Ernte genutzt werden, wodurch sich bei sehr weitläufigen Flächen große Einsparungen erzielen lassen. Bei Großveranstaltungen kann Besuchern dank der 5G-Technologie ein Internetzugang ermöglicht werden, der im

Anwendungsszenario II

KI-Anwendungen können unternehmensübergreifend zur Verfügung gestellt werden, da lokale Rechenleistung durch eine Factory Edge für Training und die Ausführung von KI-Modellen bereitgestellt wird. Die Daten werden durch 5G nahezu in Echtzeit übermittelt. Dies ermöglicht die intelligente Kooperation von Roboterkinematiken sowie deren flexible Rekonfiguration. Dies ist besonders bei kleiner werdenden Losgrößen und Kostendruck von besonderer Bedeutung.

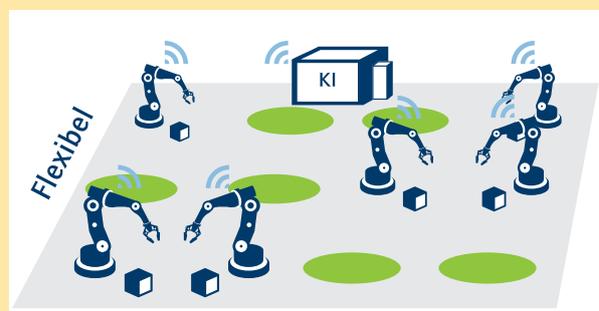
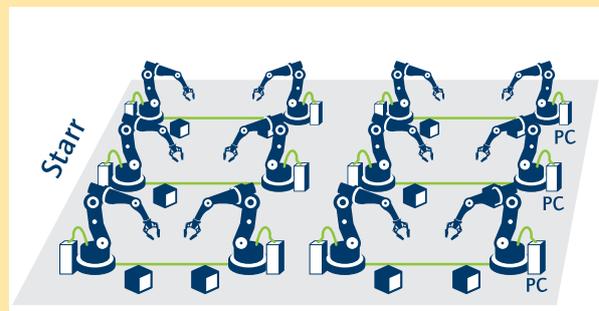


Abbildung 4: Anwendungsszenario II (Quelle: eigene Darstellung unter Verwendung von Icons von Noun)

Vergleich zu WLAN-Konzepten deutlich kostengünstiger ist. Auch im Bereich des autonomen Fahrens ist 5G ein entscheidender Enabler. Mithilfe der 5G-Technologie kann eine große Zahl an Fahrzeugen in einem engen Raum miteinander kommunizieren und schnell große Datenmengen austauschen, beispielsweise über die aktuelle Position und die Fahrtrichtung. Auch Sensordaten der Fahrzeuge wie Bildmaterial oder Informationen zum Fahrbahnzustand, zum Wetter oder zur aktuellen Parkplatzsituation können auf diese Weise schnell ausgetauscht werden. Zusätzlich kann durch die verbesserte Vernetzung mittels Cloud-Computing Rechenleistung aus den Fahrzeugen ausgelagert

und in zentralen Rechenzentren gebündelt werden. Im Bereich des mobilen Gamings können durch 5G außerdem die Latenzzeiten verringert werden. Aber auch interaktive Interfaces wie Virtual-Reality-Brillen – etwa zur Überwachung von Produktionsprozessen oder für die Produktentwicklung – können durch die erhöhte Datenübertragung besser integriert werden. Kabellose Lösungen, die für einen weitreichenden Einsatz notwendig sind, werden damit ermöglicht. Da bei Wearables die Rechenleistung ebenfalls zentral verwaltet werden kann, bietet 5G auch hier Potenziale, den Tragekomfort durch eine Gewichtsreduktion deutlich zu erhöhen. Derzeit nimmt die 5G-Technologie keinen großen Stellenwert in der klassischen Produktentwicklung für industrielle Produktionsanlagen ein. Jedoch ist zu erwarten, dass sowohl 5G-by-Design für Neuentwicklungen als auch 5G-as-Add-on für bestehende Produkte immer mehr in den Fokus rücken werden (siehe Anwendungsszenario III). Eine allgemeingültige Vorgehensweise liegt standardisiert nicht vor, sodass oftmals an unterschiedlichen Konzeptionierungen gearbeitet wird und erst der industrielle Einsatz und die Akzeptanz der Anwender eine Validierung und Verifikation der Konzeptionierungen ermöglichen.

Weitere beteiligte Organisationen im Kontext der Einführung von 5G sind **Regulierer und Standardisierungsgremien**. Sie schaffen den Rahmen für die Umsetzung von 5G und stehen somit in direktem Kontakt zu den restlichen Gruppen. Da die Schaffung adäquater Regelungen und Rahmenbedingungen essenziell für den Umgang mit 5G ist – insbesondere, um die Potenziale gemeinsamer Datennutzung zu heben –, ist ihre Arbeit elementar für die Digitale Souveränität.

Aufgrund der in den Interviews gesammelten Informationen lässt sich eine klare Unterteilung der Unternehmen und Branchen nach Infrastrukturanbietern, Serviceanbietern und Anwendern erkennen. In allen genannten Gruppen verspricht die Technologie Potenziale für das Entstehen von neuen Geschäftsmodellen. Allerdings sind hier insbesondere für Servicemodelle die Rollen und Rahmenbedingungen in Bereichen wie Datenschutz, Haftungspflicht und Arbeitsrecht zu klären.

3.2 Unternehmensübergreifende Potenziale und Bedarfe

Mit der zunehmenden Digitalisierung im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus wächst auch die Menge an generierten Daten. Einige Expertinnen und Experten gehen davon aus, dass Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Zukunft bis zu 1,5 Gigabyte Daten

Anwendungsszenario III

Die modellbasierte systemtechnische Konzeptionierung einer Integration der 5G-Technologie ist in den frühen Phasen der virtuellen Produktentwicklung erforderlich, damit die Vorteile der Anwendung und der Nutzen in den späteren Phasen des Produktlebenszyklus zum Tragen kommen. Hierbei müssen Anforderungen, Systemarchitektur sowie Konnektivitäts- und Kommunikationskanäle aufeinander abgestimmt werden, sodass nicht nur 5G-by-Design für Neuentwicklungen vorliegt, sondern auch bestehende Produkte mittels 5G-as-Add-on befähigt werden.

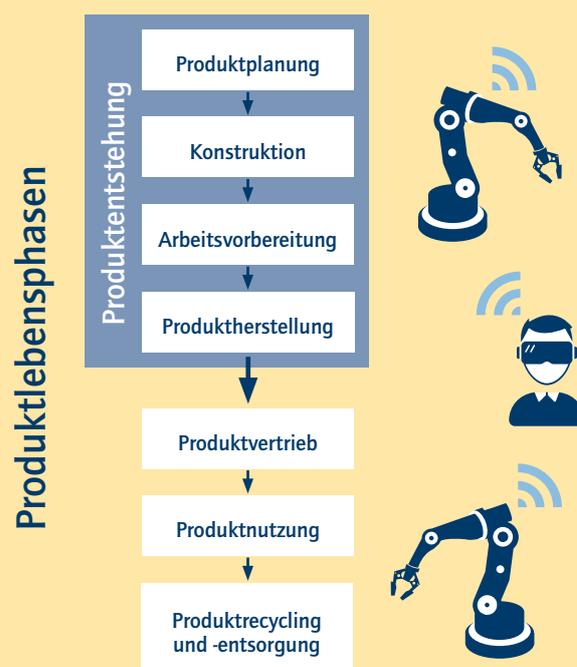


Abbildung 5: Anwendungsszenario III (Quelle: eigene Darstellung unter Verwendung von Icons von Noun)

pro Tag an ihrem Arbeitsplatz generieren werden, Maschinenanwendungen sogar bis zu 4 Terabyte. Um diese Datenmengen bewältigen zu können, entsteht unternehmensübergreifend der Bedarf nach einem hohen Datendurchsatz. Als Lösung hierfür und gleichzeitig als Grundlage für damit verbundene Themen wie Industrie 4.0 sehen die befragten Expertinnen und Experten 5G als Enabler: Die Technologie ermöglicht es, Potenziale zu realisieren, die in der unternehmensübergreifenden Konzeption



von Wertschöpfungsnetzwerken im Sinne des Leitbilds von Industrie 4.0 liegen. Diese Entwicklung umfasst die digitale Echtzeitvernetzung in den Bereichen Logistik und Produktion (zum Beispiel durch die Verwendung externer Daten) sowie von Dienstleistungen über die Grenzen eines einzelnen Unternehmens hinweg. In diesem Zusammenhang wird auch die Bedeutung von Cloud-Computing weiter zunehmen, und es werden neue Märkte und Anwendungen sowie darauf aufbauende Geschäftsmodelle entstehen. 5G ist damit essenziell für den Aufbau von agilen Wertschöpfungsnetzen in dynamischen Ökosystemen im Sinne von Industrie 4.0.

Neben dem bereits dargestellten unternehmensübergreifenden Bedarf an hohem Datendurchsatz, den 5G abdecken kann, verfügt die Technologie über weitere **unternehmensübergreifende Potenziale**, die nachfolgend beschrieben werden.

„Wir müssen schneller werden mit unseren Verbindungen, und wir müssen einen höheren Datendurchsatz erreichen – egal wie –, sonst fallen wir immer weiter zurück mit den Entwicklungen.“

Da in Zukunft die Menge an unternehmensübergreifend generierten Daten weiter wachsen wird, besteht der Bedarf nach Technologien, die einen entsprechend hohen Datendurchsatz bieten. Wenn es den Unternehmen gelingt, mit den steigenden Datenmengen umzugehen, eröffnet sich in den Augen der Expertinnen und Experten gleichzeitig auch ein großes Potenzial. Die 5G-Technologie agiert dabei als Enabler, indem sie es ermöglicht, im Betrieb mehr Daten von Produkten zu erfassen, die wiederum an den Hersteller sowie weitere Teilnehmer des Wertschöpfungsnetzwerks zurückgemeldet werden können. Hierfür wird laut einem Experten jedoch ein potenterer Kommunikationskanal benötigt, als er aktuell mit Long Term Evolution Advanced (LTE-Advanced) zur Verfügung steht. 5G bietet hier enorme Vorteile gegenüber der Vorgängertechnologie LTE-Advanced. Die Auswertung der Daten kann daraufhin mit Künstlicher Intelligenz(KI)-Anwendungen erfolgen; die daraus gewonnenen Informationen lassen sich wiederum in die (Produkt-)Entwicklung zurückspielen. Aber auch die KI-Anwendungen selbst würden von der größeren Menge erfasster Daten profitieren.

Insgesamt sind die befragten Expertinnen und Experten der Meinung, dass das komplette Wertschöpfungsnetzwerk unternehmensübergreifend von 5G profitieren wird. Gerade im Transportsektor und in allen Bereichen, die auf Transportinformationen

angewiesen sind, sowie im Kundenservice, aber auch in der Logistik entstehen große Vorteile, da man nicht mehr nur an einen Campus gebunden ist, sondern eine nahtlose Übergabe zwischen Campusnetz und öffentlichem Netz möglich ist. Darüber hinaus können die aktuell noch oftmals bestehenden Informationssilos im Wertschöpfungsnetzwerk vollständig verlinkt werden. Es können durchgängige Prozesse geschaffen werden, bei denen jeder Stakeholder der Prozesskette die aktuellen Informationen einsehen kann (wie zum Beispiel Informationen zur Bestellung und Anlieferung, zum Status der Lieferung, Informationen an die Finanzbuchhaltung etc.). Diese unternehmensübergreifende Rückkopplung zwischen mehreren Teilnehmern des Wertschöpfungsnetzwerks (zum Beispiel zwischen der Nutzerin beziehungsweise dem Nutzer von Produkten und der Planung und Produktion beim Hersteller) wird durch 5G signifikant verbessert und intensiviert. Zum Beispiel können aktuelle Felddaten der Produkte oder der Logistik den Planungsprozess direkt beeinflussen. Darüber hinaus kann durch die 5G-Technologie in Bezug auf Nachhaltigkeit ein wichtiger Beitrag geleistet werden.²³ Die Möglichkeit, Assistenzsysteme unternehmensübergreifend mit echtzeitnahen Daten nutzen sowie Anwendungen mit einem hohen Datendurchsatz wie die vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) vermehrt einsetzen zu können, führt durch damit einhergehende Synergieeffekte zwischen den einzelnen Teilnehmern des Wertschöpfungsnetzwerks zu einer Effizienzsteigerung im kompletten Wertschöpfungsnetzwerk, was wiederum zu einer Verbesserung der Umweltbilanz beiträgt.

Ein zentrales Element der Vernetzung, das durch die 5G-Technologie zunehmend an Bedeutung gewinnen wird, ist die Cloud-Technologie (zu den Vorteilen der Cloud-Technologie im Bereich der Produktion siehe Kapitel 3.3). 5G ermöglicht es dabei, alle Daten der einzelnen Stakeholder des Wertschöpfungsnetzwerk oder auch die Daten unterschiedlicher Werke eines Unternehmens konsolidiert abzulegen und in (nahezu) Echtzeit global abzurufen. Dies schafft in der Praxis neue Möglichkeiten für Industrie 4.0, indem mehr cyber-physische Systeme miteinander verbunden werden. Gleichzeitig wird die Kommunikation zwischen den einzelnen Systemteilnehmern mit 5G ausfallsicherer und besser vor Angriffen geschützt. Durch Cloud-Computing können Steuerungsfunktionalitäten zusammengefasst werden, aber auch die Zentralisierung gespeicherter Daten wird verbessert, indem durch 5G die großen Datenmengen zentral in einer Cloud abgespeichert und abgerufen werden können. Das macht 5G zu einem wichtigen Faktor beim Aufbau von europäischen Datenräumen. Solche Datenräume ermöglichen einen unternehmensübergreifenden Datenzugang beziehungsweise -austausch und bergen daher viele Potenziale für die Schaffung von Synergien.

23 | Vgl. Capgemini 2021.

Aber auch nachgelagerte Dienstleistungen wie etwa die Entwicklung von Software zur Analyse der großen Datenmengen bauen auf Datenräumen auf; Datenräume und Software sind wichtige Ebenen der digitalen Souveränität (Ebenen 5 und 6, siehe Abbildung 2). Bisher sind in Europa im Business-to-Business-Bereich (B2B-Bereich) kaum Datenräume entstanden. Den regulatorischen und industriepolitisch definierten Rahmen hierfür zu entwickeln, ist eine wichtige Aufgabe für Europa, um die Entscheidungsfreiheit im digitalen Handeln zu bewahren.²⁴ Hierbei geben einige Expertinnen und Experten jedoch zu bedenken, dass für dieses Szenario allen beteiligten Stakeholdern die erforderliche Infrastruktur der jeweiligen Netzanbieter zur Verfügung gestellt und die Standardisierungen in Hinsicht auf die Ultra-Reliable Low Latency Communication verbessert werden müssen.

Ein weiteres unternehmensübergreifendes Potenzial durch die 5G-Technologie ist die Entstehung neuer Märkte. Aufgrund der verbesserten Konnektivität, die 5G bietet, wird die Wertschöpfung in Zukunft vermehrt über neue Geschäftsmodelle wie zum Beispiel Mobilitätsservices oder Production-as-a-Service stattfinden. Dabei ist es Unternehmen möglich, auf Services von anderen Anbietern zuzugreifen, die ihnen sonst nicht zur Verfügung stünden. Darüber hinaus werden durch die verbesserte Erreichbarkeit von Komponenten in einem 5G-Netz neue Geschäftsmodelle wie Dienstleistungen im Betrieb, teleoperiertes Fahren (Tele-Driving), vernetzte Autos (Connected Cars) sowie das autonome Fahren zunehmend an Bedeutung gewinnen. Einige Expertinnen und Experten sehen das Potenzial, dass der Markt eines privaten 5G-Campusnetzes über den Aufbau und die Wartung hinausgehen könnte, wodurch komplette Geschäftsmodelle neu entstehen könnten. Mit einer Einführung von 5G-Netzen in Unternehmen und Fabriken werden auch die Möglichkeiten von Industrie 4.0 erweitert. Daraus resultiert ein steigender Bedarf an Anbietern, die sich auf die Anbindung der Maschinen und Produkte an das 5G-Netz und die dafür erforderlichen Bauteile spezialisieren. Ein weiterer neuer Markt beruht auf der zunehmenden Bedeutung von externen (Hochleistungs-)Rechenzentren: Aufgrund der wachsenden Datenmengen und des damit verbundenen Bedarfs an zusätzlichen Geräten steigen die Infrastrukturerhaltungskosten, was den Betrieb eigener Rechenzentren oftmals unrentabel macht – dadurch entstehen Marktnischen für Anbieter, die sich auf die Bereitstellung von Speicherplatz und Rechenleistung in Form von externen (Hochleistungs-)Rechenzentren spezialisieren. Trotz aller Potenziale bezüglich neuer Märkte in Verbindung mit 5G bestehen jedoch auch Bedenken. So müssen, da 5G ein lizenziertes Spektrum darstellt, vor dessen Einführung zunächst elementare Fragestellungen hinsichtlich der Datenhoheit und der

Sicherheitsrichtlinien, wer was genau nutzen darf, geklärt werden (für eine ausführliche Beschreibung der Hürden siehe Kapitel 3.4).

Zusammenfassend sehen die Expertinnen und Experten die unternehmensübergreifenden Bedarfe vor allem darin, die in Zukunft wachsende Menge an Daten erfassen, abspeichern und abrufen zu können. 5G deckt nicht nur diese Bedarfe ab, sondern schafft gleichzeitig weitere Potenziale. Die Technologie ermöglicht einen echtzeitnahen Informationsaustausch im gesamten Wertschöpfungsnetzwerk. Dies geht mit einer zunehmenden Bedeutung von Cloud-Computing sowie der Entstehung neuer Märkte und Anwendungen einher.

3.3 5G für Produkte, Produktentwicklung und Produktion

Die 5G-Technologie kann in **Produkten sowie bei der Produktentwicklung und Produktion** – ebenso wie an deren Schnittstellen – einen Mehrwert stiften. Sie entwickelt zentrale Bereiche der Industrie 4.0 wie die technische Integration von cyberphysischen Systemen sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste weiter. Erst durch 5G können die Potenziale der Industrie 4.0 vollständig ausgeschöpft werden. Weitere im Kontext der Produktentwicklung und Produktion relevante Themenbereiche sind Netzabdeckung, Sicherheit, Retrofitting, Datenverfügbarkeit und -nutzung sowie die Rolle des Menschen. Vor diesem Hintergrund sollen nachfolgend die Potenziale der 5G-Technologie dargestellt werden.

„Für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter spielt es eine Rolle, wenn die Anwendungen auf den Menschen zugeschnitten sind, zum Beispiel ruckelfreie Augmented-Reality- oder kleine Geräte. [...] Durch die Anwendung von Künstlicher Intelligenz wird der Mitarbeiterin beziehungsweise dem Mitarbeiter der Kopf für die anspruchsvolleren Arbeiten freigehalten.“

Die schnelle Übertragungsrates von 5G ermöglicht beispielsweise eine ruckelfreie Übertragung in Augmented-Reality(AR)-Anwendungen. Somit können die Nutzerinnen und Nutzer mithilfe ruckelfreier und handlicher kleiner AR-Geräte bei ihrer täglichen Arbeit unterstützt werden. Hohe Automatisierungsgrade von Systemen, zum Beispiel realisiert durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz, können ihnen Arbeitsaufgaben abnehmen und



ermöglichen die Fokussierung auf anspruchsvollere, kreativere Tätigkeiten. Die zunehmende Vernetzung von immer mehr Geräten schafft neue Herausforderungen, die bewältigt werden müssen. Hier bietet die 5G-Technologie das Potenzial, aufgrund der hohen erreichbaren Gerätedichte die Vernetzung zu realisieren. Geräte können mit externen Rechenleistungen zum Beispiel in einer Cloud verbunden werden (siehe Kapitel 3.2), was zu neuen Möglichkeiten im Design von Produkten führt. Beispielsweise können Sensoren kleiner dimensioniert werden, da eine Steuerungs- und Auswerteeinheit in die Cloud ausgelagert werden kann, wobei je nach Anwendungsfall die Daten beinahe in Echtzeit übertragen werden können.

5G führt aber auch zu einem Wandel in der Arbeitswelt, woraus sich zahlreiche Potenziale für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ergeben. Neben den bereits erwähnten Veränderungen beispielsweise durch Augmented Reality ist das Arbeiten immer unabhängiger vom tatsächlichen Standort der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter möglich. So kann insbesondere die Produktentwicklung aufgrund von schnellem Datentransport und hoher Datenverfügbarkeit an unterschiedlichen Standorten erfolgen. Dies unterstützt beispielsweise die Produktvalidierung, und mithilfe hoher Datenraten können digitale Zwillinge mit Prototypen gekoppelt und physische mit virtuellen Prüfständen vernetzt werden. Über Telearbeitsplätze und Cloud-Technologien können die vernetzten Prüfstände unter Einhaltung von Sicherheitsstandards betrieben werden. Ein wesentlicher Teil des Wandels wird die durchgängige Vernetzung der Menschen sein: Auch auf unterschiedliche Standorte verteilte Teams können zusammen die Produkte von morgen designen und validieren. Hierbei können Vereinheitlichungen beispielsweise durch ein gemeinsames Begriffsverständnis unterstützend wirken. Die 5G-Technologie ist auf Kundenseite mit neuen Bedürfnissen verbunden, die in Form von zusätzlichen Produktmerkmalen und Geschäftsmodellen bei der Produktentwicklung berücksichtigt werden. So ist beispielsweise damit zu rechnen, dass Unternehmen ihren Kundinnen und Kunden zukünftig eine Videoberatung bei der Produktnutzung anbieten werden. Dies wiederum führt zu neuen Geschäftsmodellen im Dienstleistungsbereich und spezifischen Produktmerkmalen wie einer intensiven Datenkommunikation und geeigneten Schnittstellen für die Mensch-Maschinen-Interaktionen.

Weiterhin bestehen Potenziale insbesondere in der **Produktion**. Das 5G-Netz dient hier als zentrale Stellschraube, um Produktionsanlagen zu planen und zu betreiben. Die befragten Expertinnen und Experten erwarten insbesondere beim Neubau von Fabriken

die Integration der 5G-Technologie. Hierbei können Serviceanbieter helfen, etwa bei Production-as-a-Service-Angeboten (siehe Kapitel 3.2). Anlagen und Dienste, die in die Cloud ausgelagert werden können, rücken durch die schnelle Datenübertragung näher zusammen. In Produktionshallen kann eine exakte Lokalisierung der Objekte mittels Triangulation erfolgen. Es besteht außerdem die Möglichkeit, ältere Produktionsmaschinen durch Nachrüstung (Retrofitting) in eine neue Produktionsumgebung zu integrieren. Dadurch können auch bereits bestehende Anlagen genutzt werden, anstatt sie durch neue ersetzen zu müssen. So sind auch Funktionen in Maschinen realisierbar, die ohne drahtlose Kommunikation wegen der begrenzten Datenmenge nicht über die Interprozesskommunikation (IPC) übertragen werden können. Ein 5G-Sensor erweitert eine Maschine um neue Funktionen, ohne sie vollständig neu aufzubauen. Beispielsweise ermöglicht die Automatisierungsplattform ctrlX Automation von Bosch Rexroth eine Neuimplementierung sowie das Retrofitting von bestehenden Maschinen.²⁵ Zudem können Alt- und Neugeräte miteinander kombiniert werden, sodass ein neuer Motor mit ausgestatteter Plattform mit den alten Antriebsreglern echtzeitnah betrieben werden kann.²⁶ Bei der Implementierung von 5G-Lösungen in ein Unternehmen müssen die Potenziale vorab genau analysiert werden. So wurden zahlreiche Anwendungsfälle auf Basis drahtloser Kommunikation identifiziert, jedoch brauchten nur wenige davon 5G. Eine Anwendung, die 5G zwingend benötigt, ist beispielsweise die Echtzeit-3D-Videoanalyse; damit können 3D-Informationen in einer Virtual-Reality-Umgebung die Situation eines Roboters visualisieren. Ein weiteres Beispiel ist die implementierte Interaktion mit einem digitalen Zwilling, um Arbeiterinnen und Arbeitern die intuitive Interaktion mit Robotern zu ermöglichen.²⁷ Aufgrund des breiten Einsatzspektrums der 5G-Technologie sollten ihr Return on Investment bei der Einführung nicht isoliert, sondern bereichsübergreifend betrachtet und auch Synergiepotenziale in die Überlegungen miteinbezogen werden. Im Vergleich zu anderen Übertragungstechnologien besteht ein wesentlicher Vorteil von 5G in dessen umfassenden Nutzungsmöglichkeiten, wodurch Kosten für die Wartung mehrerer paralleler Technologien entfallen. 5G wird als Enabler und universelle Plattformtechnologie bezeichnet, die verschiedene Anwendungsfälle ermöglicht. Insbesondere hinsichtlich der Digitalisierung von Prozessen und zunehmender Autonomiegrade eröffnen sich zahlreiche Potenziale. Prozesse verschiedener Bereiche können gekoppelt werden und ermöglichen damit eine gemeinsame Weiterentwicklung verschiedener Disziplinen und Bereiche. Die Zusammenführung von Produktentwicklung und Produktion resultiert in neuen Produktdesigns. Beispielsweise

25 | Vgl. Bosch Rexroth AG.

26 | Vgl. Bosch Rexroth AG.

27 | Vgl. Fraunhofer IPK.

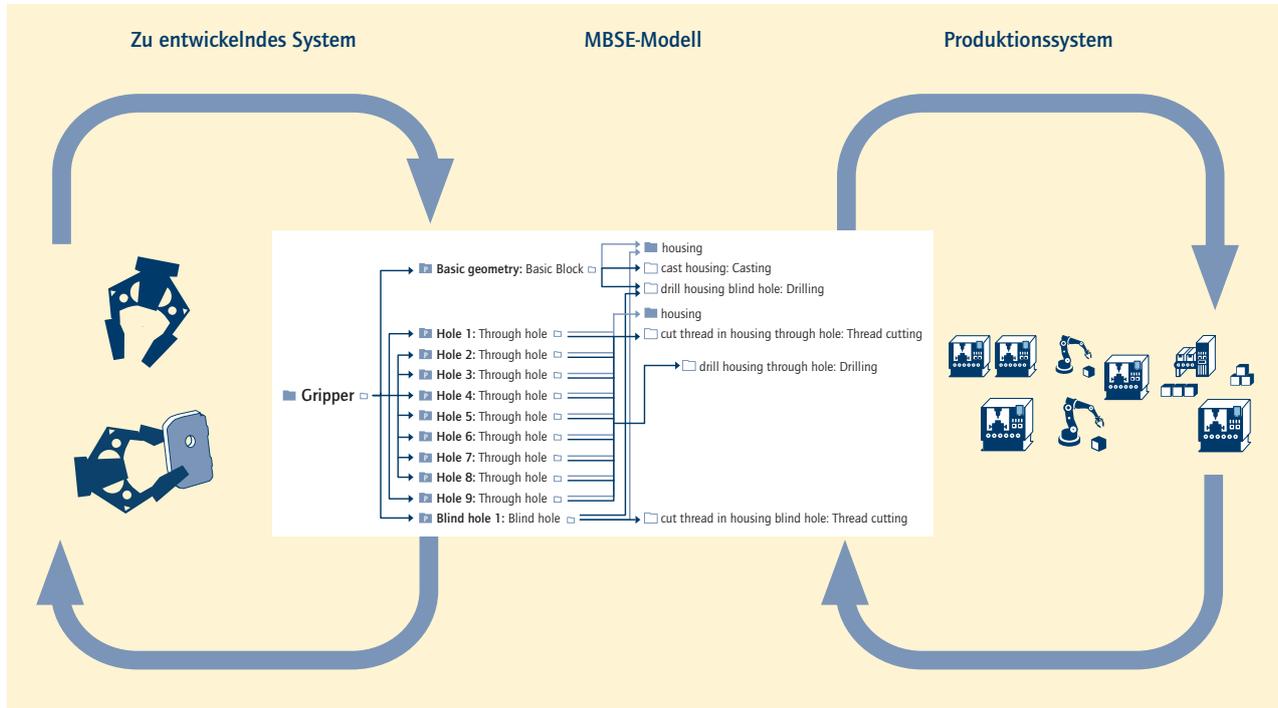


Abbildung 6: Produkt-Produktions-Co-Design für Industrie 4.0 am Beispiel eines Parallelgreifergehäuses (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an KIT 2020 und unter Verwendung von Icons von Noun)

wird im Produkt-Produktions-Co-Design die hoch vernetzte und parallelisierte Entstehung von Produkten und Produktionssystemen realisiert (siehe Abbildung 6).

Aufgrund des hohen Datendurchsatzes, einer großen Anzahl an Geräten im Netz sowie einer echtzeitnahen Datenübertragung kann 5G hierbei die Vernetzung verbessern. Ein weiteres Beispiel ist die Weitergabe von Produktnutzungsdaten an die Entwicklung zur Erschließung neuer Optimierungspotenziale (siehe Kapitel 3.2). Ein weiterer Vorteil von 5G ist, dass Geräte im Mobilfunknetz kaum angreifbar sind, da Adresse und Port des Geräts nicht bekannt sind. Dies gewährleistet eine höhere Datensicherheit im Vergleich zu WLAN sowie einen sicheren Kommunikationskanal für Produktionsanlagen, Prüfstände und Betriebsgeheimnisse der Produktentwicklung (siehe Kapitel 2).

Weiterhin lässt sich eine breitere Netzabdeckung als mit WLAN erzielen. Insbesondere bei großen Campusarealen ergeben sich dadurch Vorteile, da eine 5G-Antenne sehr große Bereiche abdecken kann. Ein Beispiel für die Größenordnung einer solchen Verbesserung wäre die Allianz-Arena mit 940 WLAN-Access-Points, die alle durch eine einzelne Antenne ersetzt werden könnten.²⁸

Dies würde zu einer erheblichen Ersparnis bei der Kabelverlegung führen und zudem eine bessere Mobilität der einzelnen Clients im Netz ermöglichen.

Zusammenfassend existieren zahlreiche Potenziale in den beschriebenen Bereichen Produkt, Produktentwicklung und Produktion, die mithilfe des gezielten Einsatzes der 5G-Technologie realisiert werden können. Es müssen aber noch weitere Themen wie der Wandel der Arbeitswelt, Sicherheit und Datennutzung berücksichtigt werden. Wesentliche Fragestellungen, etwa wie diese Potenziale in unterschiedlichen Unternehmenskontexten und Anwendungsfeldern identifiziert und gehoben werden können, sind noch zu beantworten.

3.4 Hemmnisse und Hürden zur Integration von 5G

Den identifizierten Potenzialen und möglichen Anwendungsfeldern stehen **Hemmnisse und Hürden** gegenüber. Zu 5G zeichnen sich Fragen hinsichtlich der Zuverlässigkeit



(insbesondere im Kontext industrieller Anwendungsszenarien) und der (internationalen) Regulierung und Standardisierung ab. Zudem besteht Klärungsbedarf bezüglich der mit 5G verbundenen Reorganisation und (Qualifikations-)Anforderungen an die Arbeitswelt der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Ein zentrales Hemmnis, das aus den genannten Aspekten resultiert, sind mit der Einführung verbundene hohe Kosten.

„Wie sich 5G im rauen Industrielltag bewährt, ist bislang nicht vollständig untersucht.“

Große Herausforderungen auf dem Weg in die industrielle Praxis von 5G sind die Zuverlässigkeit und die erreichbare Leistungsfähigkeit. Ein kurzer Verbindungsabbruch, der in der privaten Telekommunikation lediglich ein Ärgernis darstellt, kann in 5G-basierten Industrie 4.0-Anwendungen dazu führen, dass ein mitunter hochpreisiges Bauteil nicht korrekt gefertigt wird oder eine Werkzeugmaschine Schaden nimmt. Mit den durch 5G gegenüber 4G oder WLAN hinzugewonnenen Möglichkeiten gehen somit auch neue und anspruchsvolle Anforderungen an die Einhaltung der genannten Leistungsmerkmale einher. Obwohl 5G eine im Vergleich zu 4G erhöhte Zuverlässigkeit und Leistung verspricht, ergeben sich Herausforderungen und Fragestellungen auf dem Weg in die industrielle Praxis. Die prognostizierte erhöhte Zuverlässigkeit bezieht sich vorwiegend auf verbesserte Charakteristika des Funknetzes bezüglich der Netzarchitektur und der Verarbeitung von Datenflüssen sowie auf mitunter redundant ausgeführte Netzwerktopologien. Die als ein Ultra-Reliable Low Latency Communications (URLLC)-Merkmal von 5G angestrebte Zuverlässigkeit setzt voraus, dass maximal 0,0001 Prozent der versendeten Datenpakete nicht erfolgreich übertragen werden dürfen. Es existieren jedoch bislang wenige Erkenntnisse darüber, wie verlässlich 5G im Industrielltag in Verbindung mit den typischen Einflüssen in Fabriken ist. Fabriken und andere industrielle Umgebungen weisen in der Regel dynamische Einflüsse auf, ortsveränderliche Objekte wie zum Beispiel Fördermittel, Werkstücke oder auch Bestandteile von Maschinen verändern stetig die Funkverhältnisse und erzeugen dabei schwer vorhersehbare Funkschatten. Im Kontext dieser Fragestellungen ist ebenfalls offen, zu welchem Grad die prognostizierten Leistungsmerkmale (zum Beispiel Latenz im Bereich unter einer Millisekunde) in der Praxis erreichbar sind.

An die dargestellten Herausforderungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit schließen sich bisher ungeklärte Haftungsfragen an. So ist offen, wer beispielsweise für netzwerkbedingte

Produktionsausfälle oder bei Versagen eines mit 5G ausgestatteten Produkts durch Funkprobleme im Feld haftet. Zwar bestehen Haftungsfragen schon bei den bisher üblicherweise verwendeten Funktechnologien wie 4G oder WLAN, jedoch ist anzunehmen, dass diesem Aspekt aufgrund der Kritikalität der durch 5G umgesetzten Anwendungen eine noch größere Bedeutung zukommt. Aufgrund der unzureichenden technischen Leistungsfähigkeit wurden (latenz-)kritische Anwendungen bislang schlicht nicht über herkömmliche Funktechnologien realisiert. Hiermit bereits umgesetzte Nebenfunktionen technischer Systeme, wie zum Beispiel eine Betriebsdatenerfassung, konnten nach Behebung eines Netzausfalls durch zwischenzeitliche Speicherung aufrechterhalten werden. Hängt jedoch die Kernfunktion eines Systems vom Betrieb eines Funknetzes ab, wie es bei 5G zu erwarten ist, ist die Klärung von Haftungsfragen von hoher Relevanz. Das Potenzial, eine Vielzahl an Automatisierungsaufgaben in Fabriken über ein 5G-Campusnetz zu realisieren, führt dazu, dass dieses Netz einen Risikoschwerpunkt darstellt. So kann in bestimmten Konstellationen die gesamte Produktion einer Fabrik vom störungsfreien Betrieb des 5G-Netzes abhängen. Dieses Klumpenrisiko bewirkt im Problemfall, dass weite Teile der Produktion stillstehen, was zu erheblichen Kosten führen würde.

Weitere Vorbehalte hinsichtlich 5G bestehen aufgrund von noch ungeklärten Regulierungsfragen und der internationalen Anwendung von 5G-gestützten Lösungen. Während die in Deutschland praktizierte Vergabe von lokalen Spektren die Grundlage für firmeneigene Campusnetze darstellt, unterscheiden sich die Rahmenbedingungen international bisweilen stark. So bieten einige Länder bislang keine Regulierung von 5G-Netzen oder ermöglichen keine firmeneigenen Campusnetze. Für international tätige Unternehmen erschwert dies beispielsweise die Übertragung von in Deutschland entwickelten 5G-basierten Automatisierungskonzepten in der Produktion auf weitere internationale Produktionsstätten. Ähnliche Herausforderungen sind bei der Entwicklung von 5G-fähigen Produkten für internationale Märkte zu erwarten – gegenüber WLAN und 4G ist dieser Aspekt von größerer Bedeutung. Bislang wurden kabellose Anwendungen im industriellen Bereich meist über die für die Allgemeinheit zugänglichen WLAN-Frequenzen²⁹ realisiert, die keine Beantragung einer privaten Frequenz erforderten. Ähnlich wie bei der Beantragung von Frequenzbändern verhält es sich bei 5G-fähigen Endgeräten: Zwar ist der Funkstandard selbst festgelegt (siehe Kapitel 2), jedoch ist die Zulassung von 5G-basierten Lösungen ein Hemmnis. So existieren bislang keine standardisierten Zertifizierungsverfahren für sichere Infrastruktur; in der Konsequenz entstehen für entwickelte Produkte oft hohe Zertifizierungskosten. Nach der gegenwärtigen Zertifizierungspraxis amortisieren sich

29 | Vgl. Bundesnetzagentur 2021.

diese Kosten oft erst ab Stückzahlen im fünfstelligen Bereich. Hierdurch sind die Voraussetzungen, 5G-basierte Lösungen zu entwickeln und anzubieten, insbesondere für KMU und Hersteller kleiner bis mittlerer Serien stark erschwert.

„5G ist eine hochkomplexe Technologie. Das hierfür erforderliche Wissen kann nicht jedes Unternehmen mitbringen.“

An die technologischen Herausforderungen schließen sich **qualifikatorische Handlungsbedarfe** an. So unterscheiden sich der Betrieb und die Administration von 5G-Netzen fundamental von bisher verbreiteten WLAN-Funknetzen. Dies liegt darin begründet, dass es sich bei 5G um eine Mobilfunktechnologie handelt, während WLAN eine Computernetzwerktechnologie ist. Mobilfunksysteme haben einen komplexen Softwareaufbau und verfügen über eine Vielzahl von Funktionen auf unterschiedlichen Ebenen. Die Administration ist im Vergleich zu bisher angewendeten Netzwerktechnologien daher deutlich aufwendiger. Aufgrund dieser Unterschiede muss Personal zur Sicherstellung des Betriebs dieser Netze bereitgestellt und qualifiziert werden. Alternativ können auch Servicedienstleister mit diesen Aufgaben betraut werden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn ein florierendes Serviceökosystem entsteht: Erst wenn genügend attraktive Angebote existieren und die Anwender nicht befürchten müssen, in einen Lock-in zu rutschen, stellt dieses Vorgehen eine echte Option dar. Neben der operativen Umsetzung firmeneigener 5G-Netze bestehen jedoch auch qualifikatorische Hindernisse in den Reihen von Produktentwicklung und Produktionssystemplanung. In Unternehmen, deren Kernkompetenz nicht in der Mobilfunktechnik liegt, sind Mitarbeitende in den genannten Abteilungen meist nicht mit den Vorteilen und Grenzen sowie mit den technologischen Charakteristika von 5G vertraut. Infolgedessen sind eine auf Fachkenntnissen beruhende Bewertung von firmenspezifischen Anwendungspotenzialen und die Entwicklung 5G-basierter Produkte oder Produktionsansätze erschwert – insbesondere, weil sich viele Vorteile erst durch Synergieeffekte mehrerer Anwendungsfälle ergeben.

Im Zuge der zunehmenden Verbreitung von 5G können organisatorische Änderungen in Unternehmen notwendig werden. Bislang sind IT-Management und Automatisierungstechnik meist in zwei autarken Abteilungen mit unterschiedlicher fachlicher Ausrichtung organisiert. 5G ermöglicht potenziell ein Zusammenwachsen dieser beiden Bereiche, was Fragen der Reorganisation zur Folge hat.

Als übergreifendes Hindernis sind schließlich hohe Kosten zu nennen, die mittelbar oder unmittelbar aus den genannten Hemmniskategorien folgen. Unmittelbare Kosten entstehen beispielsweise durch die derzeit enormen Hardwarekosten für 5G-fähige Produktbestandteile. Gleiches gilt für die Inbetriebnahme und den Betrieb von firmeneigenen Campusnetzwerken – hierdurch sind in vielen Fällen 5G-basierte Produktionsansätze nicht rentabel. Ebenso führen Regulierungsaspekte durch teure Zertifizierungen beziehungsweise erforderliche Anpassungen an internationale Märkte zu zusätzlichen Kosten. Daneben sind durch Qualifikationsmaßnahmen hohe finanzielle Aufwände zu erwarten. Mittelbar können Probleme bezüglich der Zuverlässigkeit kostenintensive Produktionsausfälle beziehungsweise Haftungsansprüche nach sich ziehen.

Damit diese Kosten gesenkt werden und der Einsatz von 5G wirtschaftlicher wird, muss an unterschiedlichen Stellen geforscht werden, zum Beispiel an der Zuverlässigkeit und Leistungserfüllung in konkreten Szenarien, insbesondere im Kontext von Industrie 4.0 und smarten Produkten. Daneben ist die Entwicklung von Strategien essenziell, um das Klumpenrisiko von 5G-Netzen im industriellen Bereich zu beherrschen. Hinsichtlich der Regulierungsfragen ist es notwendig, Möglichkeiten zum internationalen Einsatz von 5G-Lösungen zu identifizieren. Daneben bedarf es qualifikatorischer Maßnahmen, um 5G flächendeckend in die industrielle Anwendung zu bringen.

3.5 Impulse zur Überwindung der Hemmnisse und Hürden

Die zunehmende Digitalisierung und die 5G-Technologie bieten Unternehmen neue Chancen, beispielsweise im Rahmen von Industrie 4.0. Diese Chancen erhöhen jedoch auch den Druck, die 5G-Technologie in diesem Kontext zu verstehen und anzuwenden. Gleichzeitig sollten auf politischer Ebene die Voraussetzungen hierfür verbessert werden. Für Unternehmen bestehen erste Ansätze, um die Unsicherheit hinsichtlich Zuverlässigkeit, Regulierung, Qualifikation, Reorganisation und hoher Kosten bei der Integration von 5G zu überwinden. Hierfür bedarf es einer ganzheitlichen wirtschaftlichen Betrachtung auf strategischer Unternehmensebene. Dabei gilt es, die Perspektiven der Beschäftigten frühzeitig einzubeziehen sowie sich auf den konkreten Nutzen der neuen Technologie für das eigene Unternehmen zu fokussieren und diesen sichtbar zu machen. Darüber hinaus sind unternehmensübergreifende Kooperationen sowie politische Maßnahmen zielführend. Damit kann 5G einen Beitrag nicht nur für



einzelne Unternehmen, sondern auch für eine starke Position des deutschen Standorts im internationalen Wertschöpfungs-system und Wettbewerb leisten.

Die Zuverlässigkeit der 5G-Technologie kann in praxisnahen Anwendungen erprobt werden, wodurch der konkrete Leistungsumfang beispielsweise auf Störanfälligkeit untersucht werden kann. Weiterhin können Redundanzkonzepte die Zuverlässigkeit der Vernetzung von Systemen erhöhen. Pilotversuche ermöglichen es, die Systemzuverlässigkeit von 5G-Konzepten zu prüfen sowie etwaige Hemmnisse und Hürden frühzeitig zu identifizieren und zu beseitigen. Dementsprechend wichtig ist es, Verifikations- und Validierungskonzepte schon zu Beginn zu erarbeiten und bei der Integration der Technologie zu berücksichtigen.

In Haftungsfragen kann eine objektive Bewertung von Systemen und Anwendungsfällen Transparenz schaffen. So kann vor allem die analysierte Systemkritikalität Aufschluss über offene Haftungsfragen geben.

Um Zertifizierungskosten und -aufwände zu reduzieren, können vorzertifizierte Baugruppen eingekauft werden.

Des Weiteren sind länderübergreifende Kooperationen essenziell, um Fragen wie die Regulierung auf internationaler Ebene gemeinsam zu lösen. Zentral ist hierfür die Arbeit von Organisationen wie dem 3rd Generation Partnership Project (3GPP) hinsichtlich Standardisierung, die einen Vorausblick auf zukünftige Potenziale ermöglicht. Beispielsweise beschreibt das Release 16 die Positionsbestimmung von Objekten. Die Positionsbestimmungstechniken via 5G versprechen eine Genauigkeit von circa 3 Metern im Innen- und rund 10 Metern im Außenbereich. Weitere Forschungsarbeiten am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltung in Nürnberg haben sogar eine Genauigkeit von bis zu 20 Zentimetern nachgewiesen.³⁰ Hier besteht jedoch zusätzlich Forschungsbedarf, um beispielsweise mit der Millimeterwellentechnologie (mmWave) die Objektpositionsbestimmung weiter verbessern zu können. Die Interviewpartnerinnen und -partner sehen in den Themenbereichen Datenschutz, Lizenzvergaben, finanzielle und beratende Förderungen sowie im Ausbildungssystem und bei Genehmigungsverfahren politische Einflussmöglichkeiten auf Kommunal-, Landes- und Bundesebene. Beispielsweise könnten kurzfristige und zeitlich begrenzte Vergaben einer Lizenz über ein Onlineportal den neuen Bereich „5G on demand“ ermöglichen und damit zu neuen Anwendungsfällen führen. Wenngleich 5G eine drahtlose Kommunikationstechnologie darstellt, ist eine

kabelgebundene Breitbandanbindung an den Antennen beziehungsweise Übergabepunkten weiterhin essenziell. Demnach werden die Breitbandanbindung und deren weiterer Ausbau als wichtige Voraussetzungen für eine breite Einführung von 5G angesehen. Zudem benötigen Unternehmen Investitionssicherheit. In diesem Sinne können beispielsweise öffentliche Institutionen den Netzausbau vornehmen und somit den Unternehmen Freiräume für technische Lösungen und Dienstleistungen eröffnen.

„Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sollten in Entscheidungen zur Integration von 5G frühzeitig eingebunden werden.“

Neben der Standardisierung ist ein wesentlicher Faktor die Rolle des Menschen. Mithilfe von Schulungen, Workshops und weiteren Angeboten können Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter die Technologie 5G kennenlernen und sich qualifizieren. So sollte bei einer Integration der Technologie geprüft werden, wie und wo kollaborative Systeme entstehen können und wie geeignete Mensch-Maschine-Schnittstellen die Arbeit der Beschäftigten unterstützen. Bedenken wie etwa Angst vor Strahlenbelastung, Personalabbau und Nichteinhaltung von gesetzlichen Bestimmungen oder geopolitische Vorbehalte bezüglich der Daten sollten gemeinsam adressiert sowie faktenbasiert diskutiert und wenn möglich ausgeräumt werden.

Es ist sinnvoll, ein Kompetenznetzwerk im eigenen Unternehmen und mit externen Partnern aufzubauen. Dieses kann die Nutzerinnen und Nutzer selbst dazu befähigen, Anwendungsfälle zu identifizieren und diese dahingehend zu bewerten, ob und wie sie von 5G profitieren würden. Die Anwendungsfälle sollten sowohl innerhalb des eigenen Unternehmens als auch in seinem gesamten Wertschöpfungsnetzwerk gesucht werden. Deshalb sind für den Kompetenzaufbau auch Partnerschaften mit anderen Unternehmen nützlich und teilweise sogar zwingend erforderlich; diese Meinung vertritt die überwiegende Mehrheit der im Rahmen des IMPULS befragten Expertinnen und Experten. Beispiele für einen solchen Kompetenzaufbau sind momentan noch sehr weit verstreut und reichen von Onlinewebinaren über Beratungsangebote bis hin zur Unterstützung von Verbänden (zum Beispiel 5G-ACIA³¹ oder European 5G Observatory³²). Die zur Einführung der Technologie bereits etablierten Campusnetze könnten speziell als Spielwiese für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) ausgebaut werden. So könnten diese

30 | Vgl. Heise Medien 2020.

31 | Vgl. 5G-ACIA auf <https://5g-acia.org/>.

32 | Vgl. European 5G Observatory auf <https://5gobservatory.eu/>.

kostengünstig Wissen über die Technologie aufbauen und Pilotversuche schnell und unkompliziert testen.

Fragen der Reorganisation sollten hingegen unternehmensintern beantwortet werden.

Mithilfe von Vorgehensmodellen und Leitfäden zur erfolgreichen Integration von 5G können Handlungsoptionen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik abgegeben werden. Generell sollte ein Unternehmen zur erfolgreichen Integration von 5G selbst eine Innovationskultur pflegen und beispielsweise eine Einführung von 5G im Rahmen von Pilotversuchen prüfen.

Eine erfolgreiche Integration sollte über eine ganzheitliche wirtschaftliche Betrachtung auf strategischer Unternehmensebene erfolgen. Rechtliche, organisatorische und technologische Fragen, die sich aus einer Anwendung im operativen Betrieb eines Unternehmens ergeben, müssen adressiert werden, so zum Beispiel: Liegen bei Anwendungsfällen Probleme vor, etwa bei den Parametern Bandbreite, Latenzzeiten, Sicherheit und Reichweite, die durch 5G gelöst werden können? Nur wenn mittels 5G neue, konkrete Anwendungsfälle realisiert werden können, wird die Technologie als interessant eingestuft. Zur Überwindung von Kostenhemmnissen können insbesondere Synergieeffekte genutzt werden. Beispielsweise kann eine unternehmensübergreifende 5G-Infrastruktur (siehe das in Kapitel 3.1 erläuterte Konzept von geteilter 5G-Infrastruktur) die Anschaffungs- und Unterhaltskosten verringern.

Des Weiteren muss bei der 5G-Technologie die Frage „Make or buy?“ beantwortet werden. Dies zielt auf Partnerangebote und Servicedienstleister ab, die Unternehmen bei der Einführung

unterstützen können. Dadurch werden sich die Wertschöpfungsnetzwerke verändern und neue Geschäftsfelder entstehen. Hierbei ist auch der Aspekt der Digitalen Souveränität Deutschlands zu beachten. Nur wenn die passenden Rahmenbedingungen geschaffen werden, kann sich ein florierendes Ökosystem rund um 5G etablieren. Die Voraussetzung dafür ist eine polypole Marktstruktur, die sich durch eine Konkurrenzsituation auszeichnet. Damit neue Anbieter in den Markt eintreten, müssen jedoch die Rahmenbedingungen für Start-ups genauso wie für etablierte Unternehmen attraktiv sein. Hier muss sich die Politik engagieren, indem die Markteintrittsbarrieren geringgehalten werden. Eine Möglichkeit ist beispielsweise die Gewährleistung gleichberechtigter Zugänge zu Datenräumen für alle Anbieter. Das Ökosystem, das auf 5G aufbauen kann, ist breit gefächert und bietet zahlreiche Potenziale, damit sich neue Geschäftsmodelle basierend auf Dienstleistungen entwickeln können. Diese Dienstleistungen können auf nahezu allen Ebenen der Digitalen Souveränität angesiedelt sein: beginnend mit der Bereitstellung von Infrastruktur (Ebene 2) und Dienstleistungen, die direkt damit in Verbindung stehen (Ebene 3), über Anwendungsökosysteme (Ebene 4) bis hin zur Gestaltung von Datenräumen (Ebene 5) und der Entwicklung von Software, die diese Daten nutzt (Ebene 6). Ein auf allen Ebenen florierendes Ökosystem ist anzustreben und zu fördern, da die Anwender so ohne Gefahr eines Lock-ins frei entscheiden können, ob sie lieber Dienstleistungen einkaufen oder selbst Know-how aufbauen wollen.³³

In diesem Kapitel wurden zahlreiche Aspekte für eine erfolgreiche Integration von 5G beschrieben. Wie eine erfolgreiche, strukturierte Einführung von 5G in verschiedenen Unternehmen erfolgen kann, sollte in nachfolgenden Vertiefungsprojekten weiter untersucht werden.



4 Handlungsfelder

5G ist eine Schlüsseltechnologie für die Weiterentwicklung von Industrie 4.0 und darauf aufbauender Geschäftsmodelle. Im Vergleich zu bisherigen Funktechnologien bietet 5G zahlreiche Vorteile für die Produktentwicklung und Produktion. Der vorliegende acatech IMPULS zeigt die verschiedenen Potenziale von 5G auf. Aktuell besteht jedoch in vielen Handlungsfeldern noch eine große Unsicherheit im Zusammenhang mit dieser Technologie. Für Unternehmen – insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) – ist es oft nicht einfach, die Potenziale von 5G zu erkennen, dessen Einführung zu realisieren und die damit verbundenen Kosten abzuschätzen. Hier müssen in den Unternehmen und unter wissenschaftlicher Begleitung klar strukturierte **Anwendungsfälle (Use Cases)** konzipiert werden. Erst die industrielle (branchen- beziehungsweise unternehmensspezifische) Anwendung in der Praxis macht die Vor- und Nachteile der Technologie deutlich. Auf dieser Grundlage können Unternehmen die eigene Produktion und Produktentwicklung kritisch analysieren, eine systematische Einführung von 5G anstoßen und die Technologie gewinnbringend nutzen. Vier Themenbereiche stehen dabei im Fokus einer tiefergehenden Untersuchung sowie der Entwicklung von Use Cases.

„Übergreifend denke ich, dass sehr viele Nutzerinnen und Nutzer nicht wissen, was sie mit 5G machen können und wo die Technologie angewendet werden kann.“

1. Industrielle Leistungsfähigkeit der 5G-Technologie
2. Neue Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsszenarien
3. Qualifizierung und Arbeitswelt
4. Regulation und Infrastruktur

Für diese vier Bereiche zur Veranschaulichung industrieller Anwendungen ergeben sich verschiedene Forschungs- und Entwicklungsbedarfe, die mit diesem IMPULS adressiert werden sollen.

Im Themenfeld **Industrielle Leistungsfähigkeit der 5G-Technologie** müssen die technologischen Handlungsbedarfe abgesteckt werden. Die Use Cases sollten insbesondere die Implementierung von neuen Funktionalitäten aufzeigen. Viele Kernfunktionen für die Anwendung von 5G in Produktentwicklung und Produktion sind geplant und konzipiert, aber nach aktuellem Stand noch nicht umgesetzt. Der Funktionsumfang und die Leistungsparameter von

5G werden mit den anstehenden Veröffentlichungen (Releases des 3rd Generation Partnership Project – siehe Kapitel 2) weiterentwickelt. Für folgende Aspekte bestehen Forschungs- und Entwicklungsbedarfe, die anwendungsnah untersucht werden sollten:

- **Reale Leistungsfähigkeit:** Es muss sichergestellt werden, dass die Leistungsparameter im industriellen Alltag eingehalten werden. Gerade für schwierige Konstellationen wie etwa ein (in mehrere Netzwerkscheiben (Slices)) unterteiltes Netz, in dem jedes Slice verschiedene Leistungsparameter erfüllen soll, besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf.
- **Zuverlässigkeit:** Aufgrund der zahlreichen Anwendungspotenziale von 5G stellt die Technologie eine zentrale kritische Infrastruktur von (intelligenten) Fabriken dar. Dementsprechend wichtig ist es, dass es nicht zu Ausfällen kommt und die Zuverlässigkeit der Technologie umfassend erforscht wird.
- **Sicherheit:** Aufgrund der Kritikalität der 5G-Infrastruktur stellen 5G-Netze ein Ziel für Angriffe von außen dar. Im Vergleich zu anderen drahtlosen Kommunikationstechnologien verspricht 5G zwar einen besseren Schutz vor solchen Attacken, jedoch muss auch in Zukunft weiter daran geforscht werden, wie das Risiko von Hackerangriffen minimiert werden kann.

In Bezug auf **neue Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsszenarien** besteht ebenfalls der Bedarf, konkrete Use Cases zu entwickeln. Auch wenn sich bereits Beispiele und Möglichkeiten abzeichnen, ist eine strukturierte und umfassende Analyse notwendig, um vielversprechende Geschäftsmodelle sowie potenziell noch nicht gegebene Rahmenbedingungen beziehungsweise Voraussetzungen zu identifizieren und Lücken zu schließen. Dies gilt umso mehr, als das Zusammenspiel von Infrastruktur-anbietern, Serviceanbietern und Anwendern oftmals integriert betrachtet werden muss (siehe Kapitel 3.1). Weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarfe sind in diesem Kontext zu beachten:

- **Digitale Ökosysteme:** Die Entstehung neuer Geschäftsmodelle und Nischen für neue Anbieter bildet die Basis für ein gesundes Ökosystem rund um 5G – insbesondere im Bereich von 5G-Dienstleistungen. Dadurch eröffnen sich auch für Anwender neue Optionen, und die Entscheidung „Make or buy?“ kann unabhängig von drohenden Abhängigkeiten (Lock-ins) getroffen werden. Die Frage, welche Voraussetzungen für die Entstehung florierender digitaler Ökosysteme aktuell noch nicht gegeben sind, bedarf weiterer Forschung.

Beim Themenbereich **Qualifizierung und Arbeitswelt** kann die industrielle Anwendung in der Praxis aufzeigen, wie sich das volle Potenzial der Technologie identifizieren und nutzen lässt. Dabei geht es insbesondere auch darum, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei dieser Entwicklung mitzunehmen. Es gilt, durch Transparenz Hürden abzubauen und Chancen zu vermitteln. Folgende konkrete Bedarfe bestehen in diesem Kontext:

- **Arbeitsorganisation:** In der Produktentwicklung und Produktion werden sich Arbeitsprozesse verändern, sodass sie reorganisiert werden müssen. 5G erweitert die Möglichkeiten flexibler und weniger hierarchischer Abläufe in der Industrie 4.0, wovon auch die Tätigkeiten der Beschäftigten betroffen sind. Darüber hinaus entsteht die Notwendigkeit für Veränderungen in der Zusammenarbeit von Arbeitsabteilungen (zum Beispiel IT-Management und Automatisierungstechnik, siehe Kapitel 3.4).
- **Arbeitskultur:** Potenziale für standortverteiltes Arbeiten durch 5G können zu neuen Arbeitsweisen führen. Virtual-Reality- oder Augmented-Reality-Anwendungen in Verbindung mit Künstlicher Intelligenz (KI) kommt durch 5G eine zunehmende Bedeutung zu. So können Spielräume für anspruchsvollere, kreativere Tätigkeiten eröffnet und die Zusammenarbeit und Führung sowie das Erleben der Arbeit verändert werden.
- **Qualifikationen auf Anwenderseite:** Um die zahlreichen Anwendungspotenziale im eigenen Unternehmen identifizieren zu können, müssen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter entsprechend geschult sein. Nur durch Weiterbildungen können sie ein umfassendes Verständnis für die Möglichkeiten von 5G aufbauen und in die Lage versetzt werden, mit der Technologie zu arbeiten. Auch vor dem Hintergrund, dass der Einsatz von 5G die Arbeitswelt nachhaltig verändern wird, ist es wichtig, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mitzunehmen, um Berührungspunkte abzubauen.
- **Qualifikationen auf Anbieterseite:** Auf Anbieterseite ist es ebenfalls notwendig, ein weitreichendes Know-how zu 5G aufzubauen, damit Services angeboten werden können, die den Bedarfen verschiedener Anwender in Produktentwicklung und Produktion entsprechen, und der Weg zur Adaption neuer Geschäftsmodelle möglichst frühzeitig geebnet wird.
- **Haftungsfragen:** Wie bereits ausgeführt (siehe Kapitel 3.4), stellt 5G eine zentrale kritische Infrastruktur im Bereich der Produktentwicklung und Produktion dar. Aus diesem Grund muss eine verlässliche und durchsetzbare Regelung hinsichtlich der Haftung gefunden werden, die bei Ausfällen oder Störungen greift und Rechtssicherheit schafft.
- **Datensouveränität:** Gerade auch wegen der unternehmensübergreifenden Potenziale und der Bedeutung europäischer Datenräume ist es entscheidend, dass klare, eindeutige und zielgerichtete Regelungen hinsichtlich der gemeinsamen Datennutzung und der Datensouveränität geschaffen werden. Dies betrifft sowohl die gemeinsame Datennutzung und -verwertung als auch die Datensouveränität und -speicherung. Derartige Regelungen sind eine wichtige Basis für die Entstehung von Geschäftsmodellen, die auf der Nutzung gemeinsamer Daten aufbauen. Auch die Synergien durch gemeinsame Datennutzung können ihr Potenzial erst entfalten, wenn Fragen hinsichtlich der Datensouveränität geklärt sind.
- **(Internationale) Standardisierung:** Bei der Vergabe von 5G-Lizenzen müssen verbindliche Regelungen getroffen werden, die den beteiligten Stakeholdern Rechtssicherheit bieten. Die Vergabe von Lizenzen ist derzeit in vielen Regionen der Welt unterschiedlich geregelt, was die Übertragung von 5G-Lösungen in andere Länder erheblich erschwert. Damit 5G-Fabrik-Konzepte, -Fertigungsverfahren und -Produkte auch auf internationaler Ebene übertragen und eingesetzt werden können, muss eine weltweit einheitliche Standardisierung forciert werden – idealerweise durch eine Kooperation mit internationalen Partnern.
- **Flächendeckender Netzausbau:** Erst wenn das öffentliche 5G-Netz großflächig in Deutschland und Europa zur Verfügung steht, funktioniert die nahtlose Übergabe von Campusnetzen in das öffentliche Netz. Dazu muss der Breitbandausbau vorangetrieben werden, da für 5G-Campusnetze weiterhin eine schnelle, kabelgebundene Internetanbindung benötigt wird. Auch auf Unternehmensebene ist ein breiter Ausbau der 5G-Infrastruktur wichtig, denn nur wenn alle Akteure in einem Wertschöpfungsnetzwerk auf die gleiche Technologie setzen, lassen sich Informationssilos aufbrechen und unternehmensübergreifende Mehrwerte und Synergien schaffen.
- **Sichere Cloud-Infrastruktur:** Eine zentrale Voraussetzung für die Entstehung florierender Ökosysteme und die Nutzung zahlreicher 5G-Potenziale ist im ersten Schritt eine funktionierende Cloud-Infrastruktur. Um hier nicht in eine Abhängigkeit – einen Lock-in – zu rutschen, ist es wichtig, dass eine europäische Alternative zu den Angeboten der großen Cloud-Anbieter (Hyperscaler) aufgebaut wird. Mit Gaia-X wurden bereits erste Schritte in diese Richtung unternommen;

Hinsichtlich **Regulation und Infrastruktur** bestehen Forschungs- und Entwicklungsbedarfe, die von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft gemeinsam angegangen werden müssen. Erst in einem geregelten Umfeld sind Unternehmen bereit, Investitionen in zukünftige Technologien zu tätigen. Auch hier können Use Cases dazu beitragen, entscheidende Fragen aufzuwerfen und anschließend zu klären.



es ist aber wichtig, hier nun auch schnell in die Umsetzung zu kommen. Darüber hinaus sollten Leuchtturmprojekte konzipiert werden, die sich das Zusammenspiel von 5G und Cloud-Computing zunutze machen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass 5G ein zentraler Enabler ist, um Industrie 4.0-Innovationen in vollem Umfang realisieren zu können. Dazu müssen jedoch die

skizzierten Handlungsfelder weitergehend untersucht und Lösungsansätze erarbeitet werden. Erst auf diese Weise werden die Voraussetzungen geschaffen, um die Anwendung von 5G in der industriellen Wertschöpfung möglichst umfassend und gewinnbringend zu gestalten. 5G wird somit zu einem wichtigen Baustein, um die Wettbewerbsfähigkeit am deutschen Wirtschafts- und Innovationsstandort zu erhalten und weiter zu verbessern.

5 Ausblick

Auf Basis des vorliegenden acatech IMPULS kann festgehalten werden, dass

1. die weitreichenden grundsätzlichen Potenziale von 5G bekannt sind und
2. die Technologiereife einen industriellen Einsatz von 5G erlaubt, aber
3. die **5G-Technologie im industriellen Umfeld in weiten Teilen nicht implementiert ist.**

In diesem IMPULS wurden die industrielle Leistungsfähigkeit der 5G-Technologie, neue Geschäftsmodelle und Wertschöpfungs-szenarien sowie Qualifikationen und die Arbeitswelt als Themenbereiche identifiziert, die unternehmensindividuell adressiert werden müssen, damit 5G in der Industrie breite Anwendung findet.

Zur Implementierung der 5G-Technologie in der Industrie werden als **Ausblick** die folgenden konkreten Schritte vorgeschlagen: Im Rahmen dieses acatech IMPULS konnte aufgedeckt werden, dass Unternehmen zwar um den theoretischen Nutzen von 5G wissen und die Technologie als wegweisend einschätzen, eine konkrete Investition in die Technologie aber zumeist noch scheuen. Um hier Abhilfe zu schaffen, sollte im nächsten Schritt ein Vertiefungsprojekt durchgeführt werden, in dessen Rahmen ein Leitfaden für Unternehmen entstehen sollte. Hierbei genügt es nicht, „nur“ einen unternehmensübergreifenden Leitfaden zu konzipieren, sondern es muss ein konkreter Werkzeugkasten erarbeitet werden, der es einem Unternehmen erlaubt,

1. den individuellen **Status quo** hinsichtlich 5G einzuschätzen und
2. individuelle, konkrete **Leuchtturmprojekte** inklusive einer **Umsetzungsroadmap** und einer detaillierten Kosten-Nutzen-Abschätzung abzuleiten.

Der Werkzeugkasten kann hierbei an den erfolgreichen Industrie 4.0-Leitfaden angelehnt werden.³⁴



Abbildung 7: Mögliche weitere Schritte zur umfassenden Implementierung von 5G in der Industrie (Quelle: eigene Darstellung unter der Verwendung von Icons von Noun)



In einem darauf aufbauenden Schritt könnten Unternehmen bei der Umsetzung der Leuchtturmprojekte sowohl finanziell als auch personell durch eine wissenschaftlich fundierte Begleitung unterstützt werden (siehe Abbildung 7). Im Rahmen dieser konkreten Projekte müssen dann die im acatech IMPULS identifizierten zentralen Felder adressiert werden. Die Umsetzung muss also aus den Unternehmen heraus angetrieben werden, um damit eine Sogwirkung (Pull-in-Effekt) für weitere Unternehmen zu generieren. Ziel ist es, damit eine 5G-Lawine in der Industrie loszutreten: Wenn erste Unternehmen die 5G-Technologie in realen Projekten umgesetzt und deren Potenziale gehoben haben, wird dies dazu führen, dass die konkret erzielbaren Vorteile in der Praxis sichtbar werden. So kann ein sich selbst verstärkendes

System zur Implementierung von 5G in der deutschen Industrie entstehen und Deutschland bei der Implementierung von 5G führend werden. Die Forschung an der auf der 5G-Technologie aufbauenden Mobilfunktechnologie der sechsten Generation (6G) sollte dabei unbedingt parallel betrieben werden. Ungeachtet der verbesserten Spezifikationen der 6G-Technologie bleiben die im IMPULS identifizierten Handlungsfelder für die praktische Implementierung von 5G und 6G für die deutsche Industrie gleich. Die 5G-Technologie muss zunächst erfolgreich implementiert werden, und die dadurch entstehenden Potenziale müssen ausgeschöpft werden, um damit eine gute Grundlage für die erfolgreiche Implementierung der 6G-Technologie ab 2030 zu schaffen.

Literatur

3GPP

3rd Generation Partnership Project (3GPP). URL: www.3gpp.org/ [Stand: 17.12.2021].

3GPP 2021

3rd Generation Partnership Project (3GPP) (Hrsg.): *Releases*, 2021. URL: www.3gpp.org/specifications/67-releases [Stand: 06.08.2021].

3GPP 2018

3rd Generation Partnership Project (3GPP) (Hrsg.): *TR 21.914 V14.0.0 (2018-08). Technical Report*, 2018. URL: www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/21_series/21.914/ [Stand: 17.11.2021].

5G-ACIA 2021

5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA) (Hrsg.): *Security Aspects of 5G for Industrial Networks*, 2021. URL: <https://5g-acia.org/whitepapers/security-aspects-of-5g-for-industrial-networks/> [Stand: 05.11.2021].

acatech 2021

acatech (Hrsg.): *Digitale Souveränität. Status quo und Handlungsfelder* (acatech IMPULS), München 2021.

Bosch Rexroth AG

Bosch Rexroth AG (Hrsg.): *Offen für alle Generationen*. URL: <https://apps.boschrexroth.com/microsites/ctrlx-automation/de/news-stories/story/offen-fuer-alle-generationen/> [Stand: 04.08.2021].

Bundesnetzagentur 2021

Bundesnetzagentur (Hrsg.): *Regionale Netze*, 2021. URL: www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html [Stand: 23.11.2021].

Cisco 2020

Cisco (Hrsg.): *Examining the Security of Wi-Fi 6 and 5G*, 2020. URL: www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/white-paper-c11-743921.html [Stand: 05.11.2021].

Colman-Meixner et al. 2019

Colman-Meixner, C./Khalili, H./Antoniou, K./Siddiqui, M. S./Papageorgiou, A./Albanese, A./Cruschelli, P./Carrozzo, G./Vignaroli, L./Ulisses, A./Santos, P./Colom, J./Neokosmidis, I./Pujal, D./Spada, R./Garcia, A./Figerola, S./Nejabati, R./Simeonidou, D.: „Deploying a Novel 5G-Enabled Architecture

on City Infrastructure for Ultra-High Definition and Immersive Media Production and Broadcasting". In: *IEEE Transactions On Broadcasting*, 65:2, 2019, S 392–403.

Capgemini 2021

Capgemini (Hrsg.): *Accelerating the 5G Industrial Revolution – State of 5G and Edge in Industrial Operations*, 2021. URL: www.capgemini.com/de-de/research/die-5g-revolution-der-industrie-beschleunigen/ [Stand: 05.11.2021].

Foukas et al. 2017

Foukas, X./Patounas, G./Elmokashfi, A./Marina, M. K.: „Network Slicing in 5G: Survey and Challenges". In: *IEEE Communications Magazine*, 55:5, 2017, S. 94–100.

Fraunhofer IPK

Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) (Hrsg.): *Transferzentrum 5G Technologien*. URL: www.digitale-vernetzung.org/de/transferzentren/5g.html#13231459591 [Stand: 13.08.2021].

Heise Medien 2020

Heise Medien GmbH & Co. KG (Hrsg.): „Ortung mit 5G – auf 20 Zentimeter genau". In: *extra Fabrik der Zukunft*, 5, 2020.

IEEE 2021

IEEE (Hrsg.): „IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Enhancements for High-Efficiency WLAN". In: *IEEE Std 802.11ax*, 2021, S. 1–767.

ITU 2017

International Telecommunication Union (ITU) (Hrsg.): *Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s)*, 2017. URL: www.itu.int/pub/R-REP-M.2410 [Stand: 26.11.2021].

Jodel 2015

Jodel, M.: *WLAN wie der FC Bayern: Was man von der Allianz Arena lernen kann*, 2015. URL: <https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/wlan-wie-der-fc-bayern-was-man-von-der-allianz-arena-lernen-kann-65530> [Stand: 04.08.2021].

KIT 2020

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (Hrsg.): „Produkt-Produktions-Co-Design für agile Produktentstehungsprozesse". In: *IPEK Inside*, 1, 2020, S12. URL: [//www.ipek.kit.edu/downloads/IPEK_inside_2020.pdf](http://www.ipek.kit.edu/downloads/IPEK_inside_2020.pdf) [Stand: 12.11.2021].

**Lopez-Perez et al. 2019**

Lopez-Perez, D./Garcia-Rodriguez, A./Galati-Giordano, L./Kasslin, M./Doppler, K.: „IEEE 802.11be Extremely High Throughput: The Next Generation of Wi-Fi Technology Beyond 802.11ax“. In: *IEEE Communications Magazine*, 57:9, 2019, S. 113–119.

Menning et al. 2019

Menning, J./Hajek, L./Münder, P.: *Whitepaper. 5G in Production*, 2019. URL: www.umlaut.com/uploads/documents/200331_Whitepaper_5GinProduction_umlaut.pdf [Stand: 12.11.2021].

Noun

Noun Projekt. URL: <https://thenounproject.com/> [Stand: 17.12.2021].

Oughton et al. 2021

Oughton, E. J./Lehr, W./Katsaros, K./Selinis, I./Bubley, D./Kusuma, J.: „Revisiting Wireless Internet Connectivity: 5G vs Wi-Fi 6“. In: *Telecommunications Policy*, 45:5, 2021, Artikel 102127.

Penttinen 2021

Penttinen, J. T. J. (Hrsg.): *5G Second Phase Explained. The 3GPP Release 16 Enhancements*, Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell 2021.

Schneider et al. 2019

Schneider, S./Peuster, M./Behnkey, D./Müller, M./Bök, P.-B./Karl, H.: „Putting 5G into Production: Realizing a Smart Manufacturing Vertical Scenario“. In: *2019 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, IEEE 2019, S. 305–310.

VDMA 2020

VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (Hrsg.): *5G im Maschinen- und Anlagenbau – Leitfaden für die Integration von 5G in Produkt und Produktion*, Frankfurt am Main: 2020.

VDMA 2015

VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (Hrsg.): *Leitfaden Industrie 4.0. – Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand*, Frankfurt am Main: 2015.







acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de.



Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer

wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts
für Technologie (KIT)
Kaiserstr. 12
76131 Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl

Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK) an der
Technischen Universität Darmstadt
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers

IPEK Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Instituts
für Technologie (KIT)
Kaiserstr. 12
76131 Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Jan Aurich

Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation an
der Technischen Universität Kaiserslautern
Gottlieb-Daimler-Straße, Gebäude 42
67663 Kaiserslautern

Reihenherausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2021

Geschäftsstelle

Karolinenplatz 4
80333 München
T +49(0)89/52 03 09-0
F +49(0)89/52 03 09-900

Hauptstadtbüro

Pariser Platz 4a
10117 Berlin
T +49(0)30/2 06 30 96-0
F +49(0)30/2 06 30 96-11

Brüssel-Büro

Rue d'Egmont/Egmontstraat 13
1000 Brüssel (Belgien)
T +32 (0)2/2 13 81-80
F +32 (0)2/2 13 81-89

info@acatech.de
www.acatech.de

Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Prof. Dr. Ann-Kristin Achleitner,
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl (Amt ruht derzeit), Dr. Stefan Oschmann, Dr.-Ing. Reinhard Ploss,
Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Martina Schraudner

Empfohlene Zitierweise:

Fleischer, J./ Albers, A./Anderl, R./Aurich, J. (Hrsg.): *5G in der Industrie. Wege in die Technologieführerschaft in
Produktentwicklung und Produktion* (acatech IMPULS), München 2021. DOI: https://doi.org/10.48669/aca_2021-2

ISSN 2702-7627

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung,
des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege
und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften • 2021

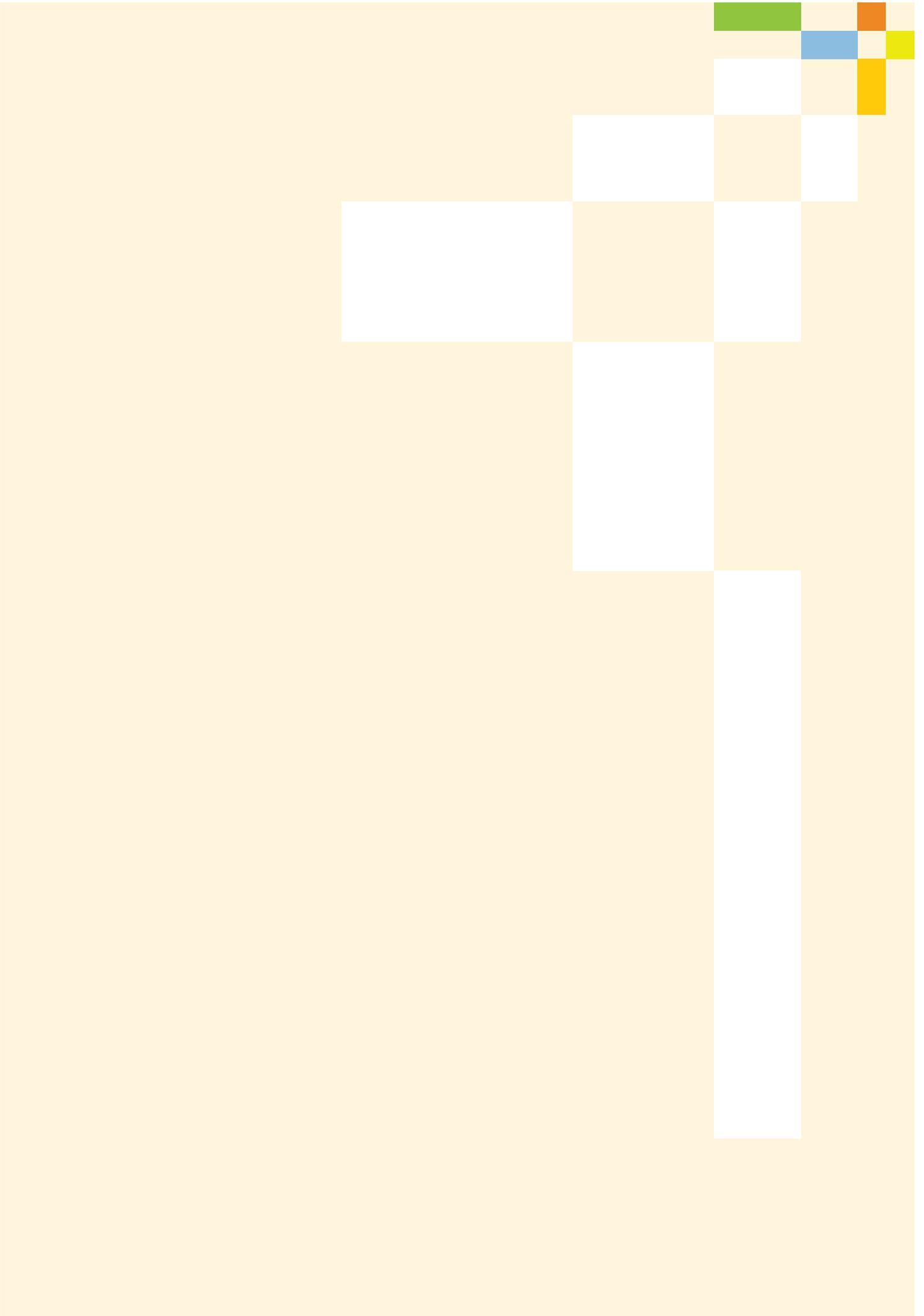
Koordination: Simon Litsche, Dr. Steffen Steglich

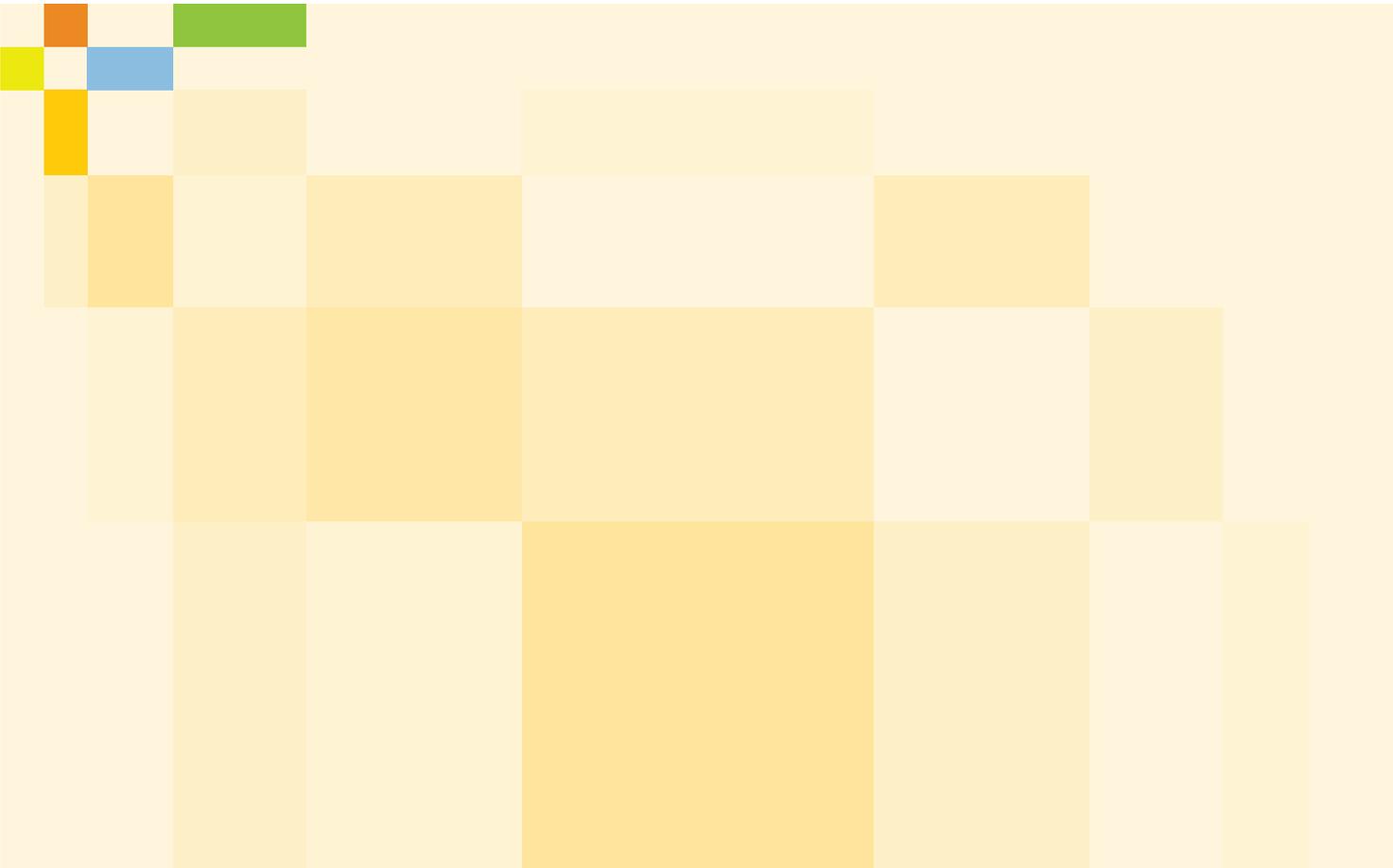
Redaktion: Alrun Straudi

Layout-Konzeption: Groothuis, Hamburg

Titelfoto: Blue Planet Studio

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.acatech.de





Der neue Mobilfunkstandard der fünften Generation (5G) bietet weitreichende Potenziale für die deutsche Wirtschaft. Insbesondere die Industrie profitiert durch den Einsatz von 5G. Prozesse können leichter digitalisiert und flexibler gestaltet werden, das Arbeiten wird mobiler und durch den Einsatz von augmentierter und virtueller Realität effizienter. 5G optimiert die Vernetzung von Geräten, Maschinen und Anlagen und führt damit zu einer besseren Datenverfügbarkeit in der Industrie. Dies hat auch positive Auswirkungen auf den prozessübergreifenden Einsatz von künstlicher Intelligenz. Geringe Latenzzeiten, große Bandbreiten sowie die Anbindung einer großen Anzahl an Geräten in unternehmenseigenen Campus-Netzen machen 5G zu einem zentralen Enabler für Industrie 4.0 und die Verwirklichung von smarten Fabriken.

Der vorliegende IMPULS beschreibt Potenziale von 5G sowie mögliche Hemmnisse für die Implementierung von 5G. Darauf aufbauend werden Handlungsoptionen für Wissenschaft, Wirtschaft und Politik abgeleitet. Der abschließende Ausblick adressiert die notwendigen nächsten Schritte, um die 5G-Technologie möglichst schnell in die breite industrielle Anwendung zu bringen.