

# WHITE PAPER

## 5G Charakterisierung

PADERBORN 2019



| VERSION 1.1

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Industrielles  
Internet



Taktiles  
Internet

# Inhalt

01 Einführung.....	4
02 Themenblock Anforderungen .....	6
03 Themenblock Technologien .....	9
04 Themenblock Gestaltung .....	13
05 Die Wertschöpfungskette .....	16
06 Gesellschaftliches und politisches Umfeld .....	20
07 Aktuelle Gesamteinschätzung.....	23
08 Glossar.....	24
09 Impressum.....	25

## Autoren:

Dr. Lutz Stobbe | Fraunhofer IZM  
Michael Kemkes | InnoZent OWL e.V.  
Thomas Mager | Fraunhofer IEM  
Dr. Simon Oberthür | Universität Paderborn / SICP  
Dr. Gunnar Schomaker | Universität Paderborn / SICP

## Hinweis:

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen **16KIS0564K** gefördert.  
Die Inhalte wurden im Rahmen der Fachgruppen der „Informationsplattform für 5G“ im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „5G – Industrielles Internet“ des BMBF-Förderprogramms „IKT 2020 – Forschung für Innovationen“ erörtert.  
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

# 01 Einführung

Das Gelingen der digitalen Transformation der deutschen Industrie wird maßgeblich über die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Deutschland entscheiden. Die **Industrie 4.0-Strategie** soll dafür sorgen, dass insbesondere auch der Mittelstand diese Transformation erfolgreich bewältigt. Treiber und Rückgrat der Transformation sind **neue Informations- und Kommunikationstechniken (IKT)**. Die Entwicklung leistungsfähiger und an den Bedarf der Industrie angepasster Kommunikationsnetze ist derzeit eine entscheidende Aufgabe. Da industrielle Kommunikationssysteme einfach skalierbar, sicher, hoch verfügbar und für bestimmte Applikationen auch echtzeitfähig sein müssen, sind substantielle Entwicklungsarbeiten nötig.

So müssen beispielsweise kommerzielle Kommunikationstechnologien für die Bedürfnisse der deutschen Industrie angepasst werden. Der neue Mobilfunkstandard 5G bietet hierfür ein enormes Applikationspotential. Schnelles Handeln ist dabei gefragt, um die neuen Technologien für die Industrie 4.0 nutzbar zu machen, da die Standardisierung von 5G fast abgeschlossen ist. Die 5G Strategie in Deutschland hat diese Aufgabe zu einem Schwerpunkt gemacht (siehe Kapitel 7).

Aufgrund der unterschiedlichen Begriffsverwendung von „5G“ soll zunächst dargelegt werden, was nachfolgend unter dem Begriff „5G“ verstanden wird. Die Abkürzung „5G“ hat sich aus dem neuen gleichnamigen Mobilfunkstandard als Nachfolger von LTE (4G) ergeben. Sie steht nachfolgend allerdings nicht für den neuen Funkstandard, sondern geht weiter und beschreibt eine aus **Zugangs- und Weitverkehrsnetz** konvergierende Netzwerkinfrastruktur, die alle Kommunikationstechnologien miteinschließt und u. a. industriellen Anforderungen genügt.

Mit diesem Grundlagenpapier wird der Versuch einer **ganzheitlichen Beschreibung von 5G** mit seinen technischen Merkmalen und anwendungsbezogenen Aspekten im industriellen Kontext unternommen. Ziel ist es, die unterschiedlichen Gestaltungsebenen mit ihren Elementen und Merkmalen sowie die komplexen Wechselbeziehungen zwischen diesen prinzipiell sichtbar zu machen und zu beschreiben. Damit entsteht eine ganzheitliche Beschreibungsgrundlage für die erforderlichen Diskussions- und Entscheidungsprozesse im Rahmen der weiteren Ausgestaltung und Einführung von 5G in der Industrie. Zur Visualisierung wurde eine matrixartige Darstellung gewählt (vgl. Abb. 1.01).

Auf der ersten Ebene finden sich die Gestaltungselemente Technologie, Anforderungen und Gestaltung. Hier wird das Thema 5G aus der technischen Sicht heraus beschrieben. Auf der zweiten Ebene wird dem gegenüber 5G aus der Marktsicht heraus strukturiert. Hierbei werden die beteiligten Akteure und ihre Beziehungen entlang der **5G Wertschöpfungskette** erfasst. Den insgesamt sechs Gestaltungselementen werden anhand von Merkmalen sehr konkrete 5G Themen wie z. B. **Slicing** zugeordnet und somit in einen definierten Wirkzusammenhang gebracht. Die Anzahl und die Zusammensetzung der relevanten Merkmale für ein Gestaltungselement können sich über den Zeitverlauf ändern. Die Zeit ist daher als weiteres Element in Form eines Zeitstrahls in die grafische Darstellung aufgenommen worden. Er dient dazu, diese ganzheitliche Beschreibung von 5G im Sinne einer Evolution bzw. eines Reifegrades auf **System- und Anwendungsebene** zu begreifen.

Mit der Beschreibung soll der interessierte Leser einen strukturierten Zugang zum Thema 5G Industrielles Internet erhalten. Er soll ein über die technologischen Ebenen hinausgehendes Verständnis für das Thema auf Basis eines gemeinsamen Sprachraums (Glossar) entwickeln können. Schließlich bietet die Beschreibung auch einen strukturierten Einstieg in die Entwicklung und Bewertung von 5G Lösungen im industriellen Kontext. Gerade klein- und mittelständische Unternehmen, die noch nicht komplett mit der Thematik vertraut sind, können hiervon profitieren.

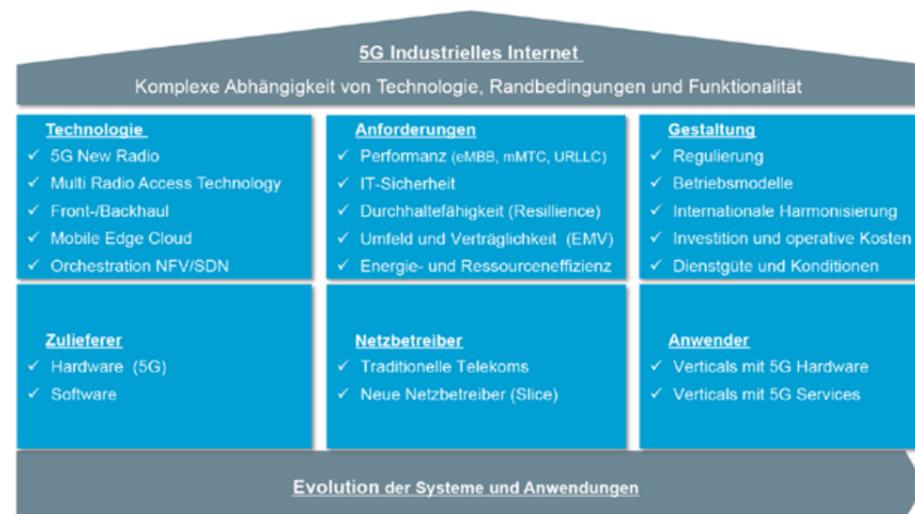


Abb. 1.01

5G Industrielles Internet – Gestaltungsebenen, -elemente und ihre Merkmale im Zeitverlauf

## 02 Anforderungen

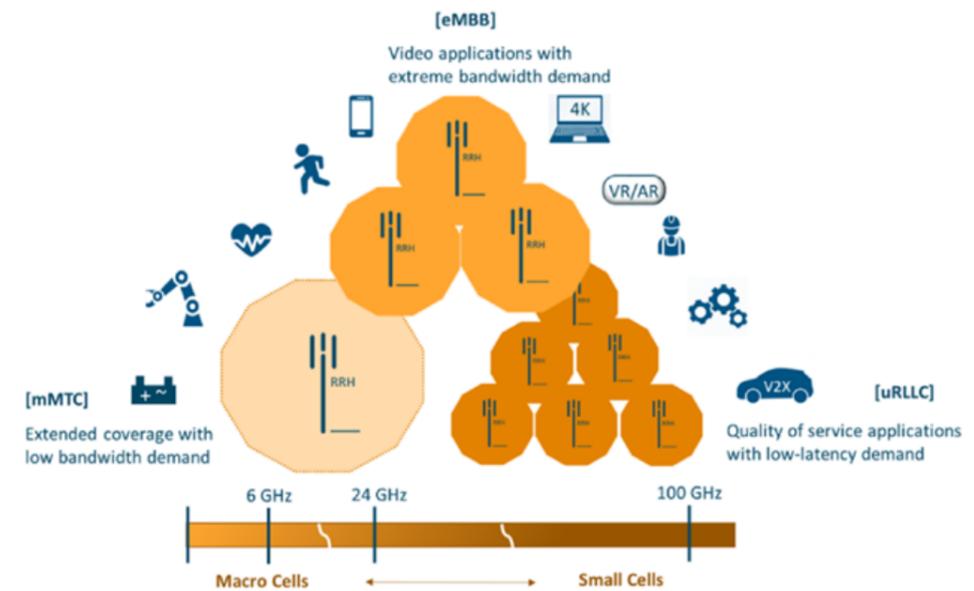
Den Ausgangspunkt der strukturierten Beschreibung von 5G für die künftige industrielle Kommunikation bildet der aus der **5G Standardisierung** heraus bekannte Anforderungskatalog an die technischen Leistungsmerkmale (vgl. Abb. 2.01). Sie stehen in der mittleren Spalte der Darstellung in Abb. 1.01 an erster Stelle. Weitere Themen in diesem Block sind IT-Sicherheit, Durchhaltefähigkeit, Umfeld und elektromagnetische Verträglichkeit sowie Energie- und Ressourceneffizienz.

Es werden im Mobilfunkkontext prinzipiell drei anwendungsbezogene Leistungsanforderungen von 5G unterschieden:

- eMBB – Enhanced Mobile Broadband – wird gekennzeichnet durch hohe Datenraten von 1 Gbps im kommerziellen und endkundenorientierten Mobilfunknetz.
- uRLLC – Ultra Reliable Low Latency Communication – wird gekennzeichnet durch Echtzeitkommunikation mit 1 ms Latenz für hoch verfügbare Anwendungen.
- mMTC – Massive Machine Type Communication – wird gekennzeichnet durch hoch energieeffiziente, skalierbare und flächendeckende Kommunikation mit geringe Datenraten

Auch 5G Anwendungen im Bereich der industriellen Kommunikation werden grundsätzlich mit diesen Begriffen beschrieben. Allerdings kommen hier weitere Anforderungen hinzu, die für den industriellen Einsatz essentiell sind. Eine **sichere, nicht manipulierbare Datenübertragung** hat hierbei die höchste Priorität und wird daher auch am stärksten in der Industrie reflektiert. Systemische Ansätze, welche die Möglichkeiten der 5G Netzwerkarchitektur ausloten, stehen im Mittelpunkt. Sicherheit muss aber auch auf der Software- bzw. Applikationsebene und bis hinunter auf die Hardware- bzw. Komponentenebene verstanden und umgesetzt werden. Wesentliche Hardwaremodule werden schon heute nur noch von einer sehr kleinen Anzahl großer Unternehmen designt und meist bei asiatischen Auftragsfertigern (Foundaries) hergestellt. Die Herstellungsbedingungen und Lieferketten entziehen sich daher weitgehend dem europäisch-regulatorischen Einflussgebiet, sodass die Sicherheit und Qualität nicht zuverlässig kontrolliert und gesichert werden kann. Diesbezüglich sind eigene Aktivitäten in Deutschland notwendig, um langfristig die technologische Souveränität unserer Industrien zu sichern.

An dieser Stelle schließt sich ein weiteres Thema an: die Anforderung an eine sehr hohe technische **Zuverlässigkeit (Reliability) und zeitbezogene Durchhaltefähigkeit (Resilience)**. Insbesondere die zuletzt genannte Anforderung rückt immer weiter in den Mittelpunkt der Diskussion, wenn es um eine 5G Implementierung geht. Durchhaltefähigkeit beschreibt technische Konzepte, die eine potentielle Schwächung bzw. den Ausfall einer 5G Systemkomponente kompensieren und deren Funktion über einen definierten Zeitraum mit anderen Mitteln erhalten. Sehr hohe Zuverlässigkeit wird konventionell meist durch eine Überdimensionierung und Redundanz im System sichergestellt. Dies ist jedoch nicht immer ökonomisch oder praktikabel. Daher wird es notwendig, neue Konzepte zu entwickeln, die effektiv und kosteneffizient die im Service Level Agreement (SLA) festgelegten Dienstgütereigenschaften erfüllen.



**Abb. 2.01**  
5G Leistungsanforderung  
und Service-Typen laut  
3GPP Standardisierung

Das erweiterte Frequenzspektrum von 5G, insbesondere im Millimeterwellenbereich (30 GHz bis 300 GHz), stellt des Weiteren erhöhte Anforderungen an das Verstehen von zusätzlichen Umweltfaktoren. Das bedeutet, dass sowohl die natürliche als auch künstliche Umgebung den Übertragungskanal vor allem im Bereich der Luftschnittstelle beeinflussen. Dem Thema **elektromagnetische Verträglichkeit** muss aber nicht nur aus der technischen Perspektive heraus Augenmerk geschenkt werden. Aufgrund der höheren Frequenzen verringern sich die Zellradien und so entsteht die Notwendigkeit, die Anzahl der Antennenstandorte zu erhöhen. In diesem Zusammenhang wird auch die Strahlungsproblematik aus der Perspektive des Gesundheitsschutzes wieder an Aktualität gewinnen, wie die vermehrten Pressebeiträge zu 5G und Elektrosmog andeuten. Zur Debatte steht hierbei unter anderem, ob Technologien wie das Beamforming der Belastung höherer Signalraten von 5G entgegenwirken können und sich die tatsächliche Strahlungsbelastung beim Endnutzer dadurch erhöhen oder verringern wird.

Das letzte Thema im Gestaltungselement der Anforderungen adressiert die potentiellen Umweltauswirkungen. Hierbei sollten neben dem **elektrischen Energiebedarf** in der Nutzungsphase auch der Rohstoffbedarf für die Herstellung der Geräte und Anlagen genauer berücksichtigt werden. Die wenigen existierenden Ökobilanzen bzw. vereinfachten Umweltbewertungen wie der Carbon Footprint deuten darauf hin, dass die Umweltlast je nach Art des Produktes unterschiedlich groß ist, und unterschiedliche Ursachen hat. Bei großem Telekommunikationsequipment wie Antennenanlagen, Basisstationen oder Edge-Routern dominiert der elektrische Energiebedarf in der Nutzungsphase die Umweltbilanz. Dieses Equipment sollte angemessen dimensioniert und

wenn möglich mit einem lastadaptiven Energiemanagement versehen werden. Auch haben der Wirkungsgrad der Stromversorgungseinheit und ein effektives thermisches Management erhebliche Einsparpotentiale.

Die **Umweltwirkung von mobilen Endgeräten und Sensoren** wird hingegen von den benötigten Rohstoffen und den Fertigungsprozessen bestimmt. Eine hohe Umweltwirkung haben diesbezüglich die energie- und rohstoffintensive Halbleiter- und Leiterplattenfertigung. Mit zunehmenden höheren Frequenzen, multiplen Antennen und Beamforming sind zudem noch leistungsfähigere Halbleiter erforderlich. Damit ändert sich auch der Materialmix. Neben standardmäßigem Siliziumoxid werden vermehrt Galliumarsenid, Galliumnitrid oder Silizium-Germanium zum Einsatz kommen. Die Umweltwirkung von dieserart Bauelemente ist noch nicht eingehend erforscht. Tatsache ist jedoch, dass den Themen Umweltbewertung und Ökodesign eine vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt werden muss, um langfristig nachhaltige Kommunikationssysteme zu implementieren.

## Technologien 03

Die soeben beschriebenen funktionalen Anforderungen stehen in einer engen Wechselwirkung mit den Möglichkeiten der technologischen Entwicklung. Das **Gestaltungselement Technologie** ist äußerst umfangreich und in der grafischen Darstellung (Abb. 1.01) nur rudimentär abgebildet. Die aufgeführten Schlüsseltechnologien können dabei wie folgt zusammengefasst werden: Zugangsnetze (5G New Radio & Multi Radio Access Technology) und Virtualisierung (Mobile Edge Cloud & Orchestrierung). Die Steigerung der Performancewerte mit 5G wird vorrangig durch neue Technologien im Bereich des Zugangs realisiert. Die Virtualisierung und Softwareifizierung des Netzwerkes ermöglicht dabei eine neue Flexibilität, die mit vorhandener 4G Technologie und deren aktuellen Erweiterungen nicht erreicht werden können. Viele technologische Themenstellungen stehen in sehr enger Wechselwirkung zueinander. Eine klare Abgrenzung der einzelnen Themen ist daher schwer möglich. Die nachstehende Abb. 3.01 vermittelt einen strukturellen und selektiven Überblick über die 5G Schlüsseltechnologien.

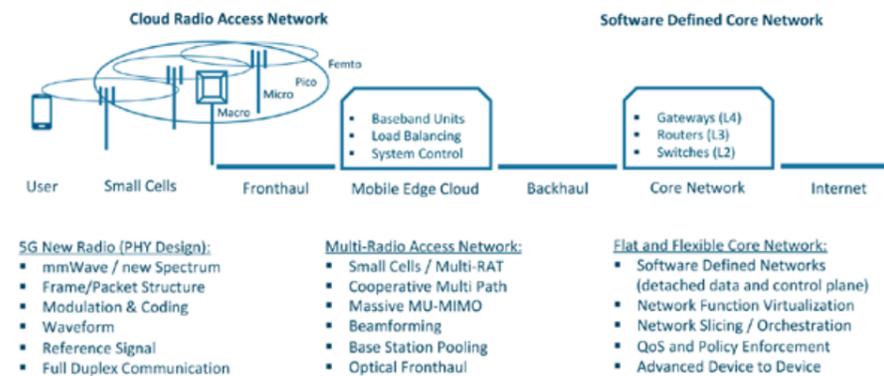


Abb. 3.01  
5G Schlüsseltechnologien

Im Mittelpunkt der technischen 5G Entwicklung steht auf der einen Seite die Nutzbarmachung neuer Frequenzbereiche einschließlich des Millimeterwellenspektrums und auf der anderen Seite die Virtualisierung und Orchestrierung von informationstechnischen Ressourcen (Speicher und Rechenleistung) im Netzwerk.

Die neue **5G New Radio** Luft- bzw. Funkschnittstelle wird im Rahmen der 3GPP standardisiert. Die effektive Nutzung von nicht zusammenhängenden Frequenzen ist eine wesentliche Herausforderung im 5G Kontext. Um die spektrale Effizienz zu maximieren, muss die 5G-Luftschnittstellentechnologie in der Lage sein, die unterschiedlichen Leistungsanforderungen der verschiedenen Dienste auf die am besten geeigneten Kombinationen von Frequenz- und Funkressourcen abzubilden. Erweiterte Codierungs- und Multiplexingverfahren tragen zur Steigerung der Performance auf verschiedenen Ebenen (Durchsatz, Latenz, Energieeffizienz etc.) bei.

Ein weiteres 5G New Radio Merkmal ist **Massive MIMO** (Multiple Input Multiple Output). Massive MIMO ist eine Antennentechnologie, welche mit Hilfe von Hunderten von Antennen und Fortschritten in parallelisierter digitaler Signalverarbeitung sowie Hochgeschwindigkeitselektronik Datentransferraten von bis zu 10Gbps erreicht. Zusätzliche Antennen helfen dabei, die Energie beim Senden und Empfangen von Signalen auf immer kleiner werdende Räume zu fokussieren. Gerade in Kombination mit der Planbarkeit der Anzahl der Nutzerendpunkte können beträchtliche Erfolge im Durchsatz und der Energieeffizienz erzielt werden. Je mehr Antennen an der Basisstation verwendet werden, desto mehr Datenströme können freigegeben und Endgeräte bedient werden. Die Sendeleistung reduziert sich auf diese Weise und die Datenrate steigt. Auch die Verbindungszuverlässigkeit verbessert sich, da Massive MIMO größere Freiheitsgrade bei der Platzierung der Basisstationen und bei der Auswahl der Datenströme beim Uplink und Downlink erlaubt. Das ermöglicht wiederum eine erweiterte Interferenzunterdrückung. Basisstationen können relativ leicht eine Signalübertragung in unerwünschte Richtungen vermeiden, um Interferenzen zu verhindern und Latenzen zu verringern. In diesem Kontext ist ebenfalls Beamforming zu nennen. Das **Beamforming** hat die Aufgabe, einen gezielten Signalstrahl (Richtfunk) in den Frequenzbändern des Millimeterwellenbereiches mit Hilfe mehrerer Antennen zu bilden und so einen spezifischen Empfänger zu adressieren und Signale aus anderen Richtungen zu blockieren. Der Empfänger profitiert von dem Signalverstärkungseffekt und einer verbesserten Interferenzunterdrückung. Beamforming ist damit eine Art räumliche Filterung, die analog, digital oder in einer hybriden Form realisiert werden kann.

Die drahtlose **Full Duplex-Kommunikation** ermöglicht das gleichzeitige Senden und Empfangen von Datensignalen auf demselben Frequenzband. Bisherige Funknetze nutzen den HF (Half Duplex)-Modus, der die Downlink- und Uplink-Kommunikation über die Frequenz oder die Zeit orthogonal trennt. Die Leistungsfähigkeit einer Full Duplexing-Kommunikation ist allerdings durch direkte Selbstinterferenzen begrenzt. Durch Interferenzeffekte galt das Senden und Empfangen auf derselben Frequenz lange als undenkbar. Nach neuesten Untersuchungen ist eine Full Duplex-Kommunikation aber mit digitalen Selbstinterferenz-Aufhebungstechniken durchaus möglich. Werden noch ungelöste Herausforderungen erfolgreich bewältigt, ist annähernd eine Verdopplung der Kapazität bei der Datenübertragung bei einem Wechsel von Half Duplex auf Full Duplex denkbar.

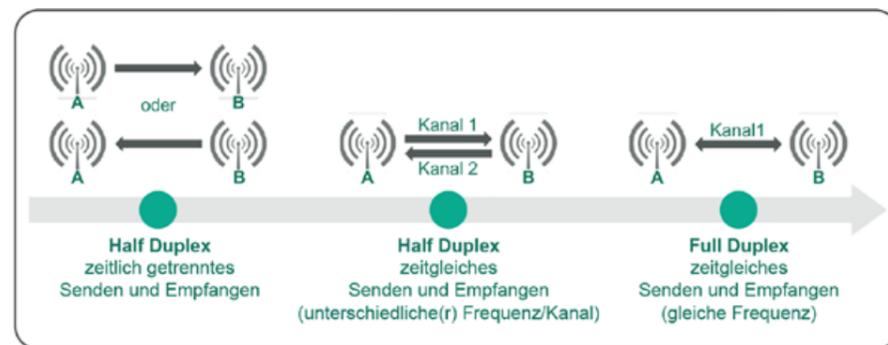


Abb. 3.02: Full Duplexing

Bezüglich der **Netzwerk-Architektur** werden in der aktuellen 5G New Radio Standardisierung zwei Realisierungsstufen unterschieden. Die erste Stufe wurde mit dem 3GPP Release 15 als sogenanntes 5G Non Stand-Alone (NSA) im Sommer 2018 fristgerecht standardisiert. Die NSA Architektur nutzt das LTE Kernnetz als Basis bzw. als Anker. Endgeräte erhalten damit die Möglichkeit, 5G-basiert hochbitratige Daten zu empfangen. Der Upload und Transport sowie die Netzsteuerung erfolgt jedoch über das bestehende LTE-Netz. NSA nutzt Frequenzen im Sub-6 GHz Band (3,4 bis 3,8GHz Spektrum) und wird über eine durchgängige Bandbreite von bis zu 100 MHz verfügen. Das bedeutet aber auch eine duale Funkhardware in den Netzelementen und Endgeräten. Die zweite Stufe wird dann mit dem 3GPP Release 16 in 2019 veröffentlicht und stellt die „echte“ selbstständige 5G-Mobilfunkinfrastruktur dar. Dieses wird in der Standardisierung als 5G Stand-Alone (SA) bezeichnet. SA unterstützt Spektren im Millimeterwellen-Bereich (26GHz, 28GHz und 39GHz Spektrum) und wird über eine Bandbreite von bis zu 400 MHz verfügen. Das eigenständige System setzt deutlich höhere Investitionen in Netztechnik und Endgeräte voraus und wird daher erst in etwa einer Dekade und frühestens ab etwa 2023 ausgerollt. Ökonomische Faktoren, d.h. die Kosten für neue Netze und Equipment, spielen hierbei eine limitierende Rolle. Ähnlich wie die Glasfasertechnik, die zwar technisch immer weiter ausreift, ist die flächendeckende Implementierung eine reale finanzielle Herausforderung für alle Beteiligten.

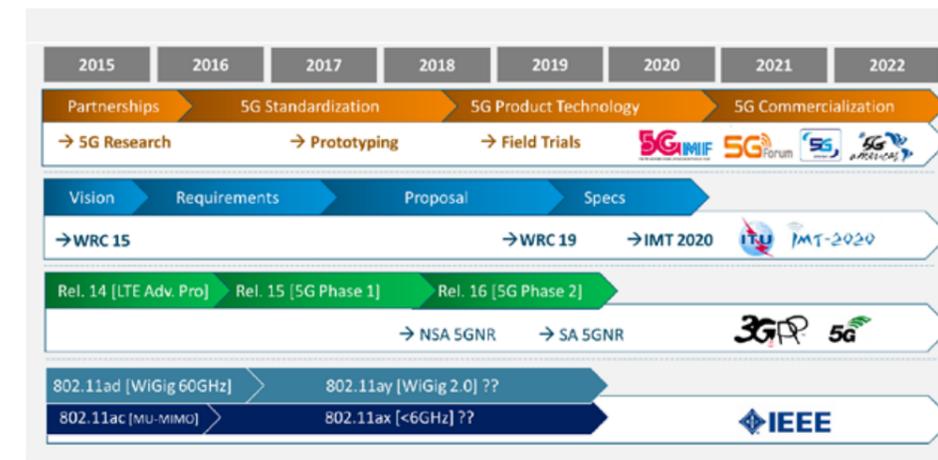


Abb. 3.03 5G Standardisierungsaktivitäten

Einen großen Stellenwert wird in 5G die zunehmende „Softwareifizierung“ bzw. Virtualisierung im Bereich der Netzwerkinfrastruktur einnehmen. Software Defined Network (**SDN**) und Network Function Virtualization (**NFV**) sind weitere Schlüsselmerkmale von 5G. Wie die EU im 5G-Actionplan erwähnt, wird durch 5G Technologien das gesamte Netzwerk eine programmierbare, flexible und universelle Infrastruktur besitzen – von den Endgeräten, über die Transportnetze, den Edge-Clouds bis hin ins Kernnetz und die Clouds in „klassischen“ Rechenzentren. Die 5G Infrastruktur wird die grundlegenden informationstechnischen Ressourcen, Speicher und Rechenleistung, über seine hochleistungsfähige Netzwerkarchitektur zusammenführen und anderen anwendungsspezifischen Funktionsbereichen anbieten. Hierdurch werden Voraussetzungen geschaffen, die eine größere Verteilung von Softwarefunktionalität oder der Datenplatzierung erlauben.

SDN und NFV werden zum Standard für ortsunabhängige Software-Dienste. Dieses Konzept erlaubt kleine spezifische Dienste unabhängig voneinander zu entwickeln, zu betreiben, aber auch zu testen und zu größeren Lösungen zusammenzusetzen („Service-Composing“). Hierfür bedarf es einer innovativen Orchestrierung der verfügbaren Dienstangebote und flexiblen Zuweisung der benötigten Ressourcen. Hierzu müssen diese Services bzw. Anwendungen stärker auskunftsfähig bezüglich ihrer zukünftigen Ressourcenbedarfe werden. Die etablierten Zertifizierungsprozesse von HW/SW Komponenten/Systemen werden sich dieser Herausforderung stellen müssen.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Software Defined Network trennt die Kontroll- und Datenebene und erlaubt somit eine Virtualisierung von Netzwerken. Das Netzwerk wird hierdurch mandantenfähig und unterstützt eine zentralisierte Sicht und Konfiguration von Netzwerkkomponenten. Es ist die Basis für Priorisierung, Dienstgüte (Quality of Service - QoS) und Slicing. Network Function Virtualization entkoppelt die Netzwerkfunktionen von der Hardware. Netzwerkfunktionen werden durch Virtualisierung und Standardisierung austauschbar und flexibler platzierbar. Netzwerkdienste werden dabei in verschiedene „Funktionen“ aufgeteilt, diese komponentenbasierte Entwicklung soll u. a. die Wiederverwertbarkeit von Funktionen vereinfachen. Neben Netzwerkfunktionen bietet dieses auch die Möglichkeit, Funktionen aus der Anwendungsebene auf Netzwerkhardware auszuführen, beispielsweise Funktionen zur Datenaggregation. Network Slicing versteht sich als „Network as a Service Paradigma“. Es erlaubt die Realisierung der QoS für verschiedene Dienste auf derselben physikalischen Hardware. So werden On-demand Netzwerke ermöglicht. Hierfür wird eine **Orchestrierung der Netzwerkinfrastruktur** nötig, um die gewünschte QoS zu gewährleisten und eine automatisierte Bereitstellung und Adaption zu erlauben.

Aktuelle Entwicklungen von Komponenten des Frameworks und Werkzeuge bauen dabei auf vorhandene Technologien aus dem Bereich der Cloud auf. Kombiniert mit weiteren Trends moderner Softwareentwicklung (Skalierbarkeit, modularer Aufbau, Automatisierung, App Stores) wird die erwähnte Vision aus dem 5G Actionplan der EU Wirklichkeit und eine neue Flexibilität sowie geringere Realisierung von neuen Produkten und Services möglich. Durch die Virtualisierung werden aber gleichzeitig auch die scheinbar entkoppelten, infrastrukturellen Technologien und funktionalen Netzwerkeigenschaften wieder indirekt enger mit der anwendungsbezogenen Domäne bzw. der Datenschicht verknüpft. Die 5G Netze sind nicht nur Kommunikationsplattform, sondern entwickeln sich zur dynamischen Anwendungsplattform. Aus einer wirtschaftlichen Sicht heraus betrachtet, erweitern sich damit der Markt und die Komplexität der Wertschöpfungskette. Neue Teilnehmer betreten bzw. drängen in den Markt.

SDN	NFV	Slicing
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trennung Control- &amp; Dataplane</li> <li>• Virtualisierung von Netzwerken</li> <li>• Mandatenfähigkeit (Multi-Tenancy)</li> <li>• Basis für                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Priorisierung</li> <li>- QoS</li> <li>- Slicing</li> </ul> </li> <li>• Zentralisierte Sicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entkopplung Netzwerkfunktionen von Hardware</li> <li>• Virtualisierung von Netzwerkfunktionen</li> <li>• Komponentenbasiert</li> <li>• Cloud-native Design Prinzipien</li> <li>• Service sharing</li> <li>• SDN ist Enabler</li> <li>• Mehr als nur Netzwerkfunktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Network as a Service Paradigma</li> <li>• Realisierung der QoS für verschiedene Dienste auf derselben physikalischen Hardware</li> <li>• On-demand Netzwerke</li> <li>• Benötigt Orchestrierung</li> </ul>

Abb. 3.04

5G Software Evolution



# Gestaltung 04

Den beiden **Gestaltungselementen „Technologie“ und „Anforderungen“** wird nun ein drittes Element mit dem Titel „Gestaltung“ zugeordnet, welches die nichttechnischen Randbedingungen für eine 5G Implementierung beinhaltet. Eine erste Kondition in diesem Zusammenhang ist die auf nationaler Ebene staatlich regulierte bzw. lizenzierte **Frequenzvergabe**. In Deutschland trägt die Bundesnetzagentur (BNetzA) hierfür die Verantwortung<sup>1</sup>. Die erste 5G Versteigerung betrifft Frequenzen in den Bereichen 2 GHz und 3,4 GHz bis 3,7 GHz. Am 26. November 2018 hat die BNetzA die Vergabe- und Auktionsregeln veröffentlicht und bis zum 25. Januar 2019 konnten Anträge auf Zulassung zur Auktion gestellt werden. Parallel zum Vergabeverfahren hat die Bundesnetzagentur ein Antragsverfahren für Frequenzzuteilungen im Bereich 3.7 GHz bis 3.8 GHz zur lokalen und regionalen Nutzung erarbeitet. Für den Frequenzbereich von 26 GHz wird ebenfalls ein Antragsverfahren erarbeitet. Laut BNetzA können dadurch auch regionale Netzbetreiber, kleine und mittlere Unternehmen oder Start-Ups, mit einem erst künftig auftretenden Frequenzbedarf, sowie Gemeinden und Vertreter der Land- und Forstwirtschaft das Potenzial der kommenden Mobilfunkgeneration 5G für Anwendungen in der Wirtschaft und Industrie nutzen bzw. die Mobilfunkversorgung im ländlichen Raum verbessern.

Wie diese spezifische Lizenzvergabe und damit die Bereitstellung von gesonderten Frequenzen für eine lokale bzw. regionale 5G Implementierung verdeutlicht, hat das Thema **neue Betriebsmodelle** inklusive Slicing einen hohen Stellenwert in Deutschland. Die deutsche Industrie sieht ein erhebliches Potenzial in der 5G Nutzung, wie die gut besuchten Veranstaltungen des 5G Digitalforums des BMVI beispielsweise zeigen. Zur Sicherstellung der besonderen Anforderungen an eine solche Nutzung – gerade bezüglich einer abgesicherten Verfügbarkeit (Datenrate und Latenz) sowie IT-Sicherheit – wird ein eigenständiger Netzaufbau und Betrieb durch einzelne Unternehmen und Konsortien ins Auge gefasst. Das bedeutet für neue Netzbetreiber aber auch ein eigenständiges Agieren am Zuliefermarkt mit allen finanziellen und technischen Risiken. Auch die Ausrüster müssen sich auf diese potentiellen neuen Kunden einrichten.

Ungeklärt bleibt weiterhin die Frage, wie bei solchen lokalen 5G Netzen die Kernnetzfunktionalität einschließlich der Orchestrierung durchgehend in Kombination mit externen 5G Netzen gewährleistet werden soll. Darüber hinaus muss **IT-Sicherheit im System** sichergestellt und alle wesentlichen Komponenten inklusive dem Quellcode nach standardisierten Sicherheitskriterien zertifiziert werden. Weitere Standardisierungsaktivitäten, beispielsweise die ETSI im Bereich NFV, werden die Öffnung der Mobile Edge Cloud nicht nur für Funktionen des Netzwerkes forcieren, sondern auch für Funktionen der Anwendungsebene ermöglichen. Dieses ist beispielsweise für Anwendungen mit geringer Latenz interessant. Wie die Telcos den Zugang zur Edge Cloud für Anwender gestatten, ist zurzeit noch nicht geklärt. Ausrüster und etablierte Cloudanbieter erweitern ihr Portfolio in diesem Bereich aktuell.

<sup>1</sup> [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Oeffentliche](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Oeffentliche)

Des Weiteren ist ein solch individuelles Vorgehen auch im internationalen Kontext zu betrachten. Da die notwendigen Hardwarekomponenten derzeit nur von einer Handvoll großer Chiphersteller und Ausrüster wie Samsung, Qualcomm, Intel, Broadcom und IBM einerseits sowie Huawei, ZTE, Ericsson, Nokia und Fujitsu andererseits entwickelt werden, wird die Abhängigkeit von diesen wenigen Anbietern immer größer<sup>2</sup>.

Die einflussreichsten Akteure dieser technischen Entwicklung befinden sich also in Asien, in den USA und Skandinavien. Die Europäische Union mit Deutschland ist nur in Teilbereichen an der grundsätzlichen Technologieentwicklung beteiligt. Ein Indikator, der diese **Technologiedominanz** gut widerspiegelt, ist die Anzahl von 5G Patenten, welche einzelne Unternehmen halten. Diese Liste (Stand: Dezember 2018) wird von chinesischen Unternehmen (Huawei, ZTE) mit insgesamt 2089 Patenten angeführt, gefolgt von Korea (Samsung, LG) mit 1830 Patenten, den USA (Qualcomm, Intel) mit 1224 Patenten und Skandinavien (Ericsson, Nokia) mit 1103 Patenten<sup>3</sup>.

Es ist ungewiss, in welchem Maße individuelle Komponenten oder Produkte in diesem hoch konsolidierten globalen Markt der deutschen Industrie in Zukunft zur Verfügung gestellt werden können. Im Gegensatz dazu wird mit der 5G Nutzung durch deutsche Unternehmen auch der Wunsch nach **internationaler Harmonisierung** geäußert. Nur so kann sichergestellt werden, dass 5G Kommunikationssysteme, beispielsweise im Kontext IT-basierter Dienstleistungen wie der Fernwartung, einen effektiven Nutzen bringen und zugleich kosteneffizient sind.

Die **Investitionen und operativen Kosten** stellen einen weiteren Aspekt der 5G Implementierung in der industriellen Anwendung dar. Eine erste Kostenstelle bildet beim Betrieb eines eigenen Netzes die Lizenzgebühr für die 5G Frequenzen. Es ist anzunehmen, dass die Investitionskosten für kleinere Netzbetreiber anteilig höher ausfallen, da Mengenrabatte beim Einkauf des Equipments und den Wartungsverträgen nicht im gleichen Maße gewährt werden, wie es bei sehr großen Netzbetreibern üblich ist. Mit der Implementierung von kleinen engmaschigen Netzen sollten auch die Kosten der Zulassung und des Erwerbs von neuen Netzanlagenstandorten berücksichtigt werden. Vor dem Hintergrund einer neuen Elektromog-Debatte sind auch rechtliche Auseinandersetzungen mit Betroffenen nicht auszuschließen.

<sup>2</sup> Netze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html

<sup>3</sup> Die Auflistung ist exemplarisch und erfüllt nicht den Anspruch der Vollständigkeit.  
<https://www.iplytics.com/de/report-de/who-is-leading-the-5g-patent-race/>

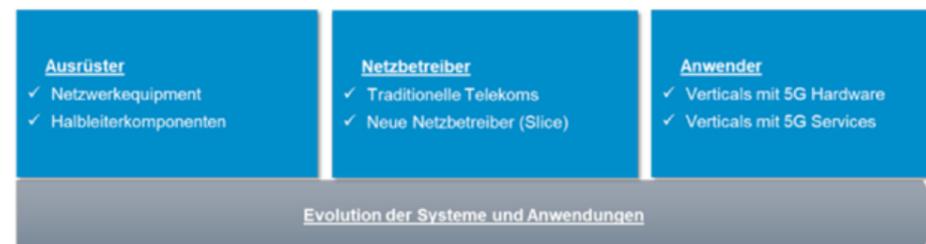
Bezüglich der operativen Kosten hat der elektrische Energiebedarf eine hohe Bedeutung. Die Gewährleistung einer unterbrechungsfreien Stromversorgung, Klimatisierung und physischer Schutz der Netzanlagen sind in diesem Zusammenhang auch zu berücksichtigen. Wird andererseits beispielsweise 5G als Dienstleistung für einen begrenzten Zeitraum eingekauft, so sind bei einem Wechsel zu einem neuen Serviceprovider die finanziellen Konsequenzen eines Netzausfalls einzuplanen. Preise spielen auch im Kontext der neuen Architekturen und insbesondere der Netzwerk-Virtualisierung und damit verbundenen Orchestrierung eine Rolle. Die mit 5G ermöglichte dynamische Ressourcenallokation wird sich bei den Preisen für diese Serviceangebote niederschlagen. Der hohe Grad der Automatisierung und Möglichkeiten des Self-Service durch den Nutzer kann wie im Cloudbereich zu einer Reduktion der Personalkosten und günstigen Angeboten für Massenanwendungen führen.

In diesem Zusammenhang steht auch das Thema **Dienstgüte** bzw. Service Level Agreement (SLA). In einem Service Level Agreement werden der Leistungsumfang und die Dienstgüte spezifiziert und detailliert beschrieben. Dies beinhaltet auch Sicherheitsstandards und Ressourcentransparenz. Es ist möglich, unterschiedliche Dienstleistungen in verschiedene Dienstgütestufen einzuteilen, um die Qualität einer entsprechenden Leistung zu objektivieren. Weitere Konditionen beinhalten interne Leistungskriterien bzw. Randbedingungen. Transparenz diesbezüglich kann beispielsweise durch Leistungskennzahlen bzw. „Key Performance Indicator“ (KPI) geschaffen werden. Hierbei muss eine funktionelle Einheit des erzielten Nutzens in Bezug auf einen quantifizierbaren Aufwand definiert werden.

## 05 Die Wertschöpfungskette

Die industrielle Wertschöpfungskette mit ihren Hauptakteuren, den Ausrüstern, Netzbetreibern und Anwendern, bildet die marktwirtschaftliche Basis der 5G Entwicklung (siehe Abb. 5.01). Diese Akteure gestalten maßgeblich die technischen Systeme und deren Anwendungen. Der Begriff „gestalten“ beinhaltet in diesem Zusammenhang sowohl die vielfältigen Tätigkeiten im Bereich der Forschung und Entwicklung sowie Standardisierung als auch die Fertigung und den operativen Betrieb. Die 5G Wertschöpfungskette ist äußerst komplex und entwickelt sich dynamisch, wie weiter unten detaillierter ausgeführt wird. Die Analyse der wechselseitigen Beeinflussung der Akteure entlang der Wertschöpfungskette ist dahingehend aufschlussreich, dass sie Veränderungen bzgl. der Marktkraft einzelner Akteure im 5G Markt deutlich macht. Gerade die bislang starke Rolle der Netzbetreiber wird nun durch einflussreichere Ausrüster und Anwender verändert. Technologiepatente auf der einen Seite (Ausrüster) und sogenanntes Domänenwissen auf der anderen Seite (Anwender) beeinflussen zunehmend Geschäftsmodelle und das Ausmaß der Wertschöpfung.

**Abb. 5.01**  
Marktwirtschaftliche  
Gestaltungsebene



Die Akteursgruppe der **Ausrüster** umfasst die traditionellen Netzausrüster wie Ericsson, Nokia, Huawei, ZTE, Fujitsu, NEC, Cisco, Brocade, Juniper und HPE. Diese Unternehmen verkaufen und vermieten Produkte an die großen Netzbetreiber (Telcos). Sie entwickeln, fertigen, installieren und warten die vielschichtigen Technischelemente für alle Ebenen moderner Telekommunikationsnetze. Sie sind sehr aktiv im 5G Standardisierungsprozess wie beispielsweise der 3GPP und ITU-T. Die Netzausrüster sehen sich heute nicht mehr nur in der Rolle eines Dienstleisters der Netzbetreiber, sondern als essentielle Market Player der vernetzten Gesellschaft. Passend dazu entsteht für die Ausrüster durch die Verfügbarkeit von regionalen und lokalen Frequenzen für private Netze (Slicing) ein neuer Markt abseits der Inhaber und Betreiber der großen Kernnetze. Die Netzausrüster treten in diesem neuen Bereich in direkte Konkurrenz zu den aktuellen Netzanbietern.

Die Netzausrüster, als Original Equipment Manufacturers (OEMs), beeinflussen durch ihre Nachfrage insbesondere auch den Bereich der halbleiterbasierten Komponentenherstellung. Dieser Zuliefermarkt hat sich in der letzten Dekade sehr stark konsolidiert und wird aktuell durch eine

relativ kleine Anzahl von sehr großen Technologiekonzernen dominiert. Marktführer sind asiatische und amerikanische Unternehmen wie Samsung, LG, Intel, Qualcomm, Broadcom, IBM, Fujitsu und Mediatek. Diese Firmen schaffen die technischen Grundlagen für die 5G Telekommunikation und verfügen über die meisten Patente.<sup>1</sup> Daneben gibt es noch einige große Foundaries wie TSMC, GlobalFoundary und UMC, die als Auftragsfertiger mit erheblichen Technologiekapazitäten auch am Markt agieren.

Unter die **Netzinhaber und -betreiber** (Service Provider-Network) fallen in Deutschland insbesondere die drei Mobilfunknetzbetreiber Deutsche Telekom, Vodafone und Telefónica. Aufgrund des nicht zugelassenen nationalen oder regionalen Roamings (Roaming: Netzinhaber stellen ihre Netze anderen Anbietern zur Verfügung) sind die Rollen Netzinhaber und -betreiber untrennbar miteinander verbunden. Durch die Möglichkeit der Schaffung privater Netze in einem begrenzten Frequenzbereich, z. B. für Unternehmensstandorte oder auch Kommunen, erwächst den klassischen Netzanbietern eine neue Konkurrenz. Darüber hinaus geht bei der 5G Frequenzauktion neben den drei angestammten Netzanbietern noch mit United Internet ein vierter Bieter ins Rennen.

Die bisherigen Netzanbieter haben neben der Zurverfügungstellung des Netzes mit „bis zu“ Leistungsparametern im Rahmen der Digitalisierung der Industrie weitere Dienstleistungen im Bereich Datenspeicherung, -bereitstellung und -analyse aufgebaut, beispielsweise werden die Netzbetreiber zu Cloudanbietern. Eine 5G Netzinfrastruktur würde die Möglichkeiten zur Entwicklung neuer Dienste für die Anwenderindustrien noch einmal deutlich erhöhen. Diese reichen von der Bereitstellung von Netzen mit variablen Leistungsparametern nach Bedarf und auf Basis zugesicherter Quality of Service-Level bis hin zu Dienstleistungen als Teil oder zur Optimierung von Wertschöpfungsketten und Geschäftsprozessen der Industrien (siehe auch Plattformbetreiber). Die dazugehörigen neuen Technologien und Komponenten wie Netzvirtualisierung und Network Slicing oder die Verteilung von Diensten vom Endgerät über die Edge Cloud bis hin zur Core Cloud werden insbesondere auch von den Netz- und Industrieausrüstern entwickelt und bereitgestellt. Bestehende Kommunikationsnetze wie LTE (4G) werden dabei weiterhin eine wichtige Rolle spielen und für viele Anwendungen erste Wahl sein.

Netzanbieter und die Ausrüster werden damit noch mehr erfolgskritischer Bestandteil wichtiger industrieller Wertschöpfungsketten. Durch Standardisierung muss gewährleistet werden, dass eine Verteilung der verschiedenen Dienste auch über verschiedene Anbieter hinweg möglich ist. Andernfalls wäre eine enorme Abhängigkeit der Industrien von einzelnen Netzanbietern und Ausrüstern die Folge.

Die Gruppe der **Anwender** teilt sich auf in Industrieausrüster und die Anwenderindustrien. Relevante Anwenderindustrien liegen im Bereich Kraftfahrzeugbau, Maschinenbau, chemisch-pharmazeutische Industrie, Ernährung, Elektrotechnik sowie Metallerzeugung und -bearbeitung. Aktuell steht die Umsetzung von Strategien zur vertikalen Integration durch Digitalisierung im Vordergrund der Anwenderindustrien. Erst mit der Verfügbarkeit leistungsfähiger Kommunikationsnetze wird auch verstärkt die horizontale Integration im Fokus der Unternehmen der Anwenderindustrien stehen. Die so entstehende durchgängige Vernetzung im Unternehmen und über Unternehmensgrenzen hinweg führt zu dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken, die sich

<sup>1</sup> <https://www.iplytics.com/de/report-de/who-is-leading-the-5g-patent-race/>

weitgehend selbst organisieren und über ständige Kommunikation flexibel aufeinander reagieren können. Die Industrieausrüster sind sowohl selbst Anwender als auch Lösungsanbieter für die Anwenderindustrien in Verbindung mit neuen Kommunikationsnetzen. Zu den Industrieausrüstern zählen die Maschinen- und Komponentenhersteller, die Automatisierungsindustrie sowie die Business- und Industrial IT-Anbieter. Sie schaffen mit ihren Angeboten die Grundlagen für die vertikale und horizontale Integration bei den Anwenderindustrien durch die digitale Befähigung von Sachressourcen und die Entwicklung eigener neuer Geschäftsmodelle. Vor diesem Hintergrund haben sich wichtige Akteure der Anwenderindustrien in der 5G ACIA zusammengeschlossen, um die technischen, regulatorischen und wirtschaftlichen Aspekte gemäß ihren Anforderungen zu beeinflussen. Die Möglichkeit des Aufbaus privater Netze im Bereich des Mobilfunks bietet insbesondere den großen OEMs neue Gestaltungsmöglichkeiten für ihre eigenen Kommunikationsnetze.

Als neue Akteure in der 5G Wertschöpfungskette sind neben den OEMs auch **Kommunen** und **Plattforminhaber und -betreiber** (Service Provider Data Cloud) zu nennen. Kommunen haben nicht nur ein Eigeninteresse in Bezug auf die Umsetzung ihrer Visionen einer digitalen Stadt mit allen damit verbundenen Diensten und Möglichkeiten, sondern haben über ihre Rolle als politische und rechtliche kommunale Gestaltungskraft die Macht, den erforderlichen Ausbau der Netzinfrastruktur maßgeblich zu beeinflussen. In ihren Bereich fällt auch die Auseinandersetzung mit den Bürgerinnen und Bürgern bzgl. gesundheitlicher Fragestellungen in Verbindung mit einem massiven Ausbau von Basisstationen für 5G. Den wohl größten Einfluss auf die 5G Wertschöpfungskette scheinen die **Plattformbetreiber** zu haben. Das sind Akteure, die Geschäfts- und Prozessdaten halten, analysieren und anforderungsgerecht wieder zur Verfügung stellen. Ihr Geschäftsmodell ist darauf angewiesen, dass mittels Standards eine durchgängige und bedarfsgerechte Kommunikation auch über Unternehmensgrenzen hinweg sichergestellt wird. Plattformen werden aktuell oft von größeren Ausrüstern wie z. B. Siemens, TRUMPF oder CLASS angeboten und betrieben. Je nach Skalierung wird die erforderliche Plattforminfrastruktur selbst vorgehalten oder bei Plattformanbietern wie Amazon, Google, Microsoft oder Apple gemietet.

#### Fazit zur marktwirtschaftlichen Ebene

Mit der detaillierten Betrachtung der 5G Wertschöpfungskette und ihrer Hauptakteure wird nicht nur eine fundierte Beurteilung der aktuellen Situation, sondern auch eine Prognose von Entwicklungstendenzen ermöglicht. Das vorliegende Ergebnis ist eine Momentaufnahme in einem hoch dynamischen Prozess, bei dem noch nicht absehbar ist, welche Akteure und Beziehungen final gestärkt oder geschwächt werden. Beispielsweise treten große Unternehmen und Kommunen in Konkurrenz zu konventionellen Betreibern von Telekommunikationsnetzen, andererseits erschließen sich für diese ebenfalls neue Marktsegmente. Aber auch Hersteller von Hardware, Betriebs- und Anwendungssoftware, Cloud- und andere Serviceprovider bereiten sich vor,

stärker an der 5G Wertschöpfungskette zu partizipieren. Die Unterschiede zwischen der Computer- und Telekommunikationsbranche nehmen ab. Die neuen Marktteilnehmer bringen wichtiges Know-how in den 5G Markt ein, müssen aber auch selbst neues Fachwissen erwerben, um im Wettbewerb bestehen zu können. Die traditionellen Marktebenen gehen stärker ineinander über und die gegenseitige Beeinflussung von Ausrüstern, Netzbetreibern und Anwendern nimmt deutlich zu. Neue Rollen und Abhängigkeiten entstehen.

In diesem erweiterten Marktumfeld entwickeln sich zudem neue Geschäftsmodelle. Ein wichtiger Faktor bei dieser Evolution der Geschäftsmodelle ist die Softwareentwicklung. Aufgrund der stetigen Softwareentwicklung (im Gegensatz zu einer eher periodischen Hardwareentwicklung bspw. im Sinne des Mooreschen Entwicklungsparadigmas) unterliegen Produkte und Systeminfrastrukturen einer kontinuierlichen Weiterentwicklung. Produkte reifen nie völlig aus. Updates erfolgen nicht immer periodisch, sondern können durch besondere Ereignisse (Events) ausgelöst werden. Diese erhöhte Marktdynamik und starke Intransparenz komplexer Technologiesysteme führt bei vielen Unternehmen und KMUs zu Unsicherheit. Damit entwickeln sich **wichtige Erfolgsfaktoren** zur Entfaltung der Potentiale neuer Kommunikationssysteme kritisch. Hierzu gehören insbesondere:

- Verständnis für Lösungen und die Ableitung der Potentiale für das eigene Unternehmen (Kosten reduzieren, Produktivität steigern, neue Produkte/Dienstleistungen und Geschäftsmodelle, neue Märkte und Wertschöpfungsbeziehungen)
- Klarheit über die Kosten-/Nutzenrelation von Investitionen in neue IKT,
- Klarheit über eigene Anforderungen an neue IKT und über eigene (technologische) Entwicklungsstrategien,
- Investitionssicherheit durch Standardisierung und Integrationsfähigkeit von neuen Technologien,
- Abhängigkeit von IKT in Verbindung mit dem Vertrauen in deren Beherrschbarkeit (konfigurieren, betreuen, Fehlersuche) und Sicherheit sowie der Transparenz in der Kausalität betrieblicher Prozesse
- Verfügbarkeit notwendiger Ressourcen (u. a. Personal, Fachwissen, finanzielle Mittel) unter Berücksichtigung der Möglichkeiten des Unternehmens

# Gesellschaftliches 06 und politisches Umfeld

Ausgangspunkt für die Einbettung der Entwicklungen um das Thema 5G in das gesellschaftliche Umfeld ist die Agenda 2030 der Weltgemeinschaft, in der Ziele (siehe Abb. 6.01) für eine weltweit nachhaltige Entwicklung definiert sind und zu deren Umsetzung sich auch Europa und die Bundesregierung in der Pflicht sehen.



Abb. 6.01  
17 Ziele einer nachhaltigen Entwicklung

Die Nutzung neuer Informations- und Kommunikationstechniken sowie insbesondere der dazugehörigen Kommunikationsnetze leisten für viele der Nachhaltigkeitsziele einen zentralen und unverzichtbaren Beitrag. Beispielhaft können hier das Ziel 3 „Ein gesundes Leben und Wohlergehen ermöglichen – für alle Menschen jeden Alters“ und die Rolle von 5G beim Ausbau digitaler Gesundheitsdienstleistungen oder das Ziel 9 „Infrastruktur, Industrialisierung und Innovationen fördern“ und die Rolle von 5G bei der digitalen Transformation der Industrie genannt werden.

Mit der 2013 gestarteten 5G Forschungsinitiative ist Deutschland international Vorreiter bei der Entwicklung von 5G Technologien und ihrer Verwertung. Mit einem Gesamtvolumen von über 100 Mio. € und insgesamt 20 Projekten in drei zeitlich versetzten Förderschwerpunkten arbeiten Forschung und Industrie in enger Kooperation daran, die unterschiedlichen Anforderungen an eine zukünftige industrielle Kommunikation in konkrete Lösungen umzusetzen. Zugleich fließen die Erkenntnisse in den wichtigen internationalen 5G Standardisierungsprozess ein. Darauf aufbauend hat die Bundesregierung 2016 einen Handlungsrahmen für den Netzausbau und die

Entwicklung von 5G Anwendungen geschaffen und anschließend eine ressortübergreifende „5G-Strategie“ für Deutschland entwickelt. Mit diesem konzertierten Handeln von Wissenschaft, Industrie und Politik ist eine wichtige Grundlage geschaffen, um Deutschland als 5G Leitmarkt zu positionieren und wichtige Digitalisierungsansätze wie Industrie 4.0 erfolgreich umsetzen zu können.



Abb. 6.02  
Aktionsfelder der 5G Strategie für Deutschland

In der **5G-Strategie der Bundesregierung** sind folgende zentralen Meilensteine beschrieben.

2016	2017	2018	2019	2020
<ul style="list-style-type: none"> <li>Erste Testfelder mit 5G-Bezug</li> <li>Bund-Länder AG zur Umsetzung DigING</li> <li>Start Dialogforum 5G</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Start Konsultation Bereitstellung 5G-Frequenzen</li> <li>Start 5G-Wettbewerb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weiterentwicklung der Förderkulisse im Hinblick auf Gigabitnetze</li> <li>Verfahren zur Frequenzbereitstellung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluation und ggf. Weiterentwicklung der 5G-Strategie</li> </ul>	<div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">5G</div> <div style="font-size: 1.5em; font-weight: bold;">Rollout</div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">➔</div>

Abb. 6.03  
Zentrale Meilensteine der 5G Strategie für Deutschland

Bereits sehr früh ist die Bedeutung von Testfeldern für die Umsetzung der 5G Strategie erkannt worden. Eine systematische Erfassung der Testfelder (siehe White Paper 5G Testinfrastrukturen) hat jedoch gezeigt, dass es noch Handlungsbedarfe im Bereich der Sichtbarkeit und der Angebote insbesondere in der industriellen Kommunikation gibt. Es wird davon ausgegangen, dass in dem wichtigen industriellen Bereich noch weitere Testfelder existieren, die beispielsweise wegen ihrer vorrangig drahtgebundenen Kommunikation aber nicht im Kontext von 5G eingeordnet werden, obwohl sie dieselben grundlegenden Technologien wie beispielsweise SDN und NFV nutzen.

Der wichtige öffentliche Diskurs über den 5G Einsatz in den unterschiedlichen Branchen und Industrien (Verticals) wurde erfolgreich über die Dialogforen umgesetzt und hat zu einer verstärkten Auseinandersetzung mit dem Thema auf Anwenderseite geführt. Eine Fortführung dieses Diskurses, auch unter Einbeziehung der Testbeds ist sinnvoll und wünschenswert.

Neben seiner sachlichen Notwendigkeit hat der **Prozess der Frequenzvergabe** einen wichtigen Beitrag zur Sichtbarkeit von 5G in der öffentlichen Wahrnehmung und damit auch in der Breite der Wirtschaft geleistet. Dabei spielt das Thema der lokalen und regionalen Frequenzen im industriellen Kontext eine besondere Rolle. Dies unterstreicht die Bedeutung derartiger Frequenzen und den damit verbundenen Bedarf nach privaten Netzen von Seiten der Wirtschaft und Kommunen. Dies zeigen auch die Auswertung der Stellungnahmen zur Anhörung der Bundesnetzagentur zur lokalen und regionalen Bereitstellung des Frequenzbereiches 3.700 MHz bis 3.800 MHz für den drahtlosen Netzzugang.

Durch eine entsprechende Förderkulisse hat der **Ausbau des glasfaserbasierten Gigabitnetzes** an Fahrt aufgenommen und entsprechend zu einer deutlich gesteigerten Ausbaugeschwindigkeit in der Fläche geführt. Dieses wird den 5G Rollout durch die Schaffung und Anbindung zusätzlicher Basisstationen unterstützen und beschleunigen.

Vom BMBF geförderte Projekte im Rahmen der Forschungsinitiative „5G – Industrielle Kommunikation der Zukunft“ leisten mit ihren Ergebnissen einen wichtigen Beitrag zur Evaluation und Weiterentwicklung der **5G Strategie für Deutschland**. Angesichts der hohen Dynamik der technologischen und marktlichen Entwicklungen scheint eine Evaluation und Weiterentwicklung der 5G Strategie auch über das Jahr 2020 als ratsam.

## Aktuelle Gesamtschätzung 07

Die Anwendung von 5G Technologien im Bereich der industriellen Kommunikation unterscheidet sich in wesentlichen Aspekten vom kommerziellen Mobilfunk für private Endnutzer. Gleichzeitig konkurriert die spezifische 5G Nutzung in der Industrie entlang der gesamten Wertschöpfungskette mit dem auf Massenkonsum ausgelegten Endkundengeschäft der großen Netzbetreiber. Aus dieser Situation entstehen teilweise Zielkonflikte beispielweise bezüglich der erhöhten Qualitätsanforderungen bei Hardware und Software.

Der in diesem White Paper vorgestellte Ansatz einer ganzheitlichen Beschreibung von 5G versucht, die technischen Aspekte mit marktwirtschaftlichen und politischen Randbedingungen in Wechselwirkung zu setzen. Hieraus resultiert die Unterscheidung wichtiger Gestaltungsebenen, Elemente und Merkmale. Mittels dieser Struktur lassen sich diverse Analysen unterstützen. So können Technologieentscheidungen besser getroffen und Geschäftsmodelle frühzeitig entwickelt werden. Bei der hohen Innovationsdynamik im Bereich der Technologie hilft die ganzheitliche Sicht, die eher langdauernden und komplexen, nicht-technischen Prozesse der Implementierung, besser beurteilen und planen zu können. Die Autoren dieses White Papers legen großen Wert darauf, die neuen Marktconstellationen und deren Treibkräfte dem Leser zu vermitteln. Aus diesem Verständnis resultiert das reale Spektrum der heutigen Gestaltungsmöglichkeiten.

Es ist wohl gerechtfertigt zu sagen, dass aus Sicht der deutschen Anwenderindustrie 5G eine Herausforderung ist. Sicherlich sind erhebliche wirtschaftliche Potentiale erkenn- und realisierbar. 5G schafft eigene Mehrwerte und ist deshalb nicht nur ein „besseres 4G“. Aber die unmittelbare Gestaltung und Nutzbarmachung von 5G ist unter den aktuellen Marktbedingungen komplex und sollte daher auch weitaus kritischer beurteilt werden. Die Akteure müssen sich den geopolitischen Gegebenheiten einschließlich neuer Handelskonflikte ebenso bewusst werden, wie der Tatsache, dass die immanente Evolution der Software maßgeblich die 5G Implementierung beeinflussen wird.

Mit dieser Dynamik und hohen Unsicherheit kann nur derjenige umgehen, der strategisch und ganzheitlich das Thema 5G im unternehmerischen Handeln adressiert. Das vorliegende Dokument liefert diesbezüglich eine methodische Hilfestellung, in dem es einen Überblick über die Gestaltungsbereiche verschafft, wichtige Einflussfaktoren benennt und erläutert. Ähnlich wie die technische Entwicklung klar definierte Reifegrade (TRL) durchläuft, können mit Hilfe dieser Gliederung auch marktwirtschaftliche und regulative Reifegrade ermittelt werden.

Abschließend ist festzustellen, dass dieses Dokument angesichts der hohen technischen und marktlichen Dynamik nur eine Momentaufnahme darstellen kann und fortgeschrieben werden muss. Eine solche Fortschreibung könnte zusätzliche Erkenntnisse aus der Analyse der erfolgten Veränderungen ziehen, um so eine zielgerichtete und erfolgreiche Umsetzung der 5G Strategie in Deutschland zu unterstützen.

<b>3GPP</b>	3 <sup>rd</sup> Generation Partnership Project
<b>5G PPP</b>	5G Public Private Partnership
<b>DigiNetzG</b>	Gesetz zur Erleichterung digitaler Hochgeschwindigkeitsnetze
<b>eMBB</b>	Enhanced Mobile Broadband
<b>ETSI</b>	European Telecommunication Standards Institute
<b>GHz</b>	Giga-Hertz (10 <sup>9</sup> Hertz)
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>GSMA</b>	GSM Association
<b>I4.0</b>	Industrie 4.0
<b>IKT</b>	Informations- und Kommunikationstechnik
<b>IMT</b>	International Mobile Telecommunications
<b>IoT</b>	Internet of Things (Internet der Dinge)
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>LPWA</b>	Low Power Wide Area
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>ITU-R</b>	ITU Radiocommunication Sector
<b>LTE</b>	Long Term Evolution
<b>LTE-A</b>	LTE-Advanced
<b>M2M</b>	Machine-to-Machine (Maschine-zu-Maschine)
<b>MHz</b>	Mega-Hertz (10 <sup>6</sup> Hertz)
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output (Mehrfachantennenverfahren)
<b>mMTC</b>	Massive Machine Type Communication (Maschine-zu-Maschine Kommunikation)
<b>MQTT</b>	Message Queue Telemetry Transport
<b>NB-IoT</b>	Narrowband Internet of Things
<b>NFV</b>	Network Function Virtualization
<b>NGMN</b>	Next Generation Mobile Networks
<b>PER</b>	Packet error rate
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer (Originalgerätehersteller)
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RSPG</b>	Radio Spectrum Policy Group
<b>RAT</b>	Radio Access Technology
<b>SDN</b>	Software-defined Networking
<b>SLA</b>	Service Level Agreement
<b>TKG</b>	Telekommunikationsgesetz
<b>URLLC</b>	Ultra-Reliable and Low-Latency Communications (qualitätssensible Kommunikation)
<b>WRC</b>	World Radio Conference

**SICP – Software Innovation Campus Paderborn****Universität Paderborn**

Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

SI-Lab – Software Innovation Lab

Fürstenallee 11

33102 Paderborn

**Ansprechpartner Projektleitung:**

Dr. Gunnar Schomaker

schomaker@sicp.de

**Projektpartner****Bildnachweise**

**Abb. 6.01:** <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-verstaendlich-erklaert-232174>

**Abb. 6.02** und **Abb. 6.03:** [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/098-dobrindt-5g-strategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/098-dobrindt-5g-strategie.pdf?__blob=publicationFile)

