

NETZINFRASTRUKTUREN FÜR DIE GIGABITGESELLSCHAFT

Herausgeber: Fraunhofer FOKUS



IMPRESSUM

Redaktionsteam

Henrik Czernomoriez, Prof. Dr. Manfred Hauswirth,
Prof. Dr. Thomas Magedanz, Rudolf Roth,
Prof. Dr. Ina Schieferdecker, Carsten Schmoll,
Dr. Florian Schreiner, Jens Tiemann

Herausgeber

Fraunhofer FOKUS
Kaiserin-Augusta-Allee 31
10589 Berlin
Telefon: +49 30 34 63 70 00
E-Mail: presse@fokus.fraunhofer.de
www.fokus.fraunhofer.de

Bildnachweis

MEV-Verlag (Titel)
Fraunhofer FOKUS (S. 1 - 133)

© Fraunhofer FOKUS, Berlin 2016

Inhalt

Glossar	3
Zusammenfassung	5
1 Einleitung und Begriffsbildung Gigabitgesellschaft	9
1.1 Zielbild Gigabitgesellschaft	9
1.1.1 Phasen der Infrastrukturentwicklung	9
1.1.2 Begriff der Gigabitgesellschaft	11
1.2 Technischer Hintergrund der Studie	12
1.2.1 Internet und Vernetzung	12
1.2.2 Netzmodell zur Diskussion von Handlungsoptionen	14
1.2.3 Technische Entwicklungsoptionen und deren Einordnung	16
1.3 Weiteres Vorgehen und Methodik dieser Studie	18
2 Bedarfsanalyse für die Gigabitgesellschaft	20
2.1 Vorgehen	21
2.2 Relevante Leistungsparameter der Netzinfrastruktur	22
2.3 Ausgewählte Anwendungsdomänen und -Szenarien	24
2.4 Analyse ausgewählter Anwendungsdomänen und Anwendungsszenarien	25
2.4.1 Automotive	25
2.4.2 Medien	31
2.4.3 Gesundheit	37
2.4.4 Industrie	46
2.4.5 Öffentliche Verwaltung	52
2.4.6 Energie	62
2.4.7 Bildung	68
2.5 Zusammenfassung und Fazit	70
3 Netztechnologien und intelligente Netzfunktionen	77
3.1 Analyse der Technologieklassen	78
3.1.1 DSL-Technologien (Kupferdoppelader)	78
3.1.2 HFC-Technologien (Koaxialkabel)	80
3.1.3 Glasfasertechnologien (FTTB/FTTH)	81
3.1.4 Funktechnologien	82
3.1.5 Tabellarische Technologieübersicht	85
3.2 Technologiekombinationen	94
3.3 Ausblick für die Technologieklassen	96
3.4 IKT-Enabler und intelligente Netzfunktionen	97
4 Technologieoptionen in Strukturräumen	101
4.1 Charakteristik der Strukturräume	101
4.2 Strukturmaumbezogene Handlungsempfehlungen	104
4.2.1 Strukturmaum Wohnen	106
4.2.2 Strukturmaum Industrie und Gewerbe	109
4.2.3 Strukturmaum öffentliche Einrichtungen und Bildungseinrichtungen	111
4.2.4 Strukturmaum Mobilitätstrassen	115
4.2.5 Strukturmaum spezielle Orte	118

5	Handlungsempfehlungen	120
5.1	Bewusstsein für die Gigabitgesellschaft schaffen	121
5.2	Intelligente Netzfunktionen der Gigabitinfrastrukturen vorbereiten	122
5.3	Intelligente Gigabitinfrastrukturen bereitstellen, Wettbewerb sicherstellen, Innovationen ermöglichen	123
5.4	5G als Katalysator für den nachhaltigen Aufbau der zukünftigen Gigabitinfrastrukturen nutzen	125
	Literaturverzeichnis	126
A I	Anhang I – Beschreibung der IKT-Enabler	135
A II	Anhang II – Detaillierte Technologiesteckbriefe	143
A III	Anhang III – Ergebnispräsentation zur studienbegleitenden Unternehmensbefragung	167

Glossar

100GPON	100 Gigabit (per second) Passive Optical Network	E-UTRA	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access
2G	2 nd Generation mobile network	FDD	Frequency Division Duplex
3G	3 rd Generation mobile network	FMC	Fixed-Mobile Convergence
4G	4 th Generation mobile network	FTTB	Fibre To The Building
4K	Video-Material in vierfacher Auflösung von Full-HD; auch UHD genannt	FTTC	Fibre To The Curb
5G	5 th Generation mobile network (Mobilfunktechnologie)	FTTdp	Fibre To The Distribution Point
5GBB	5 Gigabit (per second) Broad Band (Festnetztechnologie)	FTTH	Fibre To The Home
8K	Video-Material in vierfacher Auflösung von 4K	G.fast	Fast Access to Subscriber Terminals, ITU-T Dokument aus der G-Serie
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	Gbit/s	Gigabit per second
AfA	Absetzung für Abnutzung	GPON	Gigabit (per second) Passive Optical Network
AKDB	Anstalt für Kommunale Datenverarbeitung in Bayern	GPRS	General Packet Radio Service
AR	Augmented reality	GSM	Global System for Mobile communications
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen	H2020	Horizon 2020
BHKW	Blockheizkraftwerk	HAF	Hochautomatisiertes Fahren
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	HbbTV	Hybrid broadcast broadband TV
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	HD	High Definition (Video)
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik	HDR	High dynamic range
CDN	Content Delivery Network	HetNet	Heterogeneous Networks
CGM	CompuGroup Medical	HFC	Hybrid Fibre Coax
CMS	Content Management System	HSPA	High Speed Packet Access
CN	Cognitive Network	ICT	Information and communications technology
CPE	Customer Premises Equipment	IDIS	Institut für Design und Informationssysteme
CR	Cognitive Radio	IDM	Identity Management System
CRM	Customer Relationship Management	IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
DIHK	Deutsch Industrie- und Handelskammern	IETF	Internet Engineering Task Force
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	IIC	Industrial Internet Consortium
DOI	Deutschland-Online Infrastruktur	IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
DPU	Distribution Point Unit	IntServ	Integrated Services
DSL	Digital Subscriber Line	IoT	Internet of Things
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer	IPv4	Internet Protocol, version 4
DSM	Dynamic Spectrum Management	IPv6	Internet Protocol, version 6
DVZ	Datenverarbeitungszentrum	ISDN	Integrated Services Digital Network
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	ISM	Industrial, Scientific and Medical
EMVU	Elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt	ISP	Internet Service Provider
eNodeB	Evolved NodeB	ITS	Intelligent Transport Systems
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	ITU	International Telecommunication Union
		ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication
		IuK	Information und Kommunikation
		kbit/s	Kilobit per Second
		KMU	Kleine und mittlere Unternehmen

KV	Kassenärztliche Vereinigung	RLM	Registrierende Leistungsmessung
KVz	Kabelverzweiger	RRM	Radio Resource Management
LAA	License Assisted Access	RZ	Rechenzentrum
LAN	Local Area Network	SDN	Software-Defined Networking
LPWAN	Low Power Wide Area Network	SDO	Standards Development Organization
LTE	Long Term Evolution	SLA	Service Level Agreement
LTE-A	Long Term Evolution Advanced	SMC-B	Security Module Card Typ B
LTE-U	Long Term Evolution in the Unlicensed spectrum	SMGW	Smart Meter Gateway
LTE-V	Long-term Evolution, Vehicular	SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
LWA	LTE Wireless LAN Aggregation	SRL	Sekundärregelleistung
M2M	Machine to Machine	TAL	Teilnehmeranschlussleitung
Mbit	Megabit	Tbit/s	Terabit per Second
Mbit/s	Megabit per second	TCP/UDP	Transmission Control Protocol / User Datagram Protocol
MEC	Mobile Edge Cloud	TDD	Time Division Duplex
MEO	Medium Earth Orbit	TDM	Time Division Multiplex
MFG	Multifunktionsgehäuse	TIA	Telecommunications Industry Association
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output	TWDM	Time and Wavelength Division Multiplexing
MOOC	Massive Open Online Course	UHD	Ultra-High Definition, siehe auch „4K“
MPLS	Multiprotocol Label Switching	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
MSAN	Multi-Service Access Node	ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
MU-MIMO	Multi-User – Multiple-Input and Multiple-Output	VDA	Verband der Automobilindustrie
NB-IoT	Narrowband Internet of Things	VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
NFV	Network Function Virtualisation	VK	Virtuelles Kraftwerk
NGA	Next Generation Architecture	VNB	Verteilnetzbetreiber
NGN	Next Generation Network	VNI	Virtual Network Identifier
NG-PON2	Next Generation Passive Optical Network, version 2	VNO	Virtual Network Operator
OEM	Original Equipment Manufacturer	VoLTE	Voice over LTE
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex	Vplus	DSL-Nachfolger, auch VDSL2 35b und VDSL2 Supervectoring genannt
ÖPP	Öffentlich-private Partnerschaft	VPN	Virtual Private Network
OTT	Over the Top	VR	Virtual reality
ÖV	Öffentliche Verwaltung	WDM	Wavelength Division Multiplexing
P2MP	Point to Multi-Point	WLAN	Wireless Local Area Network
P2P	Peer to Peer	xDSL	Oberbegriff für DSL-Technologien wie ADSL, VSDL und VDSL2
PLC	Powerline Communication	XG-FAST	DSL-Technologie, Nachfolger von G.fast
PMP	Punkt-zu-Mehrpunkt	XÖV	XML in der öffentlichen Verwaltung
PON	Passive Optical Network		
PPP	Public Private Partnership		
PTP	Point to Point		
PV	Photovoltaic		
QoS	Quality of Service		
RFC	Request for Comments		

Zusammenfassung

Die Gigabitgesellschaft des Jahres 2025 ist eine fortgeschrittene Informationsgesellschaft, die vollständig von Informations- und Kommunikationstechnik durchdrungen ist. Dadurch werden einerseits alle heute bekannten Anwendungen flächendeckend und in jeder Lebenslage nutzbar, andererseits gänzlich neue Anwendungen möglich: Die schon jetzt allgegenwärtigen Smartphones und Tablets sind die Vorboten einer umfassenden und dauerhaften Vernetzung einer Vielzahl uns umgebender „Dinge“, die für uns Informationen sammeln, uns im Alltag unterstützen und mit denen wir unsere Umgebung steuern können. Die Steuerung von Maschinen und deren Interaktion wird in weiten Bereichen nur über Vernetzung noch verbessert werden können, ganz gleich, ob es sich um smarte Häuser, Fahrzeuge oder Industrieroboter handelt. Nicht zuletzt werden für uns neue Formen der Mediennutzung alltäglich, bei denen wir in virtuelle Welten eintauchen oder digitale Informationen als eine zusätzliche Dimension unserer realen Welt in Form erweiterter Realität direkt für uns erfahrbar werden.

Mit dem Begriff Gigabitgesellschaft wird derzeit ein Zukunftsbild gezeichnet, in dem durch die fortschreitende Digitalisierung und intelligente Vernetzung neue Impulse für das Leben und Arbeiten in unserer Gesellschaft gesetzt werden. Dabei ist die grundsätzliche Bedeutung einer Breitbandinfrastruktur für Innovation und Wirtschaftswachstum allgemein anerkannt. Untersuchungsbedarf besteht jedoch mittel- bis langfristig insbesondere für die Anforderungen an die zukünftigen Netzinfrastrukturen von Industrie, öffentlicher Verwaltung und Haushalten in Deutschland sowie zu den technologischen Optionen zur adäquaten Adressierung dieser Bedarfe.

Zielsetzung dieser vom BMVI auf Initiative der Netzallianz Digitales Deutschland an das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS vergebenen Studie ist die Erarbeitung einer fundierten wissenschaftlichen Basis für die künftig erforderliche Ausgestaltung der drahtlosen und leitungsgebundenen digitalen Infrastruktur in Deutschland für das Jahr 2025.

Dabei löst sich diese Studie von den anhaltenden Diskussionen und der Forderung nach flächendeckender Glasfaser in Deutschland. Glasfaser spielt ohne Zweifel eine entscheidende Rolle bei allen betrachteten festen und mobilen Netztechnologien der Zukunft; die Wahl der geeignetsten Zugangstechnologie oder möglicher Technologiemixe wird aber primär durch die Anforderungen der zu unterstützenden Anwendungen an einem bestimmten Ort bestimmt.

Ferner darf der Begriff der Gigabitgesellschaft nicht dazu verleiten, den Fokus ausschließlich auf eine möglichst hohe Bandbreite beim Netzzugang zu legen. Der Unterstützung vieler vernetzter Endgeräte, der Echtzeitfähigkeit in Form einer niedrigen Latenz, einer hohen Verfügbarkeit und Sicherheit der Infrastruktur und der Flexibilisierung der Netze muss mindestens die gleiche Bedeutung beim Breitbandausbau beigemessen werden. Die Entwicklung und der zügige Aufbau von Netzfunktionen zur Steuerung dieser Eigenschaften sollten verstärkt in den Mittelpunkt der Betrachtung rücken.

Aus diesem Grund widmet sich diese Studie der Frage, wie sich eine Gigabitgesellschaft im Jahr 2025 definieren kann, welche Anwendungen das tägliche Leben der Menschen und die Wirtschaft 2025 prägen und welche Netzinfrastrukturen diese Anwendungen benötigen werden, um die Lebensqualität zu verbessern, die Wirtschaft in Deutschland zu stärken und neue Innovationspotenziale zu schaffen. Dabei müssen sowohl die Bandbreitenbedarfe dieser Anwendungen einzeln und zusammen sinnvoll abgeschätzt werden, als auch – aufgrund der neuen Anforderungen zukünftiger Anwendungen – die weiteren, über den reinen Datentransport hinausgehenden Eigenschaften für die Fortschreibung der Netzinfrastrukturen Berücksichtigung finden.

In **Kapitel 1** definiert die Studie initial, was unter dem **Begriff Gigabitgesellschaft** verstanden werden kann und diskutiert die unterschiedlichen Netztypen, die eine Gigabitinfrastruktur bereitstellen muss. Hier sind grundsätzlich zu unterscheiden: offenes Internet, Spezialnetze und geschlossene Netze.

Darauf aufbauend untersucht **Kapitel 2** typische **Anforderungen an die Infrastruktur** der Gigabitgesellschaft. Diese Analyse bildet die wesentliche Basis für die weiteren Betrachtungen. Ausgewählt wurden aufgrund der hohen Relevanz von bereits heute oder in naher Zukunft genutzten Anwendungen die **Anwendungsdomänen** Automotive, Produktion/Industrie 4.0, Medien, Gesundheit/Telemedizin, öffentliche Verwaltung/E-Government, Energie sowie Bildung/E-Learning. Dabei wurden auf der Basis verfügbarer Marktstudien, mit Hilfe von Experteninterviews und einem gemeinsamen Workshop mit der IT-Gipfel-Fokusgruppe „Aufbruch in die Gigabitgesellschaft“ ausgewählte innovative Anwendungsszenarien (bspw. hochautomatisiertes Fahren, Qualitätssicherung mittels cloud-basierter Videoanalyse, Smart City, 360°-Videostreaming, Digitales Bürgeramt) aus den identifizierten Anwendungsdomänen dediziert analysiert. Die Anwendungsszenarien wurden dabei hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Relevanz, ihrer Bandbreitenanforderungen im Up- und Download und ihrer wesentlichen Netzparameter (Sicherheit, Leistungsfähigkeit, Netzwerkmanagement, Wirtschaftlichkeit, Offenheit, Ressourcen- und Energieeffizienz) untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anforderungen an die Infrastruktur über die Breite der Anwendungen extrem unterschiedlich ausfallen. Neben hohen Bandbreiten für einige Anwendungen sind teilweise sehr geringe Latenzen, geringste Paketverluste oder Datenverarbeitung im Netz erforderlich – Eigenschaften also, die allein durch Technologien mit Fokus auf höchste Datenraten nicht garantiert werden können. Vielmehr müssen hierfür intelligente, softwarebasierte Netzfunktionen die zukünftigen Netze ergänzen und eine erheblich höhere „Netzintelligenz“ implementieren.

Eine weitere wesentliche Basis dieser Studie bildet in **Kapitel 3** die **Analyse verfügbarer Breitbandnetz-technologien**. Dazu werden die aktuell in Deutschland für den breitbandigen Netzzugang eingesetzten Glasfaser-, DSL- und HFC-Technologien (Kabelnetze) sowie drahtlose Funknetze wie WLAN, 4G/LTE und 5G hinsichtlich technischer Eigenschaften, zukünftiger Technologieevolution und Einsatzgebiete analysiert, klassifiziert und in Form von Technologiesteckbriefen beschrieben. Die Technologieeigenschaften wurden in enger Zusammenarbeit mit der Projektgruppe „Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabitgesellschaft“ des nationalen IT-Gipfels dokumentiert. In der Studie werden die Technologien nicht nur isoliert betrachtet, sondern auch hinsichtlich ihrer Kombinierbarkeit als Technologiemix, um Leistungsfähigkeit bzw. Verfügbarkeit zu steigern. Außerdem wird auf intelligente Netzfunktionen (Enabler) eingegangen, die die verfügbaren Übertragungstechnologien dort unterstützen, wo deren Eigenschaften allein nicht mehr ausreichend sind, um die Bedarfe der Anwendungen der Gigabitgesellschaft zu decken.

Eine einfache Abbildung der Anforderungen einzelner Gigabitanwendungen auf die verfügbaren und absehbaren Ausbaustufen der betrachteten Netzzugangstechnologien greift angesichts der gesellschaftlichen Dimension dieser Studie zu kurz, da verschiedene Regionen in Deutschland ganz unterschiedliche strukturelle Voraussetzungen für die dort vorhandene und zukünftig sinnvollste IKT-Vernetzung bzw. deren Mix besitzen. Aus diesem Grund untersucht die vorliegende Studie fünf wesentliche Strukturräume in Deutschland: Wohngebiete, Industrie- und Gewerbegebiete, Öffentliche Gebäude und Bildungseinrichtungen, Mobilitätstrassen sowie spezielle Orte. Das Ziel dieses Vorgehens ist es, die zentralen Anwendungsdomänen pro Strukturräum auszuwählen. Dabei sollen anhand von charakteristischen Leitanwendungen sowie ggf. weiterer Anwendungen notwendige Anforderungen identifiziert werden. Daraus werden angepasste technologische, finanzielle und regulatorische Handlungsempfehlungen für den kommenden Ausbau in den unterschiedlichen Strukturräumen abgeleitet. Methodologisch wird hier auf die anfangs herausgearbeiteten Anforderungen der verschiedenen Anwendungsdomänen sowie auf die Beschreibung der einzelnen Technologien zurückgegriffen.

Ein wesentliches Merkmal der Studie ist die exemplarische Beschreibung sowohl von Anforderungen zukünftiger Anwendungen der Gigabitgesellschaft als auch von technischen Optionen zur Realisierung ihrer Netzinfrastrukturen innerhalb typischer **Strukturräume**. Damit soll trotz der Komplexität des Themas die gesamte Spannbreite notwendiger Handlungsbereiche erkennbar bleiben. Die in **Kapitel 4** entwickelten Handlungsempfehlungen, aufgeteilt nach den genannten Strukturräumen, bilden ein wesentliches Ergebnis dieser Studie. Sie zeigen die Komplexität der Aufgabenstellung und die Vielschichtigkeit der möglichen Ansätze für den Gigabitinfrastrukturaufbau in Deutschland.

Im Rahmen dieser wissenschaftlichen Studie erfolgt bewusst weder eine Priorisierung von Anwendungen noch von Strukturräumen, da der Netzausbau in erster Linie nach Wirtschaftlichkeitskriterien durch die ausbauenden Unternehmen gesteuert wird. Aus diesem Grund werden in **Kapitel 5** zusammenfassend die zuvor identifizierten **Handlungsempfehlungen** verdichtet.

Im Rahmen dieser Studie wurde durch die Bitkom Research GmbH eine Befragung unter 754 Unternehmen in Deutschland durchgeführt (siehe Anhang III dieser Studie). 30% der befragten Unternehmen äußerten ein Bedürfnis nach mehr Bandbreite im Netzzugang, jedoch haben die meisten Befragten keine klare Vorstellung von den Möglichkeiten und Herausforderungen der kommenden Gigabitinfrastruktur.

Beim laufenden Ausbau der Netzinfrastruktur muss darauf geachtet werden, die vorhandenen Zugangsnetze mit einem Mix von Technologien zu ertüchtigen, um die Aspekte Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit in Einklang zu bringen. Im Zugang bieten die komplementären Systeme Glasfaser und neue Funktechnologien langfristig die größten Leistungsreserven und die Flexibilität zur Abdeckung aller verschiedenen Anforderungen an die Infrastrukturen der Gigabitgesellschaft. Kabelgebundene Technologien über Kupferdoppeladern und Koaxialkabel werden diesen Mix im Zugang, wo sie in Ausprägung mit genügender Bandbreite und Dienstgüte vorhanden sind, sinnvoll ergänzen können. Dies erfordert zwingend eine Modernisierung mit den jeweils aktuellsten Festnetz- bzw. Funktechnologien. Im Backbone dominiert die Nutzung von Glasfasertechnologie. Somit erfordert der Ausbau aller Technologien eine deutliche Aufstockung des Glasfaseranteils.

Ferner lassen die Ergebnisse der vorliegenden Studie klar erkennen, dass hohe Datenraten allein nicht ausreichen werden, um den Anforderungen zukünftiger Anwendungen gerecht zu werden. Bedarfe bzgl. eines hohen Datenvolumens und kurzer Antwortzeiten für verschiedene vernetzte Komponenten machen es notwendig, Netze sowie Daten- und Rechenzentren noch enger miteinander zu vernetzen. Folgerichtig muss dem Ausbau der Netzintelligenz und damit der Bereitstellung von Funktionen im Netz (sog. Enabler, siehe Anhang I) sehr große Bedeutung beigemessen werden.

Verschiedene Aspekte von Sicherheit und Offenheit von Infrastrukturen sind genauso wichtig wie flexible Konfigurierbarkeit, die wesentlich zum wirtschaftlichen Betrieb der Netze beiträgt. Gigabitanwendungen erfordern das gesamte Spektrum von unterschiedlich ausgeprägten Netztypen: sowohl offenes Internet mit freiem Zugang zu Inhalten und innovativen Diensten, wie multimediale Kommunikationsdienste, als auch Spezialnetze zur Sicherstellung von Dienstqualität und Schutz der Daten, bspw. für E-Health-Anwendungen. Die Netztypen sind unterschiedliche Ausprägungen der gleichen Infrastruktur, die mittels neuester Technologien wie Network Slicing und dynamisches Netzmanagement optimiert für die zu unterstützenden Anwendungen realisiert werden. Jedoch besteht noch Forschungsbedarf hinsichtlich der Ausgestaltung und Leistungsfähigkeit dieser Technologien sowie deren internationaler Standardisierung.

Dafür ist ein Ausbau von Gigabitinfrastrukturen auf Basis von Strukturräumen und die frühzeitige praktische Erprobung dieser Infrastrukturen in Form von offenen Experimentierräumen von elementarer Bedeutung. Letztendlich muss davon ausgegangen werden, dass gänzlich neue Anwendungen die Treiber der neuen Gigabitinfrastrukturen sein werden, wobei die in der Studie betrachteten Anwendungen bereits verlässliche Hinweise auf die notwendigen Anforderungen an die Netze geben.

Insbesondere mit Blick auf entstehende 5G-Standards und -Infrastrukturen lassen sich Gigabitinfrastrukturen nicht isoliert betrachten. 5G ist ein elementarer Teil der Gigabitinfrastrukturen und vereint neben neuesten Mobilfunktechnologien auch feste Zugangsnetze in einer virtualisierten Netzwelt. Virtualisierung auf mehreren Ebenen wird somit zum bestimmenden Kennzeichen zukünftiger Netzinfrastrukturen und steht für eine enge Verschmelzung von Informations- und Kommunikationstechnik. Die Netze der Gigabitgesellschaft ermöglichen so eine bedarfsgerechte Unterstützung der Anwendungen, indem heterogene informations- und kommunikationstechnische Infrastrukturen umfassend und optimiert zur Überwindung bisheriger Beschränkungen genutzt werden.

Dabei sind sowohl der Wettbewerb beim nachhaltigen Aufbau und wirtschaftlichen Betrieb als auch die Offenheit der Nutzung aller Teile der Infrastruktur, inklusive der Netzintelligenz, wesentliche Voraussetzungen für zukünftige Innovationen und die Wertschöpfung in Deutschland. „Offenheit“ bezieht sich hier auf die Möglichkeit für Marktteilnehmer, Firmen und Gründer, die Netzintelligenz (z. B. dynamische Netzscheiben mit gesicherter Dienstgüte) für ihre Produkte bzw. Dienste zu nutzen.

Die finalen Handlungsempfehlungen der Studie sind im letzten Kapitel in vier Handlungsfelder gruppiert:

- Bewusstsein für die Gigabitgesellschaft schaffen,
- intelligente Netzfunktionen der Gigabitinfrastrukturen vorbereiten,
- Intelligente Gigabitinfrastrukturen aufbauen, Wettbewerb sicherstellen, Innovationen ermöglichen
- 5G als Katalysator für den nachhaltigen Aufbau der zukünftigen Gigabitinfrastrukturen nutzen.

Deshalb möchten wir abschließend besonders hervorheben:

Ein flächendeckender Ausbau der Netzzugänge mit höheren Bandbreiten ist nur ein Bestandteil des Gigabitinfrastrukturaufbaus: Intelligente Netzfunktionen, insbesondere verteilte Daten- und Rechenzentren werden in Zukunft wesentliche Grundlage für die flexible Realisierung neuer Gigabitanwendungen und somit die Basis für Wertschöpfung und Innovation in Deutschland sein.

Wir raten deshalb dringend zur erweiterten Betrachtung des Begriffs Gigabitinfrastrukturen und zu einem frühzeitigen Aufbau und der offenen Bereitstellung dieser intelligenten Netzinfrastrukturen für einen freien Wettbewerb. Ansonsten besteht die Gefahr, dass ein Großteil der Wertschöpfung in den verschiedenen Gigabitanwendungen – wie auch bereits heute im Internet – durch Over-the-Top-Anbieter und damit nicht in Deutschland erfolgen wird. Der wohlbedachte Aufbau einer offenen intelligenten Gigabitinfrastruktur bietet viele Potenziale für Innovationen „Made for Germany“ und „Made in Germany“. Diese gilt es zu nutzen!

1 Einleitung und Begriffsbildung Gigabitgesellschaft

Globale Trends bei der Nutzung von Medien und dem individuellen Kommunikationsverhalten, bei Mobilität und industrieller Produktion sind eng mit der Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik verknüpft. Die technische Vernetzung eröffnet Möglichkeiten zur übergreifenden Steuerung und Optimierung bereits hochentwickelter Systeme. Der Fortschritt in vielen Anwendungsbereichen wird in den kommenden Jahren zu einer weiteren Aufwertung der Kommunikationsnetze führen. Gleichzeitig steigt die Abhängigkeit von dieser basalen und teilweise kritischen Infrastruktur. Durch die digitale Transformation von Gesellschaft und Wirtschaft werden die digitalen Infrastrukturen zum entscheidenden Standortfaktor. Sie ermöglichen Innovation, Wettbewerb, Beschäftigung und nachhaltiges Wirtschaftswachstum. Dazu müssen sie sich in Deutschland und Europa an internationalen Standards messen lassen.

Vernetzung ist nicht mit dem offenen Internet gleichzusetzen. Komplementär sind geschlossene Netze für den geschützten und vertraulichen Datenaustausch notwendig. So werden diese als Firmen- oder Verwaltungsnetze in vielen Fällen auf Transportinfrastrukturen von Anbietern von Telekommunikationsdienstleistungen aufgebaut sein. Ferner werden zukünftig auch Spezialnetze wichtiger, die Anwendungen der Gigabitgesellschaft in ihren Anforderungen maßgeschneidert unterstützen. All diese Netztypen haben verschiedene Stärken und werden in einer hochgradig vernetzten Gesellschaft gleichermaßen benötigt.

Um die vielfältigen technischen Herausforderungen an die zukünftige Infrastruktur darzustellen, wird in diesem Kapitel 1 zunächst der Begriff der Gigabitgesellschaft herausgearbeitet. Die dynamische Entwicklung im Bereich der Informationstechnik mit ihren weltweiten Impulsen erschwert es, valide Aussagen über die Zukunft zu treffen. Im Rahmen dieser Studie werden anhand der Betrachtung von Phasen der Infrastrukturentwicklung zukünftige Entwicklungen skizziert: Aus den bekannten Entwicklungen in der Digitalisierung der Gesellschaft werden exemplarisch 17 Anwendungen ausgewählt, die stellvertretend für die zu erwartenden breiten Anforderungen an die Netzinfrastuktur der Gigabitgesellschaft stehen (Kapitel 2).

Während recht konkrete Vorstellungen darüber bestehen, wie die Technik uns in Zukunft unterstützen kann, ist das Wissen über die technische Realisierbarkeit von Anwendungen und die dafür notwendigen Voraussetzungen durch die IKT-Infrastruktur weniger verbreitet. Als Grundlage für das Verständnis dieser Studie werden daher die grundlegenden technischen Konzepte der Vernetzung eingeführt, bevor in Kapitel 3 eine detaillierte Darstellung der Technologien und Netzfunktionen erfolgt, die zur Realisierung der Netzinfrastrukturen der Gigabitgesellschaft notwendig sind.

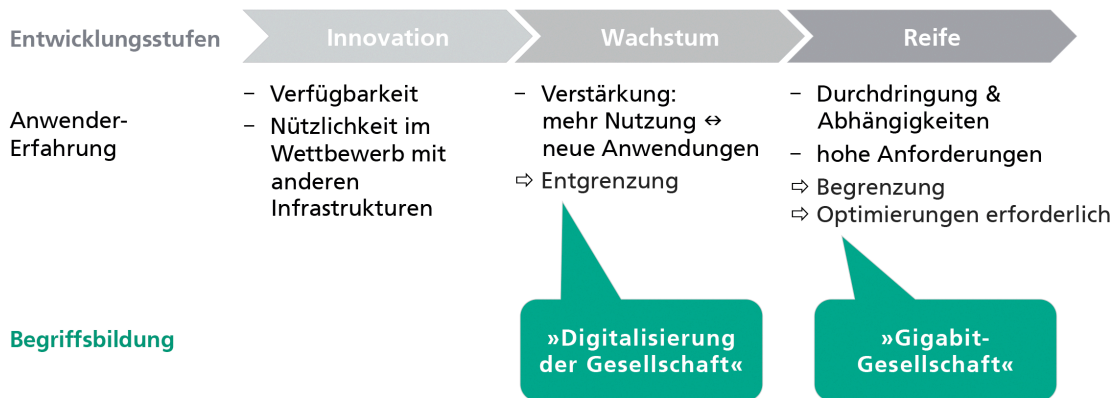
1.1 Zielbild Gigabitgesellschaft

Im ersten Schritt wird auf Grundlage einer allgemeinen Betrachtung der Infrastrukturentwicklung der Begriff der Gigabitgesellschaft und ihrer Netzinfrastrukturen skizziert. Die Darstellung der Entwicklungsphasen dient zugleich als Einstieg in die Methodik der vorliegenden Studie.

1.1.1 Phasen der Infrastrukturentwicklung

Die Betrachtung des Entwicklungszyklus von Infrastrukturen ermöglicht eine erste Annäherung an die Gigabitgesellschaft, wobei der Begriff der Infrastruktur zunächst breit aufgefasst werden kann und sich nicht ausschließlich auf Kommunikationsnetze beziehen muss. Dabei können technische Innovationen in verschiedenen infrastrukturellen Bereichen sich gegenseitig befördern: Ein in diesem Zusammenhang naheliegendes Beispiel ist die Entwicklung des Eisenbahnnetzes und dessen Einfluss auf die Industrialisierung. Der Entwicklungszyklus von Infrastrukturen kann in drei Phasen betrachtet werden: Innovations-, Wachstums- und Reifephase.

Abbildung 1: Phasen der Infrastrukturentwicklung



Die Innovationsphase in der Entwicklung einer Infrastruktur ist vor allem durch ihre Nützlichkeit geprägt: Hier behauptet sich die Leistungsfähigkeit der neuen Infrastruktur im Wettbewerb mit anderen, bereits etablierten Infrastrukturen.

Mit zunehmender Akzeptanz und in Folge der Nutzung der neuen Infrastruktur setzt die Wachstumsphase ein. Die tatsächliche Nutzung führt zu einem weiteren Ausbau der Infrastruktur, welche wiederum eine vermehrte Nutzung begünstigt, wie beispielsweise beim Ausbau von Straßen und der darauffolgenden Zunahme des Verkehrs beobachtet werden konnte. Mit der steigenden Durchdringung entsteht eine zunehmende Abhängigkeit von dieser Infrastruktur.

Heute verdeutlicht das Beispiel des Straßenverkehrs die Kennzeichen der Reifephase: Die Gesellschaft ist umfassend von der inzwischen unverzichtbar gewordenen Infrastruktur durchdrungen und durch diese geprägt.

Während die Nutzer einer jungen Infrastruktur vor allem die Erfahrung der Verfügbarkeit machen, die im positiven Fall zu einer steigenden Nachfrage und Durchdringung führt, wird deren Wachstumsphase als Entgrenzung erfahren: Gesellschaftliche Prozesse werden zunehmend durch die neue Infrastruktur beeinflusst, neue Geschäftsmodelle bzw. Anwendungen basieren auf ihrer mittlerweile breiten Verfügbarkeit.

Derzeit befinden wir uns mitten in der Wachstumsphase und damit im Prozess der Digitalisierung der Gesellschaft, durch die praktisch alle Lebensbereiche beeinflusst werden. Es geht nicht mehr allein um die Übertragung von Daten, sondern gleichzeitig um die Aggregation und Verteilung von Informationen über Plattformen. Die derzeitigen Ideen für zukünftige Anwendungen dienen dieser Studie als Grundlage für die Definition zukünftiger Anforderungen an die Netzinfrastruktur, dieser Ansatz wird in Kapitel 2 aufgegriffen.

Mit der Weiterentwicklung von Anwendungen steigen die Anforderungen an die Infrastruktur und das Wachstum stößt vermehrt an Grenzen. Dies betrifft im Kontext der Digitalisierung der Gesellschaft weniger die Verfügbarkeit von Ressourcen, vielmehr werden naturgesetzliche, physikalische Grenzen erreicht. So ist eine interaktive Steuerung über größere Entfernungen durch die Lichtgeschwindigkeit und damit durch Signallaufzeiten begrenzt, und das Funkspektrum muss zwischen allen Nutzungsarten und Nutzern lokal geteilt werden. Diese Grenzen bedeuten keineswegs ein absehbares Ende der Entwicklung, sondern dass nun verstärkt Optimierungen notwendig werden. Das umfasst sowohl Optimierungen innerhalb bestehender Übertragungstechnologien, die Entwicklung neuer Technologien sowie die Kombination von Technologien. Dies wird insbesondere in einer zunehmenden Verschmelzung von Kommunikations- und Informationstechnik sichtbar. Die Infrastruktur der Gigabitgesellschaft wird die aufgezeigten Begrenzungen durch eine geeignete Kombination von verschiedenen Technologien und intelligenten Netzfunktionen überwinden. Damit steht die notwendige Leistungsfähigkeit zur Verfügung, um gesellschaftliche und

wirtschaftliche Entwicklungen weiterhin zu unterstützen. Verfügbare Netzzugangstechnologien und Funktionen zur Optimierung der Netze werden in Kapitel 3 detailliert beschrieben.

1.1.2 Begriff der Gigabitgesellschaft

Der Begriff Gigabitgesellschaft bezeichnet eine Breitbandvernetzung aller gesellschaftlichen Akteure, vom Privathaushalt über die Wirtschaft bis zur öffentlichen Verwaltung. Diese vereinfachte Betrachtung basiert zum wesentlichen Teil auf den evidenten Entwicklungen des Internets, blendet aber wesentliche Aspekte aus. Bei einer detaillierten Betrachtung verschiedener Szenarien und Anwendungen werden differenzierte Anforderungen sichtbar, die auch zu technischen Zielkonflikten führen können. Ein Beispiel hierfür wäre die Forderung nach niedrigem Energieverbrauch und jene nach hoher Datenrate, die nur durch aufwändige Signalverarbeitung erreicht werden kann. Neben der hohen Datenrate mit guter Qualität bei geringen Antwortzeiten (Latenz), sind durch neue Szenarien – bspw. aus dem Bereich des Internet der Dinge – auch neue Eigenschaften wesentlich, wie die Vernetzung einer extrem hohen Anzahl von Dingen bei gleichzeitig geringem Energieverbrauch. Bei dem Blick auf diese technischen Leistungsparameter darf nicht vergessen werden, dass auch Wirtschaftlichkeit und Sicherheit grundlegende Anforderungen an jede Infrastruktur darstellen. Zudem unterstützen verschiedene Aspekte von Offenheit bei Infrastrukturen die wichtigen Ziele Innovation und Wettbewerb.

Aus der Anwenderperspektive ist die Gigabitgesellschaft eine fortgeschrittene Informationsgesellschaft: Hier werden hohe und vielgestaltige Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Netzinfrastruktur gestellt, um der unverzichtbar gewordenen Vernetzung sowie der Entwicklung neuartiger Anwendungen gerecht zu werden. Der Begriff der Informationsgesellschaft verweist darauf, dass wesentliche Wertschöpfungen der Gesellschaft auf der Verarbeitung von Informationen beruhen. Daraus ergibt sich, dass die IKT-Infrastrukturen eine hohe Bedeutung für die Gesellschaft haben und die Gesellschaft wiederum hohe und fortlaufend steigende Anforderungen an ihre IKT-Infrastrukturen stellt. Vernetzung und Digitalisierung sind dabei Treiber für die Steigerung der Effizienz bestehender Anwendungen und Prozesse. Zugleich bilden sie den Ausgangspunkt für die Entwicklung ganz neuer Anwendungen, wie bspw. das automatisierte und vernetzte Fahren. Die Anforderungen an die Netzinfrastruktur zeigen sich anhand verschiedener Qualitäten (Dienstgüte, QoS). Entsprechend den Anforderungen der Anwendungen können das hohe Datenrate, niedrige Latenz, die Unterstützung einer hohen Anzahl von Teilnehmern und nicht-funktionale Anforderungen wie Sicherheit, Wirtschaftlichkeit oder Ressourceneffizienz sein.

Aus einer Technikperspektive bietet die Netzinfrastruktur der Gigabitgesellschaft nutzungsspezifisch differenzierte Kommunikationsdienste und Anwendungsunterstützung, die durch aufeinander abgestimmte Teilnetze realisiert werden und deren Qualität durch die umfassende Optimierung von Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen sichergestellt wird. Die hohen Anforderungen an Netze bedeuten eine ständige Auseinandersetzung mit dem im Rahmen der physikalischen Gesetze technisch Machbaren, sei es bei der Steigerung der Datenrate oder bei der Verringerung von Signallaufzeiten. Dabei sind Anforderungen an die Netzinfrastruktur teilweise widersprüchlich. Daher besteht die Notwendigkeit, differenzierte Dienste, die auf den Anwendungsbedarf abgestimmt sind, bereitzustellen. Allgemein ist das Internet zu einer unverzichtbaren Infrastruktur geworden und die Internettechnologie¹ hat sich weitgehend in fast allen Netzen, ob öffentlich oder privat, durchgesetzt. Die Netzinfrastruktur besteht aber in vielen Fällen nicht aus einem homogenen Netz, sondern setzt sich aus verschiedenen Teilnetzen mit unterschiedlichen Eigenschaften zusammen. Die geforderte Qualität muss zwischen den Endpunkten auf dem gesamten Pfad einer Kommunikationsbeziehung bereitgestellt werden, eine Begrenzung auf einem Teilabschnitt des Kommuni-

¹ Internettechnologie steht hier vereinfachend für den Einsatz der Familie der Internetprotokolle wie z. B. IP, TCP/UDP, HTTP, aber auch für dadurch beeinflusste Softwarearchitekturen.

kationsweges stellt eine Begrenzung für die gesamte Kommunikationsbeziehung dar. Eine Leistungssteigerung der Netzinfrastruktur beruht daher auf Optimierungen innerhalb einzelner Netztechnologien und im Zusammenspiel der Teilsysteme.

Vor dem Hintergrund dieser Betrachtungen wird deutlich, dass die Gigabitgesellschaft nicht allein auf einer quantitativen Steigerung der im Zugangsbereich verfügbaren Datenrate beruhen kann, sondern weitere Leistungsparameter des Netzes als Gesamtsystem berücksichtigt werden müssen. Auf diesen qualitativen Unterschied zu bisherigen Stufen der Entwicklung bezieht sich auch die folgende Definition der Gigabitgesellschaft für diese Studie.

Die Gigabitgesellschaft ist eine fortgeschrittene Informationsgesellschaft, die vollständig von Informations- und Kommunikationstechnik durchdrungen ist, so dass die Nutzer keine technischen Beschränkungen erfahren und vernetzte Anwendungen ohne Restriktionen möglich sind.

Die Netze der Gigabitgesellschaft ermöglichen eine bedarfsgerechte Unterstützung von Anwendungen. Hierzu werden heterogene informations- und kommunikationstechnische Infrastrukturen umfassend und optimiert genutzt, um physische Beschränkungen überwinden zu können.

1.2 Technischer Hintergrund der Studie

Zum besseren Verständnis der Studie werden zunächst einige grundsätzliche technische Konzepte der Vernetzung erläutert. Folgend werden die verschiedenen Arten der Vernetzung in Bezug auf Offenheit und Kontrolle bzw. Steuerbarkeit dargestellt. Die Nutzung von Internettechnologie hat sich weitgehend durchgesetzt, jedoch sind längst nicht alle Netze mit dem Internet gleichzusetzen. Die Struktur dieser verschiedenen Netze gilt es aus technischer Sicht zu betrachten, um Handlungsbereiche und -optionen zu identifizieren. Dazu dient das im Folgenden skizzierte Netzmodell, in das beispielhaft technische Entwicklungen aus dem Themenbereich der Studie eingeordnet werden.

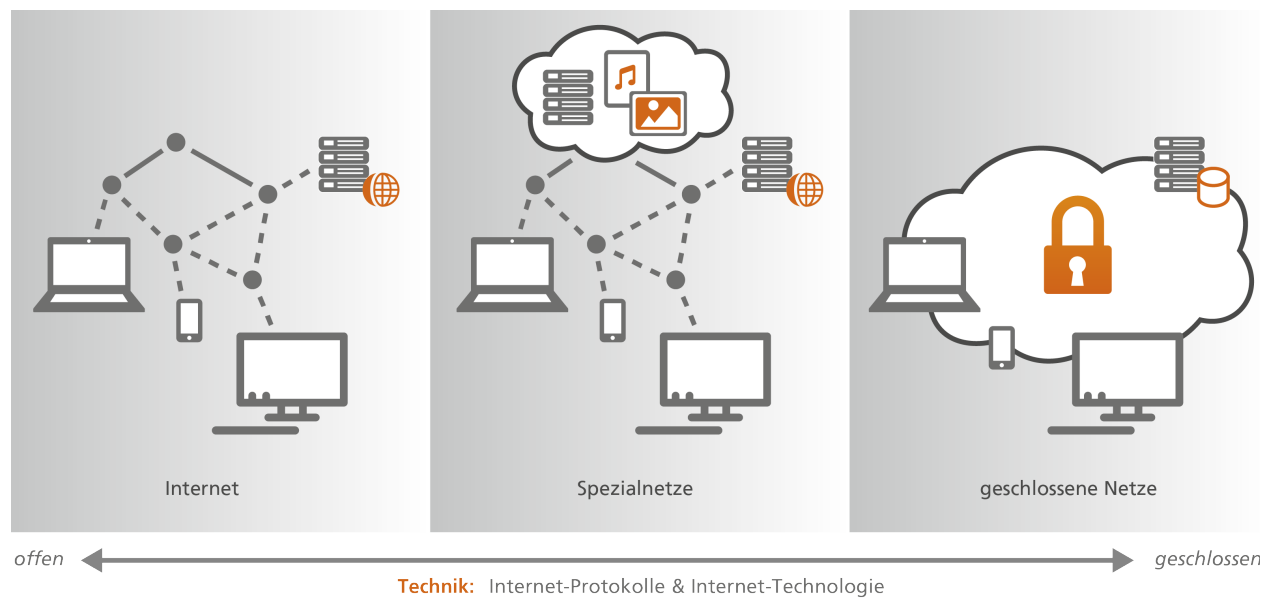
1.2.1 Internet und Vernetzung

„Das Internet“ erscheint oftmals verkürzt als ein homogenes Netz, das die Dienste aller traditionellen Kommunikationsnetze anbietet und diese ursprünglichen Netze sukzessive ersetzt. Somit bliebe am Ende nur ein großes, vereinheitlichtes Netz übrig.² Die Praxis stellt sich jedoch vielschichtiger dar: Inzwischen wird in fast allen Netzen das Internetprotokoll (IP) eingesetzt oder zumindest darauf geachtet, dass eine Umsetzung zum Internetprotokoll an Netzübergängen leicht möglich ist.³ Neben dem offenen Internet – das sich durch den globalen Zusammenschluss von Netzen und einen einheitlichen, öffentlichen Adressraum konstituiert – gibt es geschlossene Weitverkehrsnetze ohne direkten Übergang in das Internet als Basis für IT-Sicherheit. Ein Beispiel dafür sind Firmen- oder Verwaltungsnetze. Dazwischen gibt es eine Reihe von Abstufungen. In der folgenden Darstellung ist exemplarisch die Nutzung eines Spezialnetzes dargestellt, das bspw. für die Verteilung von Videodatenströmen zum Einsatz kommen könnte, um Videos effizient und qualitativ hochwertig zur Verfügung zu stellen.

² Ein Beispiel ist das Verschwinden des klassischen Telefonnetzes, wobei bspw. Sprachtelefonie in Form von IP-Telefonie als wichtiger Dienst fortbesteht und das Fax zumindest langfristig durch andere Kommunikationsdienste wie E-Mail oder Web-Formulare abgelöst wird.

³ Beispielhaft seien zwei Bereiche genannt, in denen Internetprotokolle derzeit keine starke Rolle spielen: in der industriellen Automatisierungstechnik, auf Grund von besonderen Anforderungen und den langen Investitionszyklen, sowie bei Sensornetzen auf Grund der geringen verfügbaren Übertragungs- und Rechenleistung.

Abbildung 2: Unterschiedliche Arten der Vernetzung auf Basis von Internettechnologie



Diese verschiedenen Netzkonfigurationen werden in der Praxis den jeweiligen Anforderungen an Offenheit und Sicherheit entsprechend eingesetzt. Die drei in der Abbildung dargestellten Netztypen (Internet, Spezialnetz, privates Netz) zeigen die Spannbreite der Möglichkeiten, die Übergänge sind dabei fließend.⁴

Mit dem Internet steht eine offene, transparente und globale Kommunikationsinfrastruktur zur Verfügung, die aus einem Zusammenschluss vieler voneinander unabhängiger Netze besteht, die nur eine geringe Anzahl von technischen und administrativen Regeln teilen. Aus technischer Sicht gibt es nur wenige zentrale Netzfunktionen; Eingriffe in diese Struktur in Form von Filterung und dem Einsatz von Middle-boxen⁵ können Kommunikationsprobleme verursachen. Auf einfachste Weise ist eine spontane, weltweite Kommunikation mit kleinen oder großen Kommunikationsteilnehmern möglich. Diese Offenheit ist eine wichtige Grundlage für Innovation und Wachstum von Netz und Anwendungen. So kann bspw. eine neue Anwendung mit einer kleinen Anzahl von Nutzern weltweit gestartet werden, ohne dass irgendwelche Vorkehrungen im Netz getroffen werden oder besondere Infrastrukturen oder Anschlüsse zur Verfügung stehen müssen.

Die Nutzung des offenen Internets hat allerdings auch zwei Nachteile, die im Rahmen der vorliegenden Studie von Bedeutung sind: Nutzer setzen sich Sicherheitsrisiken aus und bei der Übertragung kann die Dienstqualität (QoS) nur sehr eingeschränkt sichergestellt werden. Ist ein Gerät direkt über das Internet erreichbar, so können Sicherheitslücken dieses Geräts von jedem Ort der Welt aus ausgenutzt werden. Selbst wenn man nur gut überprüfte und damit sehr sichere Systeme einsetzen würde, kann zumindest eine Dienstblockade aufgrund mutwilliger Überlastung (Denial of Service-Angriff) auf Grund der weltweiten Erreichbarkeit prinzipiell nicht ausgeschlossen werden. Zudem stellt das IP-Protokoll nur wenige Möglichkeiten bereit, um die Qualität der Übertragung durch den Nutzer eines Diensts (also technisch durch das Endgerät) zu steuern. Es gibt hierfür standardisierte Mechanismen, diese werden auch lokal verwendet,

⁴ Entsprechend des Themas der Studie werden das Internet und Weitverkehrsnetze auf öffentlichen Transportinfrastrukturen betrachtet, im Gegensatz zu lokalen Netzen.

⁵ Das Internetprotokoll (IP) definiert „Hosts“ als Endpunkte der Kommunikation und „Router“ zur Weiterleitung von Paketen [RFC2460], in diesem einfachen Modell ist auf IP-Ebene ursprünglich keine weitere Funktionalität vorgesehen. Im Kommunikationspfad dazwischenliegende Funktionen, die kein Router sind, werden allgemein als Middleboxes bezeichnet [RFC3234].

aber eine Möglichkeit zur Durchsetzung von Dienstqualität entlang eines weltweiten Kommunikationspfads im offenen Internet gibt es nicht und erscheint nicht realisierbar.

Um die geschilderten Nachteile zu kompensieren, werden Teilnetze eingesetzt, die vom Betreiber in besonderer Weise kontrolliert bzw. gesteuert werden. Diese werden im Weiteren als Spezialnetze⁶ bezeichnet. In diesen Spezialnetzen kommen Mechanismen zur Begrenzung von Kommunikationsbeziehungen zum Einsatz, die dem Schutz angeschlossener Systeme oder der Priorisierung von Verkehrsströmen zur Sicherstellung der Dienstgüte dienen. Ein Beispiel dafür ist die getrennte Behandlung von IP-Telefonie oder die Auslieferung von Videodatenströmen bei modernen All-IP-Hausanschlüssen (Konzept der Next Generation Networks, NGN). Zum Einsatz kommen auch Filter im Netz zum Schutz von Firmennetzen. Je nach Anforderung und Funktion des Spezialnetzes sind dabei eine Reihe unterschiedlicher Funktionen denkbar, die mehr oder weniger restriktiv verwendet werden können (bspw. Umfang der Filterung bzw. Überprüfung von Protokollmechanismen). Für Außenstehende nur sehr schwer zu beurteilen ist der Unterschied zwischen dem notwendigen Traffic Management, das für eine hohe Qualität der Übertragung und eine gleichmäßige Auslastung eines Netzes mit seinen verschiedenen Pfaden und Netzübergängen sorgt, und ggf. diskriminierenden Eingriffen in die Übertragung einzelner Datenströme [CrSc2015].

Während diese Spezialnetze noch in Verbindung zum offenen Internet stehen oder, wie im Beispiel des Hausanschlusses, parallel zum Internetzugang genutzt werden, haben geschlossene, private Netze nichts mehr mit dem Internet zu tun; sie beruhen allerdings oftmals auf der gleichen Technik. Die Verwendung von Internettechnologien und der IP-Protokollfamilie sorgt dafür, dass leistungsfähige und wirtschaftliche Technikkomponenten zur Verfügung stehen. Entsprechend den Anforderungen an Sicherheit und Wirtschaftlichkeit können private Netze auf der Nutzung eigener oder getrennter Übertragungsmedien basieren (bspw. Dark Fiber) oder Transportnetze kommerzieller Provider nutzen.⁷ Entsprechend den Sicherheitsanforderungen wird es keinen direkten Zugang oder Übergang zum Internet geben. Auf Grund des Schutzbedarfs wird eine Kommunikation über die Grenzen des Netzes hinweg nur über eine Reihe von Sicherheitsgeräten möglich sein. Eine Realisierung als privates Netz ermöglicht es, sowohl in Bezug auf IT-Sicherheit als auch in Bezug auf die Wahl und Nutzung von Funktionen zur Sicherstellung von Dienstqualität, Kontrolle über das Netz auszuüben und das Netz entsprechend den gewichteten Anforderungen zu betreiben.

1.2.2 Netzmodell zur Diskussion von Handlungsoptionen

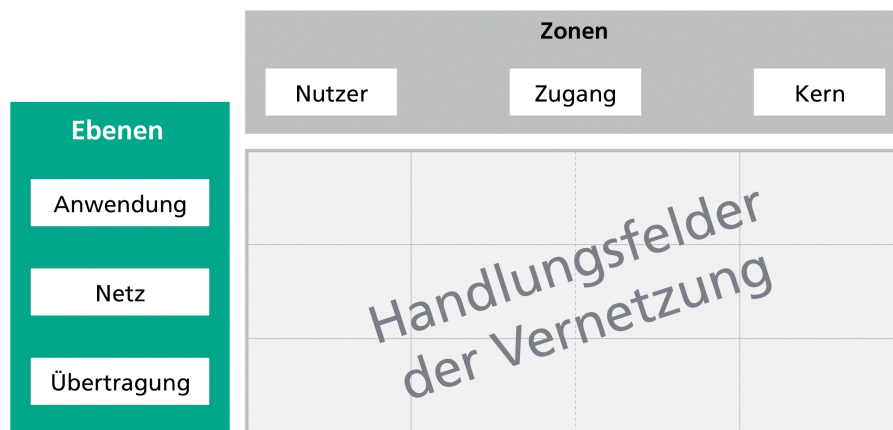
Zur vereinfachten, jedoch technisch basierten Darstellung von Internet- oder IP-basierter Kommunikation soll hier kursorisch ein Netzmodell vorgestellt werden [TiGo2015]. Das Netz als Infrastrukturkomponente wird dafür in Bereiche aufgeteilt, die unterschiedlichen technischen und organisatorischen Vorgaben entsprechen. Dadurch wird eine sachgerechte Diskussion von Handlungsoptionen unterstützt und die Identifikation von Handlungsfeldern vereinfacht.

Der Aufbau des Modells ist in zwei Dimensionen gegliedert: vertikal die verschiedenen Bereiche des Netzes (im Modell: Zonen), die sich auf Grund der Bereitstellung durch unterschiedliche Betreiber (Zugangsprovider, Transitprovider, Betreiber von Plattformen oder Cloud-Infrastrukturen) ergeben. Horizontal finden sich die verschiedenen Ebenen der Kommunikation (technisch: Protokollschichten), die durch unterschiedliche zu berücksichtigende technische Vorgaben entstehen.

⁶ Analog zum Begriff der Spezialdienste aus dem Themenbereich Netzneutralität.

⁷ Auch eine Übertragung über IP ist natürlich möglich, bspw. zur Anbindung von Filialen eines kleinen Unternehmens (Virtual Private Network, VPN). Eine vereinfachte Darstellung technischer Kommunikation findet sich nachfolgend im Abschnitt zum Netzmodell.

Abbildung 3: Vereinfachtes technisches Netzmodell zur Darstellung von Handlungsfeldern



In einer Dimension orientieren sich die Ebenen des Netzmodells an den Protokollschichten der Kommunikation [Wojc2015]. Unten findet sich die Übertragungsebene; sie beschreibt die abschnittsweise Übertragung von Daten zwischen den einzelnen Netzwerkkomponenten bzw. dem Endgerät. Zur Vereinfachung werden auf dieser Ebene auch zur Übertragung notwendige physische Ressourcen angesiedelt, wie das Frequenzspektrum, Glasfasern oder Kabeltrassen bzw. Leerrohre. Zentral befindet sich die Netzebene (OSI/ISO Protokollschichten 3 und 4, Vermittlungs- bzw. Netz- und Transportschicht); auf dieser Ebene sind das IP-Protokoll sowie die Transportprotokolle durchgehend von Ende-zu-Ende definiert. Auf diese Netzebene bauen auch die verschiedenen Anwendungen mit ihren spezifischen Protokollen auf. Wiederum zur Vereinfachung werden hier auch jene Geräte subsumiert, auf denen die Anwendungen laufen.

Entsprechend den üblichen Netzstrukturen wird im Netzmodell zwischen dem privaten Netz von Nutzern (i. d. R. ein lokales Netz, aber auch nur ein einzelnes Endgerät im Mobilfunk), dem Zugangsnetz eines Providers (bspw. DSL für Haushalte und kleine Unternehmen, Mobilfunk usw.) und der Kernzone (in die Datenströme weitertransportiert werden und in der die Netze zusammengeschaltet sind) unterschieden. Das Zugangsnetz ist für diese Studie von besonderer Bedeutung und ist deshalb noch einmal in zwei Bereiche geteilt: Der dem Nutzer zugewandte Teil steht für den physischen Anschluss des Teilnehmers, der dem Kern zugewandte Teil der Zugangszone enthält Funktionen zur Weiterleitung oder Verteilung des Verkehrs sowie Funktionen zum Nutzer- und Netzmanagement.⁸ Im offenen Internet ist entsprechend des Ende-zu-Ende-Paradigmas auch die Kommunikation von einem Endgerät in der Nutzerzone zu einem beliebigen anderen Endgerät eines zweiten Nutzers essentiell. Für eine derartige Betrachtung muss gegebenenfalls das Netzmodell „gespiegelt“ werden, d. h., nach der Kernzone folgen auf der rechten Seite eine weitere Zugangs- und eine weitere Nutzerzone.

⁸ Aus Sicht von Zugangsnetzen wie dem Mobilfunk wird dieser hintere Bereich des Zugangsnetzes auch als Kernnetz (der Zugangstechnik) bezeichnet. Das Modell repräsentiert dagegen eine allgemeinere Sicht, bei dem die Kommunikation zu einem zweiten Endpunkt in einem anderen Netz erfolgt.

1.2.3 Technische Entwicklungsoptionen und deren Einordnung

Wie bereits bei der Betrachtung des Begriffs der Gigabitgesellschaft dargestellt, stoßen die Forscher und Entwickler bei der Verbesserung von Netztechnologien zunehmend an naturgesetzliche Grenzen. Die folgende Tabelle stellt exemplarisch einige Begrenzungen und diesbezügliche technische Lösungsansätze dar. Eine detaillierte Betrachtung dieser Lösungsmöglichkeiten und des Einsatzes bestimmter Funktionalitäten erfolgt in Kapitel 3. An dieser Stelle soll es darum gehen, die grundsätzlichen, technischen Ansätze zur Weiterentwicklung von Netzen und damit den Ansatz dieser Studie darzustellen.

Tabelle 1: Beispiele für physikalische Begrenzungen sowie entsprechende technische Lösungsansätze

Begrenzungen	Technische Lösungsansätze
Begrenzte spektrale Ressourcen, bei bestehenden Kabelinfrastrukturen, verfügbarem Funkspektrum.	Erschließung neuer Frequenzbereiche (unter Berücksichtigung physikalischer Eigenschaften), bessere Signalverarbeitung und Kodierungsverfahren, Kooperative Optimierung von Übertragungskanälen (Dynamic Spectrum Management, DSM), dafür hilfreich: softwarebasierte Komponenten/ intelligente Funktionen speziell Mobilfunk: Cognitive Radio, Antennentechnik.
Lange Signallaufzeiten/ Latenz.	Vereinfachung der Systemstruktur (vgl. Mobilfunk 3G → 4G → 5G), bessere Signalverarbeitung und Kodierungsverfahren, Verkürzung von Übertragungswegen (Edge Cloud).
Hoher Energieverbrauch (auch auf Grund erhöhter Rechenleistung bei o. g. Verfahren).	Höhere Systemintegration, verbesserte Schaltungstechnik, Koordination von Teilsystemen.

Zur Weiterentwicklung von Netztechnologien gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- Verbesserung einzelner Funktionen einer bestimmten Netztechnologie,
- Optimierung des möglicherweise aus heterogenen Teilen bestehenden Gesamtsystems.

Die Verbesserung einzelner Funktionen einer bestimmten Netztechnologie zielt im Wesentlichen auf die Verbesserung der Übertragung in einzelnen Abschnitten der Kommunikation ab, bspw. durch die Erhöhung der Bandbreite im Netzzugang einzelner Kunden. Als Beispiel soll hier die Erhöhung der Übertragungsraten im Mobilfunk dienen. Entsprechendes gilt auch für das Ziel der Erhöhung der Datenrate auf kabelgebundenen Medien. Im Mobilfunk wird die Erhöhung der Übertragungsraten durch verbesserte Kodierungsverfahren und leistungsfähigere Antennentechnik bzw. durch eine Kombination aus beidem ermöglicht. Der Aufwand für Leistungssteigerungen lässt sich gut abschätzen, neue Kodierungsverfahren brauchen bspw. mehr Rechenleistung, was zunächst zu mehr Energieverbrauch führen würde. Die Realisierung ist jedoch durch die Fortschreibung der Entwicklung integrierter Schaltkreise, Fortschritte beim Energiemanagement und bei der Akkutechnik gedeckt.

Eine weitere Rahmenbedingung ist durch das Funkspektrum als physikalisches Übertragungsmedium gegeben. Diese Ressource ist begrenzt und muss zwischen allen Nutzern (und auch mit anderen Nutzungen) geteilt werden. Eine bessere Nutzung des Funkspektrums braucht eine immer feinere Kontrolle einzelner Parameter der Übertragung, bspw. eine Anpassung der Sendeleistung oder eine Koordination des Zugriffs auf ein Frequenzband. Mit den hier skizzierten Möglichkeiten kann wie gesehen die Übertragung auf der Funkstrecke leistungsfähiger werden, wobei die Hoffnung besteht, dass damit letztlich die Dienste der Nutzer verbessert werden. Durch die Verfügbarkeit von mehr Bandbreite können z. B. auch Videos in entsprechender Qualität zur mobilen Nutzung übertragen werden – davon ausgehend, dass die Übertragung am Netzzugang die Engstelle der Kommunikation darstellt.

Wenn das Video aber dennoch ruckelt? Dann kann es auch daran liegen, dass das Video auf dem gesamten Kommunikationspfad nicht in ausreichender Qualität übertragen wird. Hierfür kann es notwendig werden, das Gesamtsystem zu optimieren. Zur effizienten Verteilung von Datenströmen oder zur Erreichung kurzer

Antwortzeiten sollen hier Verteilplattformen (bspw. Content Delivery Networks, CDN) als Beispiel dienen. Verteilplattformen speichern Inhalte näher an den Nutzern und können diese Inhalte daher effizienter und schneller als die zentrale Datenquelle an die Nutzer ausliefern. Eine Verteilplattform unterstützt nur bestimmte Dienste, wie in diesem Beispiel die Auslieferung von Videos, und wird von den Nutzern transparent und parallel zu anderen Diensten genutzt. Die Plattform selbst besteht aus verteilten Servern, die in großen Rechenzentren, aber auch direkt im Netz des Zugangsproviders stehen können.

Zur Diskussion und Bewertung dieser beiden beispielhaft dargestellten Optionen kann man sie in das Netzmodell einordnen: Die Übertragungs- bzw. Funktechnik findet sich im Modell unten links (auf der Übertragungsebene zwischen der Nutzer- und der Zugangszone), die Verteilplattformen finden sich im Modell oben rechts (auf der Anwendungsebene zwischen der Zugangs- und der Kernzone).

Abbildung 4: Beispielhafte Einordnung technischer Funktionen in das Netzmodell



Die Einordnung in die verschiedenen Ebenen folgt technischen Kriterien, so wird die Funktechnik nur auf einem Abschnitt des Kommunikationspfads genutzt. Verteilplattformen sind anwendungsspezifisch und finden sich daher auf der Anwendungsebene.

Die Einordnung in die verschiedenen Netzzonen folgt der Struktur von Netzen und hat Auswirkungen wegen der verschiedenen Eigentümer der Netze. Eine Mobilfunkübertragung erfolgt zwischen den privaten Nutzern und den Zugangsprovidern. Komponenten von Verteilplattformen finden sich in den Rechenzentren und Netzen von Zugangsprovider und den Telekommunikationsunternehmen des Kernnetzes. Die Betreiber von Verteilplattformen stellen zudem eigenständige Akteure neben den Betreibern der Transportnetze dar.

Auch das Thema Regulierung kann mithilfe des Modells betrachtet werden: Die Übertragungsebene ist ein klassisches Gebiet der Regulierung, z. B. gibt es bereits regulatorische Vorgaben zur Frequenznutzung und der Mitnutzung der Teilnehmeranschlussleitungen oder von Trassen. Traditionell nimmt die Infrastrukturregulierung in Richtung der höheren Ebenen ab, da auf Grund von Wettbewerb und privater IT-Nutzung dafür kein Bedarf besteht. Eine relativ neue Herausforderung der Digitalisierung stellt die Plattformregulierung dar. Das liegt in der besonderen Kundenbindung bzw. dem eingeschränkten Wettbewerb begründet, in der Funktion und Stellung der Plattformen im digitalen öffentlichen Raum und in deren Wirkungen auf andere Bereiche des Netzes.

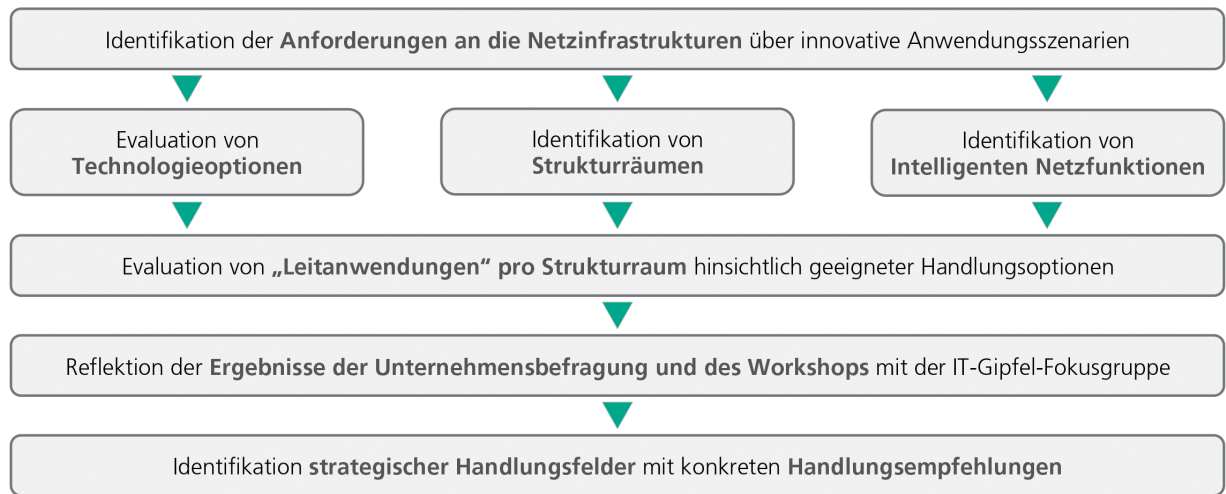
1.3 Weiteres Vorgehen und Methodik dieser Studie

Aufbauend auf den in diesem Kapitel eingeführten Grundlagen werden in Kapitel 2 typische Anforderungen an die Infrastruktur der Gigabitgesellschaft untersucht. Diese Analyse bildet die wesentliche Basis für die weiteren Betrachtungen. Ausgewählt wurden aufgrund der hohen Relevanz von bereits heute oder in naher Zukunft genutzten Anwendungen die Domänen Automotive, Produktion/Industrie 4.0, Medien, Gesundheit/Telemedizin, öffentliche Verwaltung/E-Government, Energie und Bildung/E-Learning. Dabei werden auf der Basis verfügbarer Marktstudien und mit Hilfe von Experteninterviews ausgewählte innovative Anwendungsszenarien (bspw. hochautomatisiertes Fahren, Qualitätssicherung mittels Cloud-basierter Videoanalyse, Smart City 360°-Videostreaming, Digitales Bürgeramt) aus den identifizierten Anwendungsdomänen dediziert analysiert. Die Anwendungsszenarien werden dabei hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Relevanz, ihrer Bandbreitenanforderungen im und weiterer wesentlicher Netzparameter (Latenz, Verfügbarkeit, Sicherheit, Netzwerkmanagement, Wirtschaftlichkeit, Offenheit, Ressourcen- und Energieeffizienz) untersucht.

Eine weitere wesentliche Dimension dieser Studie bildet die sich daran anschließende Analyse verfügbarer Breitbandnetztechnologien in Kapitel 3. Dazu werden die aktuellen in Deutschland für Breitband eingesetzten Netzzugangstechnologien Glasfaser (FTTB/FTTH), DSL-Technologien, HFC-Technologien (Koax), sowie drahtlose Funknetze wie WLAN, 4G/LTE und 5G hinsichtlich technischer Eigenschaften, zukünftiger Technologieevolution und Einsatzgebieten klassifiziert, analysiert und in Form von Technologiesteckbriefen beschrieben. Dabei werden die Technologien nicht nur isoliert betrachtet, sondern auch hinsichtlich ihrer Kombinierbarkeit als Technologie-Mix betrachtet, um Leistungsfähigkeit bzw. Verfügbarkeit zu steigern. Außerdem wird auf intelligente Netzfunktionen (Enabler) eingegangen, die die verfügbaren Übertragungstechnologien dort unterstützen, wo deren Eigenschaften allein nicht mehr ausreichend sind, um die Bedarfe der Anwendungen der Gigabitgesellschaft zu decken.

Eine einfache Abbildung der Anforderungen einzelner Gigabitanwendungen auf die verfügbaren und absehbaren Ausbaustufen der betrachteten Netzzugangstechnologien greift angesichts der gesellschaftlichen Dimension dieser Studie zu kurz, da verschiedene Regionen in Deutschland ganz unterschiedliche strukturelle Voraussetzungen für die dort vorhandene und zukünftig sinnvollste IKT-Vernetzung bzw. deren Mix besitzen. Aus diesem Grund identifiziert diese Studie für das weitere Vorgehen im vierten Kapitel fünf geeignete Strukturräume in Deutschland: Wohngebiete, Industrie- und Gewerbegebiete, Öffentliche Gebäude und Bildungseinrichtungen, Mobilitätstrassen sowie spezielle Orte (Stadien, Flughäfen, Bahnhöfe, Innenstädte, etc.). Das Ziel dieses Vorgehens ist es, die zentralen Anwendungsdomänen pro Strukturraum auszuwählen, bzw. anhand von charakteristischen Leitanwendungen sowie ggf. weiterer Anwendungen notwendige Anforderungen zu identifizieren und daraus angepasste technologische, finanzielle und regulatorische Handlungsempfehlungen für den kommenden Ausbau in den unterschiedlichen Strukturräumen abzuleiten. Methodologisch wird dabei auf die anfangs herausgearbeiteten Anforderungen der verschiedenen Anwendungsdomänen sowie auf die Beschreibung der verschiedenen Technologien zurückgegriffen. Abbildung 5 veranschaulicht das Vorgehen der Studie.

Abbildung 5: Weiteres Vorgehen der Studie



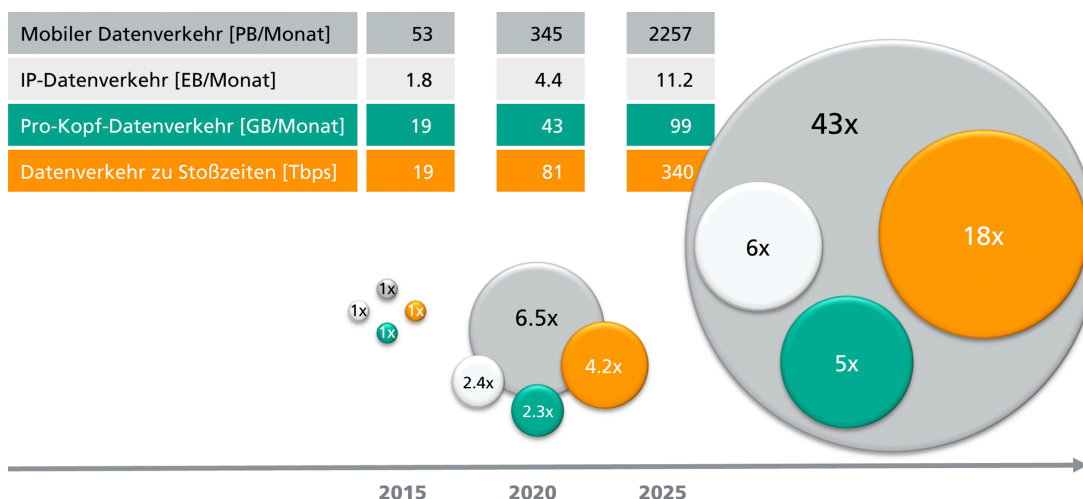
Die in Kapitel 4 entwickelten Handlungsempfehlungen pro Strukturmaum bilden ein wesentliches Ergebnis der Studie und zeigen die Komplexität der Aufgabenstellung und die Vielschichtigkeit der möglichen Ansätze des Gigabit-Infrastrukturaufbaus in Deutschland auf.⁹ Am Ende der Studie werden in Kapitel 5 die zuvor identifizierten strukturmaumspezifischen Handlungsempfehlungen auf die wesentlichen politischen Handlungsempfehlungen verdichtet.

⁹ In die Handlungsempfehlungen sind folgende zusätzliche Beiträge eingeflossen: die durch die Bitkom Research GmbH durchgeführte Unternehmensbefragung (siehe Anhang III dieser Studie), ein Mitte 2016 gemeinsam mit der IT-Gipfel Fokusgruppe „Aufbruch in die Gigabitgesellschaft“ veranstalteter Workshop zu Anwendungen der Gigabitgesellschaft, sowie aktuelle Studien zum betrachteten Themenkomplex und Publikation der Europäischen Kommission zur Gigabit Society und 5G.

2 Bedarfsanalyse für die Gigabitgesellschaft

Gegenstand von Kapitel 2 ist die Abschätzung der für die Gigabitgesellschaft erforderlichen Leistungsfähigkeit der Netzinfrastruktur. Generelle Einschätzungen, etwa des zu erwartenden Pro-Kopf-Datenverkehrs, der Entwicklung mobiler Datennutzung oder der erwarteten Anzahl miteinander vernetzter technischer Geräte (Maschine-zu-Maschine-Kommunikation), Smartphones und Fernsehgeräte, erlauben eine grobe Übersicht über die Entwicklung des Netzbedarfs. Abbildung 6 zeigt typische Abschätzungen des Netzbedarfs in Deutschland bis 2025, hier auf Basis des Cisco Visual Networking Index [CISCOVNI2016] (daraus die prognostizierten Werte bis 2020 und bis 2025 bei gleichbleibenden Steigerungen angegeben).

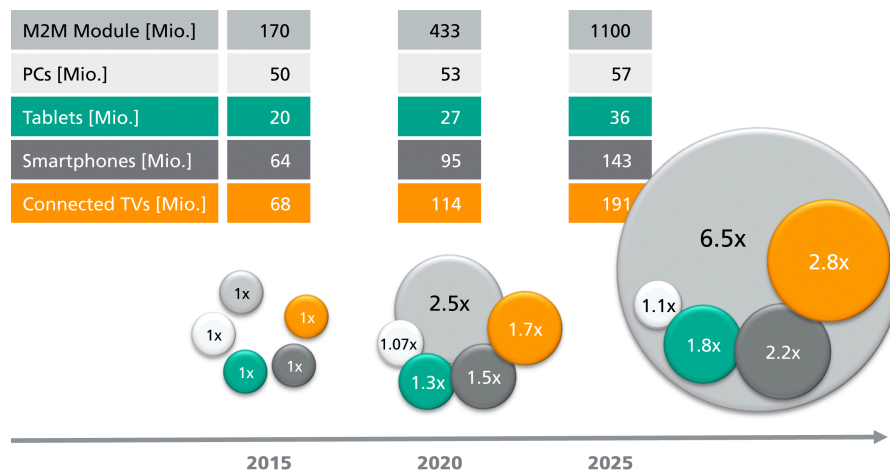
Abbildung 6: Schätzung der Entwicklung des Netzbedarfes 2015–2025 in Deutschland



Am deutlichsten sticht die prognostizierte Veränderung beim mobilen Datenverkehr hervor, für welchen Cisco bis 2020 eine Steigerung um das 6,5-fache vorhersagt. Dies würde bis 2025 bei gleichbleibender Steigerung einen Zuwachs um das 43-fache bedeuten (im Vergleich zu 2015). Auch die prognostizierten Veränderungen des Datenverkehrs zu Stoßzeiten sind erheblich. So müssen bei gleichbleibenden Steigerungen Kernnetze zu Stoßzeiten verglichen mit 2015 das 18-fache des Datenverkehrs transportieren. Pro Kopf wird bis 2025 von einer 6-fachen Steigerung des Datenverkehrs ausgegangen.

Abbildung 7 zeigt die prognostizierten Veränderungen der Anzahl der zukünftig vernetzten Geräte in Deutschland. Sie lässt den starken Zuwachs der Maschine-zu-Maschine Kommunikation erkennen, deren Anzahl sich bis 2020 laut Cisco mehr als verdoppeln wird; und bis 2025 bei gleichbleibender Steigerung mehr als um das 6-fache anwachsen wird. Ebenso sind deutlich größere Anzahlen vernetzter Fernsehgeräte und eine deutliche Steigerung der Zahl der Smartphones zu erwarten (zumal es hier zu einer Sättigung zwischen 2020 und 2025 kommen könnte).

Abbildung 7: Schätzung der Entwicklung vernetzter Geräte 2015–2025 in Deutschland



Diese Hochrechnungen basieren größtenteils auf der Fortschreibung bestehender Trends, wie der Steigerung des Datenvolumens oder der Anzahl genutzter Geräte, und geben einen ersten Anhaltspunkt für die Anforderungen an die Netzinfrastrukturen der Zukunft. Während der wachstumsorientierten Phase der Digitalisierung der Gesellschaft ist dieser Ansatz durchaus tragfähig. Allerdings zeichnet sich die Gigabitgesellschaft dadurch aus, dass sie einerseits auf Begrenzungen stoßen wird und andererseits ihre Infrastruktur auch ganz neue, bisher nicht im breiten Einsatz vorstellbare Anwendungen ermöglicht. Daher kann es nicht darum gehen, die Anforderungen an die zukünftige Infrastruktur durch das Fortschreiben einzelner, zudem noch vergleichsweise einfach erfassbarer Parameter zu ermitteln. Vielmehr müssen die Anforderungen an zukünftige Infrastrukturen in der gesamten Breite relevanter Leistungsparameter erfasst werden und dabei bisher bekannte Anwendungen als prototypisch für noch unbekannte, zukünftige Anwendungen angesehen werden. In dieser Studie wird daher eine differenziertere, anwendungsspezifische Analyse der erforderlichen Leistungsfähigkeit der Netzinfrastruktur der Gigabitgesellschaft vorgenommen. Dazu werden bereits bekannte, innovative Anwendungsszenarien und -beispiele aus Anwendungsdomänen betrachtet, die in Deutschland relevant sind.

2.1 Vorgehen

Die Bedarfsabschätzung basiert auf einer Reihe von Leistungsparametern, wie sie für verschiedene Anwendungen notwendig sind und von Netzinfrastrukturen realisiert werden. Dazu werden sowohl relevante funktionale Parameter (Bandbreiten für Upload und Download, Latenz, Jitter, Paketverlust, Verfügbarkeit, Endgeräte- und Kommunikationsdichte) als auch nichtfunktionale Parameter (Sicherheit, Netzwerkmanagement, Wirtschaftlichkeit, Offenheit, Ressourcen-/ Energieeffizienz) betrachtet und in abgestufte Qualitätsklassen eingeteilt.

Die Betrachtung der Anforderungen erfolgt auf Basis für Deutschland relevanter Anwendungsdomänen. Innerhalb dieser Anwendungsdomänen wurden herausfordernde, aber bereits bekannte Anwendungen exemplarisch zur tiefergehenden Analyse ausgewählt. Die Anwendungen sind so gewählt, dass sie das gesamte Feld der Anforderungen an die Netzinfrastrukturen der Gigabitgesellschaft abdecken. Weder kann die Auswahl von Anwendungsdomänen als abschließend angesehen werden, noch sind die dargestellten Anwendungen allumfassend. Vielmehr handelt es sich um eine exemplarische Betrachtung, die das gesamte Feld möglicher Anwendungen der Gigabitgesellschaft aufspannt.

Für jede ausgewählte Anwendungsdomäne wird die wirtschaftliche bzw. gesellschaftliche Relevanz von Breitbandtechnologien am Wirtschaftsstandort Deutschland anhand von Marktzahlen und Trends erörtert. Daraufhin werden, unter Berücksichtigung maßgeblicher technologischer Trends, geeignete Szenarien zur

Entwicklung des Breitbandbedarfs im Kontext der unterschiedlichen Anwendungsfelder entwickelt. Für jede Anwendungsdomäne wurden möglichst zukunftsweisende Anwendungsszenarien ausgewählt, welche im jeweiligen Abschnitt genauer evaluiert werden. Darauf basierend wird der Breitbandbedarf der einzelnen Anwendungsszenarien unter Berücksichtigung relevanter funktionaler und nichtfunktionaler Qualitätsparameter bestimmt. Abschließend ergibt die Synthese der erforderlichen Netzparameter aller untersuchten Szenarien näherungsweise Aufschluss über die zu erwartenden Anforderungen der Gigabitgesellschaft an die Leistungsfähigkeit der Netzinfrastruktur.

Nach der anschließend in Kapitel 3 folgenden Betrachtung technischer Möglichkeiten werden einzelne Anwendungen in Kapitel 4 wieder aufgegriffen und ihre Anforderungen innerhalb verschiedener Strukturräume exemplarisch betrachtet. Aus dieser Betrachtung von Anwendungsanforderungen und technischen Möglichkeiten werden die spezifischen Handlungsempfehlungen zur Gestaltung der Netzinfrastruktur der Gigabitgesellschaft abgeleitet.

2.2 Relevante Leistungsparameter der Netzinfrastruktur

Für die Analyse der Breitbandbedarfe werden Anforderungen der einzelnen Anwendungsszenarien an die Netzinfrastruktur für jede Leistungsklasse der in Tabelle 2 gelisteten Leistungsparameter untersucht.

Tabelle 2: Untersuchte Leistungsparameter der Anwendungsszenarien

Leistungsklasse	Leistungsparameter
Konnektivität	Verfügbarkeit Mobilität
Kapazität	Dichte an unterstützten Endgeräten Kommunikationsdichte
Dienstgüte/ QoS	Latenz Bandbreite Uplink Bandbreite Downlink Jitter Paketverlust
Nichtfunktional	Sicherheit Netzwerkmanagement Wirtschaftlichkeit Offenheit Ressourcen-/ Energieeffizienz

Eine Definition der untersuchten Leistungsparameter der Leistungsklassen „Konnektivität, Kapazität und Quality of Service“ ist in

Tabelle 3 zu finden. Alle Parameter zeichnen sich dadurch aus, dass sie auf objektiv messbaren (physikalischen, technischen) Größen basieren; die entsprechenden Einheiten finden sich in der Tabelle.

Tabelle 3: Untersuchte Leistungsparameter der Leistungsklassen „Konnektivität, Kapazität und Quality of Service¹“

Verfügbarkeit [%]	Die Verfügbarkeit von Netzinfrastrukturen pro Zeiteinheit in Prozent angegeben.
Mobilität [km/h]	Die unterstützte Bewegungsgeschwindigkeit von mobilen Nutzern einer Funktechnologie.
Dichte an unterstützten Endgeräten [# / km²]	Die Anzahl an unterstützten Endgeräten einer Funktechnologie pro Quadratkilometer.
Kommunikationsdichte [Gbit/s / km²]	Der unterstützte Datendurchsatz einer Funktechnologie bezogen auf einen Quadratkilometer.
Latenz [ms]	Die Ausbreitungsverzögerung eines Signals, die durch Signallaufzeiten bspw. in Leitungen, Luft und Systemkomponenten entsteht.
Bandbreite Uplink [Mbit/s]	Die maximale Menge übertragbarer digitaler Daten pro Sekunde vom Endgerät zum Netz.
Bandbreite Downlink [Mbit/s]	Die maximale Menge übertragbarer digitaler Daten pro Sekunde vom Netz zum Endgerät.
Jitter [ms]	Die Varianz der Laufzeit von Datenpaketen.
Paketverlust [%]	Die bei einer Datenübertragung verlorenen Datenpakete, bezogen auf die Anzahl der gesendeten Pakete.

Eine Definition der untersuchten Leistungsparameter der Leistungsklasse „Nichtfunktionale Parameter“ ist in Tabelle 4 zu finden. Im Gegensatz zu den vorher dargestellten Parametern sind sie weniger formal definiert und daher auch wesentlich schwieriger zu fassen. Jeder Parameter enthält eine Vielzahl von Aspekten, daher hängt eine Beurteilung immer auch von der jeweiligen Betrachtungsweise ab. Trotzdem enthalten gerade diese Parameter wesentliche Aspekte zur Darstellung von Anforderungen. Relativ eindeutig ist die Einstufung von Informationen in verschiedene Schutzbedarfsklassen (Parameter Sicherheit), dagegen kann die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von sehr vielen Faktoren abhängen, gleichwohl sie in vielen Fällen eine wichtige Anforderung ist. Aufgrund der geschilderten Komplexität basieren diese Parameter auf Experteneinschätzungen.

Tabelle 4: Untersuchte Leistungsparameter der Leistungsklasse „Nichtfunktionale Parameter“

Sicherheit	Der Grad an Sicherheit ² (Schutzbedarf), mit dem Daten über Netzinfrastrukturen kommuniziert werden.
Netzwerkmanagement	Der Grad an Flexibilität bei der Verwaltung und Konfiguration von Netzinfrastrukturen.
Wirtschaftlichkeit	Die Wirtschaftlichkeit bei der Anschaffung und beim Betrieb von Netzinfrastrukturen.
Offenheit	Die Offenheit von Netzinfrastrukturen und ihrer Dienste für ihre Nutzer (Dienstanbieter und Dienstanutzer).
Ressourcen-/ Energieeffizienz	Maß für die Effizienz von Netzinfrastrukturen bei der Nutzung von Ressourcen (bspw. Funkspektrum) und Energie.

¹ Betrachtung von Endpunkt zu Endpunkt einer Kommunikationsbeziehung, also bspw. von Endgerät zu Endgerät bei einem Telefonat oder von einem Endgerät zu einem Server beim Abruf von Daten.

² IT-Sicherheit: Vertraulichkeit und Integrität (Verfügbarkeit wird als separater Parameter in der Klasse „Konnektivität“ geführt).

Die Einordnung der untersuchten, oben aufgeführten Leistungsparameter in unterschiedliche Qualitätsklassen erlaubt eine Zusammenführung aller Leistungsparameter zu einer einheitlichen Darstellung. Dazu wurden alle Leistungsparameter in verschiedene Qualitätsklassen eingeteilt, von niedrig (Klasse 1) bis hoch (Klasse 6). Tabelle 5 enthält eine Übersicht der Wertebereiche bzw. der Ausprägungen nichtfunktionaler Metriken. Dies erlaubt eine Eingruppierung der Leistungsparameter in niedrige (1) bis hohe (6) Qualitätsklassen.

Tabelle 5: Klassifizierung der Leistungsparameter in Qualitätsklasse 1–6

Leistungsklasse	Leistungsparameter/ Metriken	Qualitätsklasse					
		1 (niedrig)	2	3	4	5	6 (hoch)
Konnektivität	Verfügbarkeit [%]	<99	99	99,9	99,99	99,999	≥ 99,9999
	Mobilität [km/h]	0	10	50	100	500	≥ 1.000
Kapazität	Dichte an unterstützten Endgeräten [# / km ²]	10	100	1.000	10.000	100.000	≥ 1.000.000
	Kommunikationsdichte [Gbit / km ²]	0,1	1	10	100	1.000	≥ 10.000
Dienstgüte/ QoS	Latenz [ms]	10.000	1.000	100	10	1	≤ 0,1
	Bandbreite Uplink [Mbit/s]	<0,01	0,1	1	10	100	≥ 1.000
	Bandbreite Downlink [Mbit/s]	<0,1	1	10	100	1.000	≥ 10.000
	Jitter [ms]	>100	100	10	1	0,1	≤ 0,01
	Paketverlust [%]	>1	1	0,1	0,01	0,001	≤ 0,0001
Nichtfunktional	Sicherheit	keine	sehr gering	gering	moderat	hoch	sehr hoch
	Netzwerkmanagement	manuell	aufwändig, begrenzt	wenig flexibel	flexibel	dynamisch	hoch flexibel
	Wirtschaftlichkeit	sehr gering	gering	moderat	erheblich	hoch	sehr hoch
	Offenheit	keine	sehr gering	gering	moderat	hoch	sehr hoch
	Ressourcen-/ Energieeffizienz	keine	sehr gering	gering	moderat	hoch	hoch effizient

2.3 Ausgewählte Anwendungsdomänen und -Szenarien

Für die Bedarfsabschätzung wurden auf Grund ihrer für Deutschland wirtschaftlich bzw. gesellschaftlich hohen Relevanz folgende Anwendungsdomänen ausgewählt:

Ökonomische Relevanz:

- Automotive
- Industrie
- Energie
- Medien

Gesellschaftliche Relevanz:

- Gesundheit
- Öffentliche Verwaltung
- Bildung

Für jede dieser Anwendungsdomänen wurden, wie in Tabelle 6 dargestellt, unterschiedliche zukunftsweisende Anwendungsszenarien untersucht.

Tabelle 6: Untersuchte Anwendungsszenarien der Anwendungsdomänen der Gigabitgesellschaft

Anwendungsdomäne	Anwendungsszenarien
Automotive	Hochautomatisiertes Fahren Teleoperiertes Fahren Kollaboratives autonomes Fahren
Industrie	Assistenzsysteme mittels erweiterter Realität Qualitätssicherung mittels cloud-basierter Videoanalyse
Energie	Smart Metering Service und Wartung von Offshore-Windparks
Medien	Smart City-Informationen mittels 360°-Video Smart City-Informationen mittels 360°-Video mobil 360°-Video auf Massenveranstaltung
Gesundheit	Vitaldaten-Monitoring Videokonsile und Videokonsultation Gesundheitsdatenbank
Öffentliche Verwaltung	Fachdienste aus großen Rechenzentren Digitales Bürgeramt Digitale Landtechnik
Bildung	Online-Kurse mit vielen Teilnehmern

Die Analyse der ausgewählten Anwendungsszenarien stützt sich auf folgende Quellen:

- Interviews und Workshops mit Fraunhofer-Experten aus den untersuchten Anwendungsdomänen,
- Analysen aktueller Marktstudien zu den Anwendungsdomänen,
- Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes (Destatis),
- Veröffentlichungen verschiedener Standardisierungsorganisationen,
- weitere öffentlich verfügbare Informationen (z. B. Whitepaper, Forschungsaufsätze und Verbandsbroschüren).

2.4 Analyse ausgewählter Anwendungsdomänen und Anwendungsszenarien

In den folgenden Abschnitten werden die jeweilig untersuchten Anwendungsdomänen zunächst eingeführt und die ökonomische wie die gesellschaftliche Relevanz von Breitbandtechnologien in Hinblick auf die vernetzten Anwendungen in diesen Domänen betrachtet. Darauf folgt die Beschreibung von einem oder mehreren zukunftsweisenden Anwendungsszenarien (bzw. -szenario), anhand dem bzw. derer der zukünftige Breitbandbedarf, differenziert nach den oben angegebenen Leistungsparametern und Qualitätsklassen, abgeschätzt wird.

2.4.1 Automotive

2.4.1.1 Die Automotive-Branche in Deutschland

Mit ca. 790.000 Beschäftigten und einem Umsatz von über 400 Mrd. Euro ist die Automotive-Branche die größte Industriebranche in Deutschland. Von außerordentlicher Bedeutung für den Erfolg ist die technische Vorreiterschaft deutscher Hersteller und Zulieferer. Dies spiegelt sich in den hohen F&E-Aufwendungen (20,6 Mrd. Euro, ein Drittel der weltweiten F&E-Ausgaben im Automobilbereich) ([BMWIBra2016], [VDA2016]). Die bedeutendsten Teilnehmer sind die OEMs VW, Daimler und BMW sowie Zulieferer wie Bosch und Continental [Viereckl2015]. Im Jahr 2014 wurden von deutschen Automobilherstellern

ca. 15 Mio. Fahrzeuge hergestellt, dies entspricht ca. 18% der weltweiten Produktion. 21 der 100 weltweit führenden Zulieferer sind deutsche Unternehmen ([Bekker2015], [KBA2016]). Laut Kraftfahrt-Bundesamt waren in Deutschland zum 1. Januar 2016 insgesamt 61,5 Mio. Fahrzeuge registriert, davon 45,1 Mio. Personenkraftwagen. Damit kommen auf 1.000 Einwohner 672 Kraftfahrzeuge [KBA2016]. Laut einer Studie von PwC [Viereckl2015] wird sich der Markt für vernetzte Fahrzeuge in den kommenden fünf Jahren nahezu vervierfachen, wobei die wesentlichen Anwendungen vernetzter Fahrzeuge solche für Fahrerassistenz, Sicherheit, Entertainment, Well-Being, Fahrzeugmanagement und Mobilitätsmanagement sind.

Zurzeit ist eine technische Revolution in der gesamten Automobilbranche zu beobachten, die auf die zunehmende Digitalisierung zurückzuführen ist. Schon heute sind über 80% aller Innovationen im Fahrzeug auf den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) zurückzuführen. Damit betreten neue Teilnehmer diesen globalen Markt, die häufig aus dem IKT-Bereich kommen (z. B. Google, Tesla, Cisco) [Stanley2013].

2.4.1.2 Vernetzte Anwendungen in der Automotive-Branche

Vernetzte Fahrzeugtechnologien (vgl. [Alam2015], [Siemens2015], [Mearian2015]) kommen beispielsweise beim Mobilitätsmanagement zum Einsatz. Fahrer werden mittels Verkehrs-, Straßen- und Wetterinformationen sowie bei der Parkplatzsuche in Echtzeit dabei unterstützt, ihr Ziel zeit- und kosteneffizient (z. B. mit optimiertem Kraftstoffverbrauch) zu erreichen.

Im Bereich Fahrzeugmanagement helfen vernetzte Anwendungen (z. B. mittels Ferndiagnose und -wartung, Übermittlung von Nutzungsdaten, Diagnosen und Prognosen an die Servicezentrale oder Over the Air-Software-Updates/-Upgrades), die Fahrzeugwartung und die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern.

Im Bereich Entertainment sorgen vernetzte Anwendungen für die Unterhaltung von Fahrern und Mitfahrern, ermöglichen das Web-basierte Streaming von Musik und Videos, die Nutzung von Social Media, mobilen Office-Anwendungen oder generell des Internets (bspw. mittels In-Car-WLAN-Hotspots).

Im Bereich der Sicherheit sorgen vernetzte Anwendungen z. B. mittels Vehicle-2-X-Kommunikation (direkter Austausch von Fahrzeugdaten wie Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bremsen zwischen Fahrzeugen) für Kollisionsschutz, Stauende-Warnungen und Notfallfunktionen (eCall, SOS-Dienste) dafür, Fahrer vor gefährlichen Situationen zu warnen und im Notfall zu unterstützen. Im Bereich der Fahrerassistenz unterstützen vernetzte Anwendungen teil- und vollautomatisiertes Fahren mittels sog. Platooning, Kreuzungsmanagement und automatischen Einparkhilfen.

2.4.1.3 Netzbedarfsanalyse zukünftiger Anwendungsszenarien

Der aktuelle Forschungs- und Entwicklungsbedarf für Innovationen in der Automobilbranche richtet sich ganz klar auf zunehmend umfangreiche und stärker automatisierte Assistenzsysteme. Eine anerkannte Klassifizierung geht dabei von sechs Stufen der Automatisierung aus [Gasser2015]. Diese Klassifizierung wird von verschiedenen Stellen (z. B. der Bundesanstalt für Straßenwesen und dem Verband deutscher Automobilhersteller) als Roadmap für die Entwicklung gesehen. Die nachfolgenden, konkret beschriebenen Anwendungsszenarien befassen sich mit den ambitioniertesten Stufen 3 (hochautomatisiert, Marktreife ca. 2020), 4 (vollautomatisiert, Marktreife ca. 2025) und 5 (fahrerlos, Marktreife ca. 2030).

Im Folgenden werden drei zukunftsweisende Anwendungsszenarien der Automotive-Branche vorgestellt, anhand derer nachfolgend die dafür notwendigen Netzparameter abgeschätzt werden.

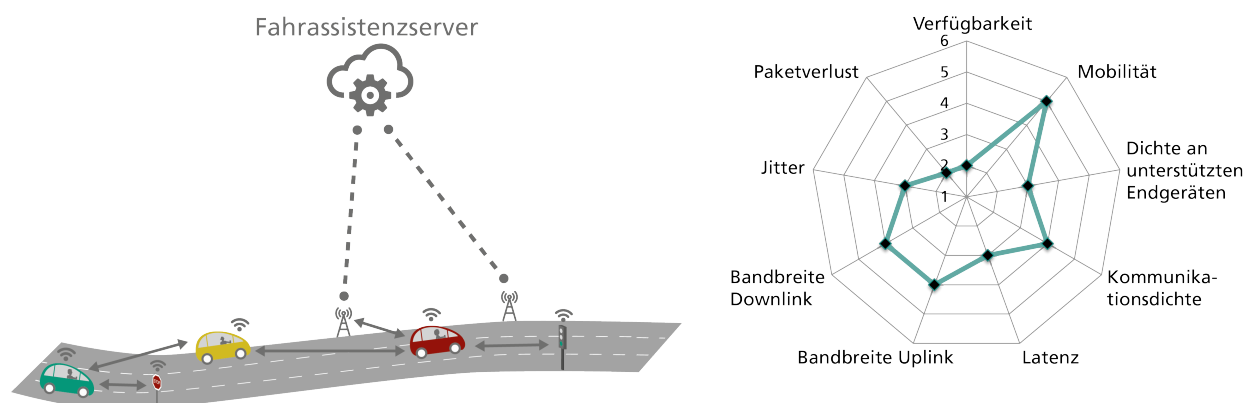
SCENARIO 1: Hochautomatisiertes Fahren

Die Automobilindustrie entwickelt zurzeit das hochautomatisierte Fahren (HAF) zur Serienreife, siehe Abbildung 8. Diese „Chauffeur“-Funktionen erlauben es, auf bestimmten Straßen (v. a. Autobahnen) die komplette Steuerung der Fahrfunktionen an das Auto zu übergeben [Cacilo2015]. Im Gegensatz zu derzeit serienmäßig verfügbaren Funktionen (wie dem Tesla-Autopilot oder dem Mercedes Drive-Pilot) hat der Fahrer keine Überwachungsaufgabe mehr, kann sich also während der Fahrt fahrfremden Tätigkeiten widmen [IAO2016]. Die Fahrzeuge verfügen über eine mobilfunkbasierte Konnektivität, über die Infotainment-Dienste angeboten werden (z. B. Office-Funktionen, Browser oder Video-Streaming). Zusätzlich wird die Konnektivität genutzt, um aus dem OEM-Backend Streckenfreigaben für die automatische Fahrt anzufordern. Das Fahrzeug erfragt also, ob eine bestimmte Strecke derzeit die Anforderungen für HAF erfüllt – z. B., ob der bauliche Zustand ausreichend ist, ob Baustellen, Staus oder Unfälle bekannt sind oder ob Wetterbedingungen gegen das HAF sprechen könnten. Des Weiteren erfordern die HAF-Funktionen eine hochauflösende Karte (HD-Karte) in hoher Aktualität. Diese kann über Mobilfunknetze an die Fahrzeuge übertragen und später mit Hilfe der Onboard-Sensorik unterwegs validiert werden, wobei ggf. Korrekturen an den Hersteller zurückgemeldet werden.

Neben der Backend-Kommunikation ist eine direkte Kommunikation der Fahrzeuge untereinander möglich, die durch Car-2-X-Verbindung über IEEE 802.11p und ETSI ITS G5 ermöglicht wird. Dies ist besonders für kurze Entfernungen in sicherheitskritischen Anwendungen vorteilhaft. Generell basieren typische Car-2-X-Anwendungen auf dem Kommunikationsmuster der Benachrichtigung von allen Fahrzeugen durch alle Fahrzeuge in der näheren Umgebung, um die gegenseitige Wahrnehmung zu unterstützen. Die dabei übertragenen Nachrichten beinhalten hauptsächlich Daten, wie Positionen und Richtungsvektoren (inkl. Geschwindigkeiten), und sind dementsprechend klein. Aufgrund der hohen Mobilität der Fahrzeuge müssen die Nachrichten aber in regelmäßigen Intervallen von 100 ms bis 1 s erneut gesendet werden, um die Perzeption der anderen zu aktualisieren.

In Hinblick auf Anforderungen an die Konnektivität ist also eine moderate Bandbreite bei ausreichender Netzabdeckung erforderlich (v. a. Autobahnnetz). Latenzen im Rahmen von etwa 100 ms sind tolerierbar. Für das HAF-Szenario ist die direkte Kommunikation (über IEEE 802.11p und ETSI ITS G5) nicht unbedingt notwendig, kann aber zur Steigerung von Effizienz und Verkehrssicherheit genutzt werden. Mobilfunkbasierte Kommunikation zum Streckenfreigabeservice ist dagegen notwendig. Der Service kann eine zentrale Verkehrsleitinstanz oder auch ein OEM-Backend sein.

Abbildung 8: Anwendungsszenario „hochautomatisiertes Fahren“



Für das hochautomatisierte Fahren ist eine möglichst großflächige Abdeckung des BAB-Netzes wünschenswert. Die Hauptlast der Daten wird in der Übertragung von HD-Karten liegen, die je nach Detailgrad ca. 1–2 Megabyte pro Quadratkilometer erfordern.³ Zu beachten ist, dass diese Aktualisierung nicht zwingend in Echtzeit erfolgen muss. Sofern die Fahrzeuge als Sensor zur Kartenaktualisierung genutzt werden, wird eine Uplink-Bandbreite in gleicher Größe gebraucht, diese ist jedoch zum Betrieb des Fahrzeuges nicht zwingend notwendig. Als Nebenübertragung wird eine Streckenfreigabeabfrage an ein Hersteller-Backend erwartet, dieses muss zeitnah erfolgen, erfordert aber keine nennenswerten Bandbreiten (Kbit/s-Bereich). Eine Mobilität von über 250 km/h sollte unterstützt werden, für sehr dichten Verkehr (Stau) sollte eine Dichte von ungefähr 3.000 Fahrzeugen pro Quadratkilometer unterstützt werden können.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 7: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios hochautomatisiertes Fahren (HAF)

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	moderat	Kein netzbasierter Eingriff in Steuerung der Fahrzeuge notwendig.
Netzwerkmanagement	wenig flexibel	Standardanbindungen ausreichend.
Wirtschaftlichkeit	hoch	Mehrwert muss für die Nutzer direkt erkennbar sein, daher Wettbewerb.
Offenheit	hoch	Offener Zugang zu Diensten Dritter und unabhängigen Funktionen notwendig.
Ressourcen-/Energieeffizienz	sehr gering	Energie für Kommunikation wird vom Fahrzeug ausreichend zur Verfügung gestellt.

Anwendungsbeispiele:

Zu den Anwendungsbeispielen zählen z. B. das „elektronische Bremslicht“, Stauende-Warnungen, Einsatzfahrzeugwarnungen, Hinderniswarnungen, Baustelleninformationen oder Ampelphasenassistenz.

SZENARIO 2: Teleoperiertes Fahren

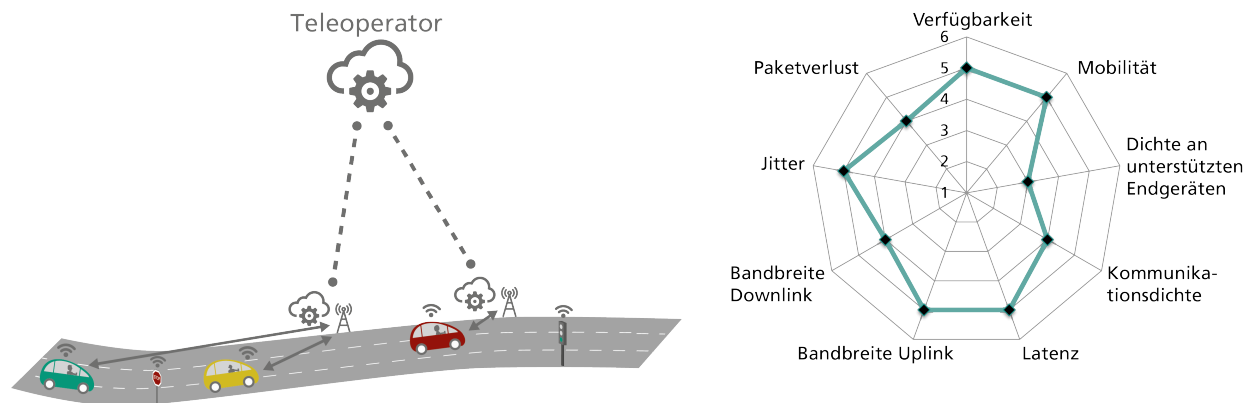
Autonome Fahrzeuge stellen die nächste Evolutionsstufe der Automatisierung dar. Im Gegensatz zu HAF und Vollautomatisierung ist der Fahrer in einem autonomen Fahrzeug von sämtlichen Fahrtätigkeiten dauerhaft entbunden, er muss also nicht fahrtauglich sein (also z. B. keinen Führerschein besitzen), auch ist die Fahrt komplett ohne Fahrer möglich (z. B. mittels autonomer Parkfunktionen).

Bis zum Jahr 2025 ist nicht davon auszugehen, dass hochautomatisierte Fahrzeuge tatsächlich alle Situationen im urbanen Umfeld komplett alleine werden meistern können. Um einen Betrieb trotzdem zu ermöglichen, wird zur Zeit das teleoperierte Fahren diskutiert, siehe Abbildung 9, also die Kontrolle eines autonomen Fahrzeuges aus einer Steuerzentrale. Damit eine sichere Fahrt über Fernsteuerung möglich wird, braucht ein teleoperiertes Fahrzeug die Möglichkeit, Sensordaten und Steuerbefehle mit sehr niedriger Latenz und hoher Kommunikationssicherheit an die Steuerzentrale zu schicken oder von dieser zu empfangen. Dieses Szenario wird typischerweise mit mehreren Kamera-Video-Streams (für mehrere Blickwinkel) sowie Positionsdaten vom Fahrzeug zur Servicezentrale realisiert. Die Nachrichten in die Gegenrichtung – von der Zentrale zum Fahrzeug – beinhalten dagegen hauptsächlich Stelldaten zur

³ Hochrechnung aus aktuellen HD-Karten eines führenden Kartenanbieters, nicht öffentlich verfügbar.

Ansteuerung der Fahrzeugregler. Dementsprechend ergibt sich in diesem Szenario für den Uplink der größere Bandbreitenbedarf im Vergleich zum Downlink. Je nach sonstiger Sensorausstattung neben den Kamerasystemen sind Bandbreiten um 50 Mbit/s nötig. Im Unterschied zu HAF oder sogar kollaborativem autonomen Fahren ist das Szenario des teleoperierten Fahrens durch eine beschränkte Anzahl an direkten Kommunikationsteilnehmern charakterisiert.

Abbildung 9: Anwendungsszenario „teleoperiertes Fahren“



Im teleoperierten Fahren wird zwingend eine latenzkritische Übertragung von Sensordaten erfolgen. Aktuelle Kameras erfordern für H.264-kodierte Übertragung ca. 4 Mbit/s bei einer Auflösung von 1920*1080 [H.264]. Serienfahrzeuge setzen bereits heute bis zu fünf Kameras ein, hier ist eher von einer Steigerung auszugehen. Die Bandbreite der Radarsensorik ist vergleichsweise niedrig. Sollten die Fahrzeuge mit Laserscannern (Lidar) ausgerüstet werden, so sind je nach Typ noch ca. 1 Mbit/s (IBEO LUX [Ibeo2010]), 4 Mbit/s (Velodyne Puck [LiDAR2015]) oder 16 Mbit/s (Velodyne VLP-64 [LiDAR2010]) einzurechnen. Bei einer Bestückung von drei „Puck“ ergibt sich also eine zusätzliche Datenrate von 12 Mbit/s im Uplink.

Der Bandbreitenbedarf für den Downlink ist vergleichsweise gering, da nur Steuerbefehle übermittelt werden. Sowohl Up- als auch Downlink sind stark latenzkritisch, da bei zeitverzögerter Übermittlung ein Überschwingverhalten im Regler auftreten kann. Dies kann ggf. sogar sicherheitskritische Folgen haben. Eine Mobilität von über 250 km/h sollte unterstützt werden, für sehr dichten Verkehr (Stau) sollte eine Dichte von ungefähr 3.000 Fahrzeugen pro Quadratkilometer unterstützt werden können.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 8: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios teleoperiertes Fahren

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	sehr hoch	Unbefugter, netzbasierter Eingriff in Steuerung der Fahrzeuge muss unbedingt vermieden werden.
Netzwerkmanagement	dynamisch	Dynamisches Netzwerkmanagement für Sicherheit und QoS Garantie erforderlich.
Wirtschaftlichkeit	hoch	Investitionen in Netzinfrastruktur müssen im Verhältnis zum Mehrwert auf Seiten der Nutzer stehen.
Offenheit	hoch	Offener Zugang zu Diensten Dritter und unabhängigen Funktionen.
Ressourcen-/Energieeffizienz	moderat	Energie für Kommunikation wird vom Fahrzeug ausreichend zur Verfügung gestellt.

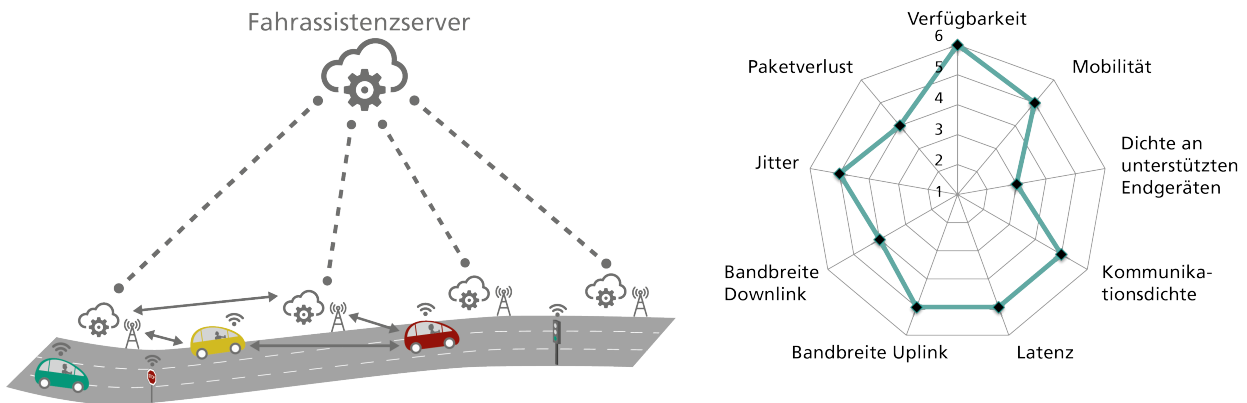
Anwendungsbeispiele:

Abgesehen von Beispielen, bei denen Fahrer auf Grund von Fahruntauglichkeit verhindert sind, ihr eigenes Fahrzeug zu steuern, kann teleoperiertes Fahren in vielen anderen Situationen von großem Nutzen sein, z. B. bei der teleoperierten Steuerung von Elektrofahrzeugen zu Ladestationen, der teleoperierten Bereitstellung von Leihfahrzeugen am Wohnort der Mieter oder bei der Übergabe der Steuerungsfunktionen in Situationen, die für den Fahrer schwierig sind.

SZENARIO 3: Kollaboratives autonomes Fahren

Eine Vernetzung autonomer Fahrzeuge über Direktkommunikation oder Mobile Edge Computing erlaubt „kollaboratives“ Fahren – also die gemeinsame oder geteilte Taktikplanung. So lassen sich Verkehrseffizienz und -sicherheit im Vergleich zum reinen autonomen Fahren deutlich steigern. Durch Sensorik im Fahrzeug oder in der Infrastruktur lässt sich trotzdem ein Mischbetrieb mit menschlich gesteuerten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern realisieren. Kollaborative Fahrzeuge können weiterhin durch dezentrales Lernen eine gemeinsame künstliche Intelligenz aufbauen, in der alle Fahrzeuge von den „Erfahrungen“ der restlichen Fahrzeuge profitieren.

Abbildung 10: Anwendungsszenario „kollaboratives autonomes Fahren“



Das Szenario zum kollaborativen autonomen Fahren, siehe Abbildung 10, zeichnet sich durch heterogene Kommunikationsbeziehungen aus. So gibt es auch den Einsatz von Broadcast-Nachrichten für die Benachrichtigung aller anderen Teilnehmer in der näheren Umgebung. Die Protokolle für den Trajektorien-Austausch für Platooning oder Kreuzungsmanagement betreffen dagegen nur eine limitierte Anzahl an Kommunikationspartnern und werden entsprechend über Unicast-artige Nachrichtenübertragungen realisiert. Für beide Anwendungen sind hohe Bandbreiten bei geringer Latenz zwingend notwendig. Aufgrund dieser Bandbreiten- und Latenzanforderungen bei gleichzeitiger geographischer Beschränkung der Informationsbereiche eignet sich das Szenario für kollaborative autonome Fahrzeuge für die Umsetzung durch Mobile Edge Computing. Eine Mobilität über 250 km/h sollte unterstützt werden, für sehr dichten Verkehr (Stau) sollte eine Dichte von ungefähr 3.000 Fahrzeugen pro Quadratkilometer unterstützt werden können.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 9: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios kollaboratives autonomes Fahren

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	sehr hoch	Unbefugter, netzbasierter Eingriff in Steuerung der Fahrzeuge muss unbedingt vermieden werden.
Netzwerkmanagement	hochflexibel	Dynamisches Netzwerkmanagement ist für Sicherheit und QoS-Garantie erforderlich.
Wirtschaftlichkeit	hoch	Investitionen in Netzinfrastruktur müssen im Verhältnis zum Mehrwert auf Seiten der Nutzer stehen.
Offenheit	sehr hoch	Offener Zugang zu Diensten Dritter muss sichergestellt sein, direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen notwendig.
Ressourcen-/Energieeffizienz	hoch	Energie für Kommunikation wird vom Fahrzeug ausreichend zur Verfügung gestellt.

Anwendungsbeispiele:

Fahrzeuge können gemeinsam als „Platoon“ (Verband) durch die Stadt fahren, indem sie ihre Trajektorien synchronisieren. Auch ist die Vorfahrtplanung an autonomen Kreuzungen möglich, ohne Ampelanlagen oder normale Verkehrsregeln zu beachten. Kollaborative Fahrzeuge können ihre Fahrtwege so abstimmen, dass eine ideale Kreuzungsnutzung je nach Bedarf zwischen den Autos verhandelt wird.

2.4.1.4 Ausblick

Das hochautomatisierte Fahren (HAF) ([Schulze2016], [TomTom2016]) bzw. das autonome Fahren zählt mutmaßlich zu den disruptivsten Veränderungen in der Automobilindustrie. Der Fahrer wird zum Passagier und die Steuerung wird dem Fahrzeug überlassen. HAF benötigt Mobilitätstrassen mit speziellen Netzinfrastrukturen. Die Evolution geht von teilautomatisierten Fahrfunktionen über hochautomatisiertes Fahren hin zu vollautomatisiertem Fahren (prognostizierte Marktreife 2025–2030).

Im September 2015 wurde seitens der Bundesregierung ein ambitioniertes Strategiepapier vorgestellt, welches den aktuellen Entwicklungen Rechnung trägt [BMVI2015]. Einer der zentralen Bausteine für den weiteren Erfolg der deutschen Automobilindustrie – und insbesondere für die parallele Entwicklung eines Leitmarktes für Automobilinnovationen – ist die Sicherung einer leistungsfähigen Kommunikationsinfrastruktur. Dazu ist der Ausbau existierender zellulärer Netze genauso wichtig wie die Zusicherung von dedizierten Frequenzbändern für Ad-hoc-Kommunikation.

2.4.2 Medien**2.4.2.1 Die Medienbranche in Deutschland**

Die Medienbranche umfasst die komplette Kette der Medienerstellung, Medienverarbeitung und Auslieferung von Medieninhalten an den Endkunden. Haupttreiber des Marktes sind traditionelle Medienunternehmen wie z. B. TV-Sender. Allein die deutsche TV-Branche setzte im Jahr 2014 ca. 14 Mrd. Euro um. Von allen Medien in Deutschland ist Fernsehen nach wie vor am populärsten. Laut einer aktuellen SevenOne Media-Studie [SevenOne2016] nutzen 80% der deutschsprachigen Bevölkerung täglich das Fernsehen, 65% Radio, 63% das Internet, 44% lesen täglich Zeitung, 13% lesen Zeitschriften, 27%

Bücher, 18% nutzen täglich Spiele. Obwohl weniger als 10% der Nutzung auf Online-Videos (kostenlos), DVDs und Blu-Ray entfallen, prognostiziert die Studie zukünftig höhere Nutzungsdauern bei Internetnutzung und Online-Videos (vgl. auch [Statista2016a], [Statista2016b], [Klapproth2016]).

Bis 2017 erwarten PwC-Experten [PWC2013] ein durchschnittliches Wachstum der Konsumentenausgaben für Medien und Internetanschlüsse von 2,6% auf ein Volumen von 54,8 Mrd. Euro. Der Erlösanteil digitaler Medien am Gesamtmarkt lag 2012 bei 32% und soll bis 2017 auf 42% steigen. Konsumenten gaben 2012 rund 48 Mrd. Euro für Medien aus, davon 13 Mrd. für Internetzugänge, 9,5 Mrd. Euro im Buchmarkt und 8,9 Mrd. Euro für den Fernsehempfang. 2016 liegen die Umsätze im digitalen Medienmarkt ([Meedia2016], [PWC2016]) für Pay-TV bei ca. 2,5 Mrd. Euro, bei Spielen bei ca. 1,5 Mrd. Euro, im Online-Werbemarkt bei ca. 8 Mrd. Euro und im Video-on-Demand-Markt bei ca. 500 Mio. Euro [Statista2016b].

Zu den wichtigsten Marktteilnehmern gehören TV-Sender/ Broadcaster (z. B. die öffentlich rechtlichen Sendeanstalten ARD, ZDF, WDR, die privaten Sender-/ Mediengruppen RTL, ProSiebenSat1, Sky, Medienhäuser und Publisher wie Axel Springer, Burda, Funke Medien, Vermarkter wie IP Deutschland, SevenOne Media, Produzenten und Filmparks wie Babelsberg und UFA und Mediaagenturen wie Mediacom und OMD. Die wichtigsten internationalen Wettbewerber in der Medienbranche sind Sendergruppen wie Discovery, OTT Videoportale wie Netflix, HBO, Amazon Prime und Produktionsstudios wie Hollywood Studios.

Medieninhalte und der Videokonsum unterliegen in 2016 einem starken Wachstum, dessen Ende noch nicht absehbar ist. Die Digitalisierung, die weitere Verbreitung von breitbandigen Netztechnologien und die Verfügbarkeit immer leistungsfähigerer Endgeräte beschleunigen diese Entwicklung. In den USA werden zu Spitzenzeiten knapp 40% des Internetverkehrs von nur einem Video-on-Demand-Anbieter verursacht [SANDVINE2016]. Der Cisco Visual Networking Index (VNI) [CISCOVNI2016] weist aus, dass Videodaten über 90% des Internetverkehrs verursachen. Die absoluten Zahlen wachsen derzeit exponentiell. Der Bedarf für ressourcenschonende Medientechnologien wie z. B. hocheffiziente Videokompression ist immens.

Die Anwendungsfelder reichen dabei von TV- und Videoanwendungen im klassischen TV-Umfeld über die Vielzahl der Video-on-Demand-Dienste bis hin zu industriellen Anwendungen von Bildverarbeitungs- und Bildanalysetechnologien und Streaming-Anwendungen im Corporate Social Media- und Schulungsbereich.

UHD/ 360°-Inhalte erfordern massive Breitbandanbindung sowohl zu Hause (meist über Festnetzanbindungen) als auch mobil (verstärkte Nutzung, vgl. Abbildung 6). Bandbreitenbedarfsprognosen liegen meist deutlich unter den tatsächlichen Anforderungen. Die Adaptionrate neuer Medieninhalte durch Nutzer ist extrem hoch, begünstigt durch immer leistungsfähigere Endgeräte, insbesondere durch Smartphones und Tablets.

2.4.2.2 Vernetzte Anwendungen und Produkte in der Medienbranche

Netzinfrastrukturen bzw. die Vernetzung mittels des Internets sind für die Medienbranche von herausragender Bedeutung, nicht nur für die Bereitstellung traditioneller, audiovisueller Inhalte (TV, Film, Video im Allgemeinen, Bilder, Musik, Hörspiele), sondern zunehmend auch für neue Inhalte wie ultrahochauflösendes Fernsehen (UHD-TV), 3D, 360°-Video, erweiterte wie virtuelle Realität-Inhalte und -Anwendungen. Ebenso ist die Vernetzung von herausragender Bedeutung für die Spielebranche, die mit immer aufwändigeren, vernetzten Online-Spielen, die zunehmend auch mobil genutzt werden [Statista2016i] und an denen teilweise eine große Anzahl von Spielern (Multiplayer Online-Games) teilnimmt.

Eine neue Generation von hochauflösenden Videoformaten (4K- und 8K-Auflösungen), wird in den kommenden Jahren eine neue Generation von vernetzten TV-Geräten mit sich bringen. Der 4K/UHD Set-Top-Box-Markt könnte sich bis 2024 zu einem 3,7 Mrd. US-Dollar schweren Markt entwickeln, getrieben von einer starken Nachfrage für 4K-Videoinhalte, starken Umsätzen mit 4K-Fernsehgeräten und anderen 4K-Endgeräten. 4K-Fernsehkkanäle kommen langsam auf den Markt. Zu den Olympischen Spielen 2016 hat die BBC interne Tests mit 4K-Ausstrahlungen gemacht. Netflix und Amazon sind erste Anbieter von 4K-Video-on-Demand-Inhalten [Pino2016].

Daneben werden Anwendungen der erweiterten Realität (Augmented Reality, AR) und der virtuellen Realität (Virtual Reality, VR) in den kommenden Jahren die Medienlandschaft drastisch verändern [GoldmanSachs2016]. Anfänglich lag der Fokus von Virtual Reality-Anwendungen auf Spielen und Filmen für den Privatkundenmarkt. Dieser wird mittelfristig erweitert werden um die Bereiche Medizin (chirurgische Ausbildung, Behandlung von Phantomschmerzen, Diagnose von Hirnschäden und Rehabilitation, Chancen für Behinderte), Produktion (vom Produktdesign bis zur Unterstützung von Kunden bei der Produktwahl), Militär (Kampfsimulationen) und Bildung (Mechanik, Architektur, Kunst, Medizin, Raum- und Luftfahrt, Astronomie) auch im Klassenzimmer. Ferner wird für virtuelle Exkursionen ein großes Potenzial von VR-Anwendungen prognostiziert ([Lafuente2016], [Carson2015]).

Augmented Reality spielt neben Anwendungen aus der Unterhaltungsbranche (Film/TV-Streaming, 2D/3D-Spiele, Freizeit-/ Vergnügungsparks) eine zunehmende Rolle für militärische Anwendungen, in der Medizin, in der Produktion (Assistenzsysteme), in der Logistik, zur Fahrerassistenz, bei Messen und in Museen.

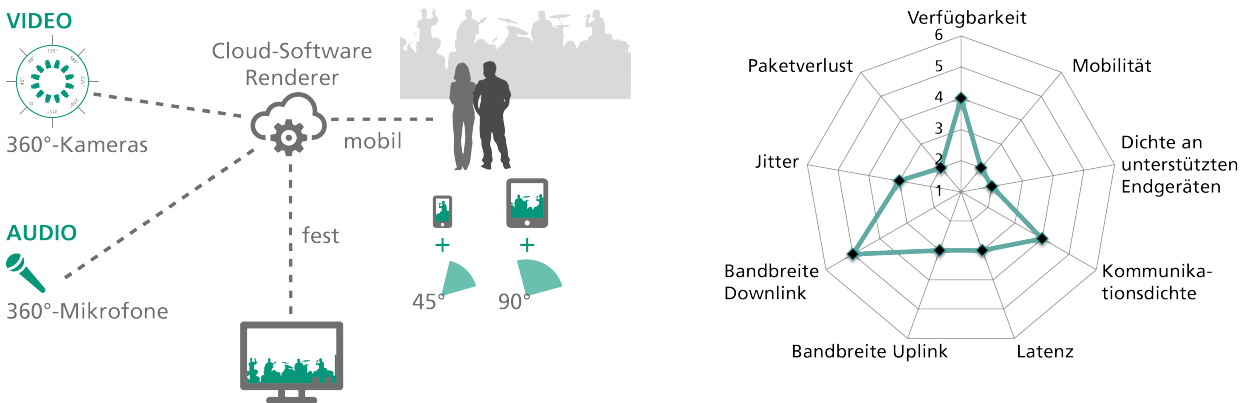
2.4.2.3 Netzbedarfsanalyse zukünftiger Anwendungsszenarien

Im Folgenden wird ein zukunftsweisendes Anwendungsszenario der Medienbranche vorgestellt, anhand dessen die dafür notwendigen Netzparameter für drei unterschiedliche Umgebungen (Smart City, Smart City mobil und auf Massenveranstaltungen) abgeschätzt werden.

SCENARIO 1: Smart City-Informationen mittels 360°-Video

Video- und TV-Technologien haben sich in den vergangenen Jahren drastisch weiterentwickelt. 3D- und 4K-Formate, HDR, adaptives Streaming sowie HbbTV sind die prominentesten Beispiele. Sie haben bereits den Weg in den Massenmarkt und damit in die Wohnzimmer der Zuschauer gefunden. Diese Entwicklung vollzieht sich durch die Einführung von 360°-Video, auch „FreeTV“ und „immersive Video“ genannt, konsequent weiter. Ein 360°-Video ist ein Film oder Livestream, in dem jede Blickrichtung gleichzeitig aufgenommen wird, siehe Abbildung 11. Der Betrachter kann beim Abspielen eines solchen Films durch Interaktion mit dem Abspielgerät (Bewegung der Brille, des mobilen Gerätes oder auch „klassischer“ Eingabegeräte wie Maus, Touchpad, Tastatur, Fernbedienung) frei die Blickrichtung wählen. Er bekommt damit ein sehr viel realistischeres Gefühl und den Eindruck, sich in dem Video bzw. der Situation zu befinden (Virtual Reality). Gleichzeitig gewinnt er die Freiheit, den Inhalt ganz individuell zu erleben. Erste Beispiele finden sich bereits in Internet-Portalen wie YouTube oder Facebook.

Abbildung 11: Anwendungsszenario „Smart City-Informationen mittels 360°-Video“



360°-Video ist nicht nur für Social Media-Plattformen relevant, sondern auch für das Fernsehen, für Video-Überwachungstechnologien und -konferenzen, Remote Assistenz (Installateure, Ärzte) sowie immersive E-Learning- bzw. Telelearning-Inhalte. Produzenten und Fernsehanstalten beschäftigen sich im Kontext Tourismus, Dokumentationen, Natursendungen und TV-Shows mit dem Thema. Das Fraunhofer-Institut für offene Kommunikationssystem FOKUS entwickelt bereits erste prototypische Lösungen zum Ausspielen auf TV-Geräten über HbbTV und SmartTV. Die anfallenden Datenmengen von 360°-Videos übersteigen die von klassischem Video um ein Vielfaches. Beispielsweise setzt GoPro's 360°-Kamera „Odyssey“ auf 16 Ultra HD-Kameras, was folglich zu einem bis zu 16-fachen 4K-Videostrom (bis zu 600 Mbit/s) führt. 3D-Szenarien sowie das 8K-Format vervielfachen die Datenströme um ein Weiteres.

Keine derzeit verfügbare Videoinfrastruktur und die darunterliegenden Netze sind für eine Nutzung von Video-Streams in dieser Größenordnung durch viele Nutzer gleichzeitig ausgelegt. Skalierbare cloud-basierte Ansätze sind daher notwendig, um serverseitig einen auf den sichtbaren Bildausschnitt angepassten Videostrom zu berechnen und an das jeweilige Endgerät zu übertragen. Dadurch müssen nur deutlich kleinere Datenmengen übertragen werden und auf dem Endgerät entfällt die aufwändige Dekodierung des gesamten 360°-Videos. Durch solche intelligenten Funktionen im Netz wird hochauflösendes 360°-Video mittelfristig auch mobil nutzbar werden. Trotzdem bleibt die vom Netz bereitgestellte Bandbreite das wichtigste Kriterium, um diese zukunftssträchtigen Inhalte und Technologien einsetzen zu können.

In den Forschungsrahmenprogrammen der EU ist die Entwicklung sichtbar, so thematisieren aktuelle H2020 Calls Themen wie „ICT-19-2017: Media and content convergence“ oder „ICT-20-2017: Tools for smart digital content in the creative industries“. Hier werden gezielt Projektideen zur Entwicklung von Prototypen für neuartige Medienanwendungen gesucht und gefördert.

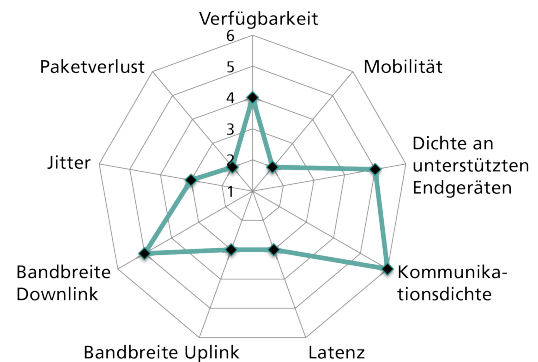
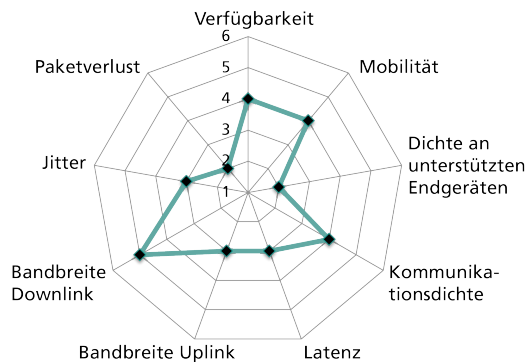
Anwendungsbeispiele:

Beispiele kommen aus dem Bereich Smart City-Informationen, in welchem per Over-the-Top (OTT)-Streaming 360° bzw. 4K/8K UHD-Inhalte Besuchern und Einwohnern der Stadt ermöglichen, individuell ausgewählte Informationen über Sehenswürdigkeiten, Veranstaltungen oder historische Ereignisse zu erfahren. Der Tourist kann beispielsweise vor dem Brandenburger Tor stehen und über eine VR-Brille unter Zuhilfenahme seines Smartphones einen 360°-Film über das Berlin vor dem Mauerfall an genau seiner aktuellen Lokation ansehen. Dieses Szenario ist beliebig erweiterbar, für jegliche Art von Informationen, die in einer smarten Stadt verfügbar sind.

SZENARIO 2: Smart City-Informationen mittels 360°-Video, mobil

Kommt eine 360°-Video Anwendung nun in mobilen Situationen (z. B. in Bussen, Bahnen oder Schiffen) zum Einsatz, so ändern sich die Anforderungen in Punkto Mobilität wie in Abbildung 12 links dargestellt.

Abbildung 12: Anwendungsszenario „360°-Video mobil“ (links); „360°-Video auf Massenveranstaltungen“ (rechts)



Anwendungsbeispiele:

Mögliche Anwendungsbeispiele für mobiles, ultrahochauflösendes 360°-Video kommen, neben Anwendungen aus Touristik, auch aus dem Bereich des Telelearnings, da 360°-Videoinhalte helfen, komplexe Themen und Zusammenhänge besser zu verstehen, und Orte oder Situationen begreifbar zu machen. Der Lernende kann sich auch besser in die jeweilige Situation hineinversetzen. Zusätzliche Interaktivität innerhalb des 360°-Videos steigert die effektive Einbeziehung der Nutzer und führt zu besserer Verständlichkeit.

SZENARIO 3: 360°-Videos auf Massenveranstaltungen

Wird zukünftig eine 360°-Videoanwendung auf Massenveranstaltungen (z. B. Stadien, Messen, Konzerte und Public Viewing bei Fußball-EM oder -WM) genutzt, wird es durchaus vorkommen, dass diese oder andere hochbitratige Medienformate zehntausenden Teilnehmern zur Verfügung gestellt werden müssen. Dies führt zu einer sehr hohen Anforderung hinsichtlich der Dichte der zu unterstützenden Endgeräte und zu einer sehr hohen Kommunikationsdichte, wie in Abbildung 12 rechts dargestellt.

Anwendungsbeispiele:

Bei Veranstaltungen, auf Konzerten oder in Stadien kann 360°-Video den Zuschauern dabei helfen, die Perspektive zu wechseln, das Geschehen aus „anderen Augen“ wahrzunehmen, um bspw. von der Tribüne oder aus der Vogelperspektive zuzusehen.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen aller drei Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 10: Nichtfunktionale Anforderungen der Szenarios 360°-Video

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	moderat	Eher moderate Sicherheitsanforderungen bei der Nutzung von Medienanwendungen.
Netzwerkmanagement	dynamisch	Dynamisches Netzwerkmanagement für die Unterstützung hoher Endgerät- und Kommunikationsdichte.
Wirtschaftlichkeit	erheblich	Investitionen in Netzinfrastruktur müssen im Verhältnis zum Mehrwert auf Seiten der Nutzer stehen.
Offenheit	hoch	Offener Zugang zu Diensten Dritter und zu verschiedenen Plattformen aus wirtschaftlicher Sicht notwendig.
Ressourcen-/Energieeffizienz	hocheffizient	Bei der Nutzung von mobilen Endgeräten spielt die Energieeffizienz eine signifikante Rolle.

2.4.2.4 Ausblick

Medien sind der mit Abstand stärkste Treiber für den Breitbandausbau, da hinsichtlich des Datenvolumens und der Übertragungskapazitäten im Vergleich zu anderen Branchen sehr hohe Anforderungen bestehen. Die Anzahl gleichzeitiger Nutzer sowie die Belastung der Netzinfrastruktur in Spitzenzeiten sind extrem hoch (Events wie z. B. Fußballweltmeisterschaft, Olympia, Wahlen und andere besondere Ereignisse). Neben den ersten 360°-Videolösungen werden sich weitere Anwendungen und neue Formen von Inhalten entwickeln (siehe Anwendungen erweiterte Realität/ virtuelle Realität in 2.4.2.2), die durch Interaktivität mit dem Nutzer und steigende Bildqualität ein Vielfaches der derzeit verfügbaren Bandbreite benötigen werden.

Schon heute hat sich Video-Streaming, sowohl live als auch on-Demand, als eine Form des Medienkonsums fest etabliert. Mehr als drei Viertel aller Internetnutzer in Deutschland über 14 Jahre (76%) schauen Videos über das Internet. Dies entspricht gut 42 Mio. Bundesbürgern, Tendenz stark steigend. Aktuelle Studien, beispielsweise von Bitkom [Lutter2015] oder der Cisco Virtual Networking Index [CISCOVNI2016], belegen diesen Trend. Over-the-Top-Streaming, also Videoübertragungen über das offene Internet, sind meist nur dann in ausreichender Quantität und Qualität möglich, wenn die entsprechenden Datenübertragungskapazitäten sowohl im Kernnetz der Carrier als auch in den Netzen der Internet Service Providers (ISPs) und im Zugang, auf der „letzten Meile“ bis zum Hausanschluss des Kunden, zur Verfügung stehen. Gleiches gilt für die stark steigende mobile Nutzung von Videoinhalten über mobile Breitbandnetze. Neue Techniken wie Content Distribution Networks (CDN) können diese Anforderungen durch Caching und lokale Bereitstellung der Videos jedoch abmildern.

Die neuen Medienangebote wie beispielsweise die Videoplattformen Netflix, Amazon Video oder Maxdome wachsen rasant und verändern das Nutzungsverhalten der Zuschauer. Inhalte sind jederzeit und überall abrufbar, unabhängig vom Endgerät oder der aktuellen Lokation des Nutzers. Besonders hohe Anforderungen an das Breitbandnetz stellen Live Events dar, die mithilfe von Over-the-Top-Streaming-Diensten abgerufen werden. Prominente Beispiele sind Sportevents wie die Olympischen Spiele, Fußball-EM und -WM sowie tagesaktuelle Ereignisse wie Wahlen und Nachrichtensendungen. Sie erzeugen extreme Lastspitzen im Breitbandnetz, können nur zum Teil vorherbestimmt und eingeplant werden, stellen aber gleichzeitig die höchsten Anforderungen hinsichtlich Skalierbarkeit und Datendurchsatz an die Infrastruktur [MED2015].

Wichtig werden auch immer mehr internetbasierte Systeme zum cloud-basierten Rendering und zur Verteilung der Medieninhalte während der Produktion (Liveübertragungen, Filmarchive, Video-on-Demand), und Multicast-Infrastrukturen für Live Streaming. Für die Anbindung dieser Medien-Clouds werden sehr große Bandbreiten benötigt.

2.4.3 Gesundheit

2.4.3.1 Die Gesundheitsbranche in Deutschland

Im deutschen Gesundheitswesen werden pro Jahr ca. 330 Mrd. Euro umgesetzt.⁴ Knapp 70% hiervon entfallen auf den sog. ersten Gesundheitsmarkt der Kostenträgerfinanzierten Leistungen (gesetzliche und private Krankenversicherung). Bei den Ausgaben bilden ärztliche Leistungen, pflegerische/therapeutische Leistungen und Waren (Arzneimittel, Hilfsmittel) mit jeweils ca. 90 Mrd. Euro pro Jahr die dominierenden Kostenpositionen. Die größte Teilbranche im produzierenden Bereich ist die pharmazeutische Industrie mit über 40 Mrd. Euro Jahresumsatz, vor der Medizintechnik mit knapp 23 Mrd. Euro. Das Marktwachstum der deutschen Gesundheitswirtschaft liegt mit 3,5% deutlich über anderen Branchen hierzulande, aber ebenso deutlich unter dem weltweiten Branchenwachstum von 6% [Gigerenzer2016].

2014 waren über fünf Mio. Menschen im Gesundheitswesen beschäftigt (ca. ein Achtel der Erwerbstätigen in Deutschland), von denen ein Viertel in Krankenhäusern und Reha-Einrichtungen arbeiteten. Der überwiegende Teil der Beschäftigten (75%) sind Frauen. Die Zahl der Beschäftigten ist seit 2000 um 27% gestiegen. Auch für das Jahr 2016 rechnet der DIHK mit 100.000 neuen Stellen in der Gesundheitsbranche.

Grundsätzlich ist das Gesundheitswesen alleine schon auf Grund der Marktstellung der gesetzlichen Krankenversicherung im Kern ein regional ausgerichteter Dienstleistungsmarkt (ein großer Teil der Leistungen wird in unmittelbarer räumlicher Nähe zum Patienten erbracht). Hinzu kommen die sehr starke Marktregulierung und stringente Vorgaben zur Leistungsabrechnung, die eine Ausweitung des Dienstleistungsangebots außerhalb der Grenzen Deutschlands deutlich erschweren. Umgekehrt wird hierdurch der Markteintritt ausländischer Anbieter (insb. Klinikketten und Versandapotheken) erschwert. Hiermit entsteht ein weitgehend abgeschlossener Markt, der jedoch auf Grund seiner Sättigung und der schwachen Investitionsbereitschaft für viele IT-Anbieter zunehmend uninteressant wird.

Auf Basis der Regulierungen der Sozialgesetzbücher ist Wettbewerb im Bereich der Leistungserbringer vor allem im stationären Sektor sowie im Bereich der Rehabilitation und Pflege angesiedelt. Für Themen der Breitbandvernetzung sind hierbei vor allem Krankenhäuser interessant, da diese alleine wegen ihrer Größe im Vergleich zu anderen Leistungserbringern und auf Grund ihrer Bedeutung für die Gesundheitsversorgung in einer Region für jegliche Form der vernetzten Leistungserbringung innerhalb des ersten Gesundheitsmarkts eine herausragende Rolle spielen. Krankenhäuser stehen im Allgemeinen durch den besonders in Ballungsräumen gegebenen Verdrängungswettbewerb IT-Themen deutlich aufgeschlossener gegenüber als dies bei Arztpraxen und Apotheken der Fall ist.

Im stationären Sektor hat sich in den letzten Jahren eine Drittelung der Trägerschaften von Krankenhäusern zwischen öffentlichen, privaten und freigemeinnützigen Trägern verfestigt, wobei nach wie vor knapp die Hälfte der Fälle in öffentlichen Häusern behandelt wird. Größter privater Träger sind die Helios-Kliniken mit einem Jahresumsatz von 5,5 Mrd. Euro gefolgt von Asklepios (3,1 Mrd.) und Sana (2 Mrd.). Bezogen auf

⁴ Alle genannten Zahlen stammen aus dem Webauftritt des Bundesministeriums für Gesundheit, dem jährlichen Branchenbericht des Bundesverbands Gesundheits-IT, Berichten der Deutschen Krankenhausgesellschaft und Statistiken des Statistischen Bundesamts

den Umsatz folgt an vierter Stelle bereits die Charité als größte Uniklinik, mit einem Jahresumsatz von 1,6 Mrd. Euro. Nach einer aktuellen Studie verzeichnen zwar die meisten deutschen Krankenhäuser einen Umsatzanstieg, weniger als die Hälfte erreicht damit jedoch ein positives Jahresergebnis [Roland2015].

IT-Lösungen und -Dienstleistungen deutscher Hersteller bilden mit einem Jahresumsatz von ca. 1,6 Mrd. Euro ein vergleichsweise kleines Marktsegment [BVITG2014]. Gründe hierfür sind vorrangig die stagnierenden IT-Budgets und der Investitionsstau (je nach Sichtweise 20–50 Mrd. Euro) bei den deutschen Krankenhäusern als einer der größten Nachfragegruppen von IT.

Das größte Marktwachstum (5,5%) findet aktuell im zweiten Gesundheitsmarkt statt. Von den hier gegenwärtig im Jahr umgesetzten 75 Mrd. Euro entfällt ca. ein Viertel auf den privat finanzierten Bereich, zu dem auch mobile Gesundheitsanwendungen (mHealth) zählen. Betrachtet man jedoch den Gesamtumsatz von 1,3 Mrd. Euro von sämtlichen Apps in Deutschland sowie die geringen Downloadzahlen von Gesundheits-Apps, so muss festgehalten werden, dass das vergleichsweise hohe Wachstum auf einer niedrigen Ausgangsbasis stattfindet [BMG2016]. Vor diesem Hintergrund sind auch Marktprognosen skeptisch zu sehen, die davon ausgehen, dass sich der weltweite mHealth-Markt von 2013 bis 2018 auf 21 Mrd. US-Dollar verzehnfachen wird [Grätzel2015].

Allgemein gilt der Markt für IT-Ausstattungen einzelner Einrichtungen in Deutschland als gesättigt, so dass deutsche Hersteller zunehmend versuchen, in ausländischen (vorrangig jedoch deutschsprachigen) Märkten Fuß zu fassen bzw. neue Marktsegmente in der einrichtungsübergreifenden Vernetzung zu erschließen. Im zweiten Bereich ist allerdings in den letzten Jahren eine verstärkte Präsenz ausländischer KMU zu beobachten, die auf Basis von Referenzlösungen in ihren Heimatländern sowie über Kooperationen mit großen amerikanischen Infrastrukturanbietern und eine klare Ausrichtung an internationalen Standards eine gute Marktstellung erreichen konnten (z. B. x-tension und Tiani Spirit aus Österreich, Parsek und Marand aus Slowenien). Die Aufteilung des Marktes für IT in Gesundheitseinrichtungen spiegelt die sektoralen Trennungen wieder; während im Krankenhausbereich durch mehrere Übernahmen (z. B. Verkauf der entsprechenden Siemenssparte an Cerner und Übernahme von brightONE durch T-Systems) eine klare Marktkonsolidierung weniger Hersteller erkennbar ist (Agfa, Cerner, SAP, Meierhofer, etc.), wird der ambulante Sektor seit vielen Jahren von CGM und mit Abstrichen medatixx dominiert, deren gemeinsamer Marktanteil bei ca. 70% liegt. Neben diesen beiden Herstellern haben sich jedoch auch eine Vielzahl von kleinen Anbietern am Markt halten können.

Auch wenn Interoperabilität in der Gesundheits-IT ein intensiv diskutiertes Thema ist, so finden sich in der Praxis fast durchgängig Geschäftsmodelle, die auf einem Lock-in eines einmal gewonnenen Kunden basieren. Auf Grund der Marktsituation sind Anbieter oftmals gezwungen, bei Neubeschaffungen extreme Preisnachlässe zu gewähren, so dass Gewinne erst im Anschlussgeschäft durch Wartungsgebühren und insbesondere individuelle Anpassungen und Erweiterungen zu erzielen sind. Dieses Modell ist umso einfacher durchsetzbar, je geschlossener und proprietärer die Systeme sind. Für Krankenhäuser bedeutet dies jedoch, dass für einen Datenaustausch mit anderen Einrichtungen oftmals die erforderlichen Schnittstellen nicht existieren bzw. mit hohem Kostenaufwand beim Hersteller beauftragt werden müssen. Dieses Phänomen ist weltweit zu beobachten [Garber2014]. Es gelangt auch zunehmend in den Fokus der Politik (beispielsweise drohte der amerikanische Kongress dem Marktführer Epic mit einer milliarden schweren Rückzahlungsforderung von Fördergeldern und einem Verlust der Zulassung, falls der Konzern nicht seine Interoperabilitätspolitik grundlegend ändert [Zimlich2014]).

Ebenfalls schwierig gestaltet sich der mobile Health-Markt (mHealth-Markt) in Deutschland, der, von Einzelfällen abgesehen, ausschließlich im zweiten Gesundheitsmarkt angesiedelt ist. Hier wird der für die Erzielung relevanter Umsatzzahlen erforderliche Zugang zum ersten Gesundheitsmarkt auf Grund vielfältiger Hürden (Medizinproduktegesetz, Nachweis des Nutzwerts über wissenschaftliche Studien, Anforderungen des Datenschutzes) jedoch auf absehbare Zeit eher eine Ausnahmeerscheinung für sehr spezifische indikationsbezogene Lösungen bleiben. Anders sieht das Bild in Märkten mit starkem Selbstzahleranteil wie z. B. den USA aus, wo durch Online-Sprechstunden und Telemedizin erzielbare

Kostenvorteile zumindest teilweise an die Patienten weitergegeben werden können. Hier haben marktführende Anbieter (Epic, Cerner) auch frühzeitig Schnittstellen von Apple Health zu ihren Klinik-IT-Systemen und Patientenakten geschaffen, um so mobile Anwendungen in „klassische“ Behandlungsabläufe integrieren zu können.

Videokommunikation zwischen Leistungserbringern (Ärzte, Apotheker etc.) sowie auch zwischen Ärzten und Patienten ist ein Schlüsselement für eine wirtschaftliche und patientenfreundliche Versorgung sowie die Aufrechterhaltung der wohnortnahen Versorgung in ländlichen Gebieten. Hiermit wird gleichzeitig die auch vom Sachverständigenrat insbesondere aus ökonomischen Gründen geforderte regionale Zentrenbildung unterstützt, da durch solche dezentralen Versorgungszentren ein breites Spektrum fachärztlicher und fachgebietsübergreifender Expertise über Videokommunikation den in der Fläche wirkenden Hausärzten verfügbar gemacht wird.

Eine immer intensivere Ausstattung von Patienten mit am (oder im) Körper getragener Sensorik erlaubt nicht nur eine lückenlose Überwachung von Risikopatienten, sondern ermöglicht auch eine Verringerung der Frequenz von Arztkontakten für Patienten mit normalem Therapieverlauf. Hierdurch werden für diese Patienten unnötige Wege und Wartezeiten vermieden. Zugleich gewinnen Ärzte mehr Behandlungszeit für die Fälle, die über die ärztliche Routine hinausgehen.

2.4.3.2 Vernetzte Anwendungen in der Gesundheitsbranche

Anforderungen für Vernetzung bestehen grundsätzlich von der Vorsorge über die Versorgung bis zur Pflege und Rehabilitation. Diese Anforderungen werden vor allem durch die demografische Entwicklung und die technologisch erweiterten Möglichkeiten der Erfassung von Patientendaten forciert.

Die demografische Entwicklung führt zu einer Zunahme altersbedingter Multimorbidität gerade hinsichtlich chronischer Krankheiten, die heute bereits ca. drei Viertel der Gesundheitskosten ausmacht [SVR2016]. In den hiervon besonders betroffenen ländlichen Gebieten kommt eine Ausdünnung des Leistungsangebots von Krankenhäusern und zunehmende Probleme mit der Neubesetzung von Arztpraxen hinzu. Um dieser Entwicklung zu begegnen, werden eine telemedizinische Betreuung von Patienten im ländlichen Raum (B2C) und die telematische Vernetzung von regionalen Häusern der Grund- und Regelversorgung mit Fachärzten in Schwerpunkt- und Maximalversorgung (B2B) unumgänglich sein. Beides erfordert hochverfügbare und sichere Netze.

Der Preisverfall bei Sensoren, innovative Produktentwicklungen und die starke Verbreitung von Mobilgeräten in der Bevölkerung führen perspektivisch zu einer starken Zunahme der zu einem Patienten verfügbaren Daten. Die Erhebung dieser Daten erfolgt dezentral, während Speicherung und Auswertung zumeist zentral oder durch Ärzte vorgenommen werden. Insbesondere wenn die zugrundeliegenden Versorgungsszenarien die durchgängige Überwachung eines Patienten oder Interaktionen zwischen Arzt und Patient erfordern, muss eine von Zeit und Aufenthaltsort des Patienten unabhängige Anbindung von Mobilgeräten an zentrale Infrastrukturen gegeben sein.

Zu den wesentlichen vernetzten und zukunftsweisenden Anwendungen im Bereich Gesundheit gehört die Prädiktion für bevölkerungsbezogenes Gesundheitsmanagement, die zunehmend mit IuK-Technologien aus dem Bereich Big Data und Internet der Dinge (IoT) ermöglicht wird. IuK-Technologien bilden das Fundament und den Katalysator für die (Big Data-)Analyse der aggregierten Gesundheitsdaten, angewandt auf chronische Krankheiten wie Diabetes, Asthma, Herzerkrankungen etc. Versicherungen und Erstattungsbehörden können die Analysen für künftige Kostenberechnung verwenden (maßgeschneiderte Versicherungskosten).

Auch die computer- und robotergestützte Fernchirurgie mittels Fernübertragung und -steuerung von chirurgischen Eingriffen hat das Potenzial, die Verfügbarkeit von chirurgischem Know-how für schwierige oder seltene Operationen auch an entfernten Standorten zu gewährleisten und die chirurgische Ausbildung weltweit zu verbessern.

Der Austausch von Gesundheitsdaten zwischen den unterschiedlichen Akteuren, die bei der Pflege von Patienten tätig sind, erlaubt eine signifikante Effizienzsteigerung bei der Koordination von Pflegediensten. Ein verteilter Zugriff auf telemedizinisch überwachte Gesundheitsdaten erlaubt schnelle und gezielte Hilfe.

Beispiele aus dem Bereich des umgebungsunterstützten Wohnens (ambient assisted living) erlauben eine Vermeidung von lebensbedrohlichen Situationen mittels Heimüberwachung von Vitalfunktionen, Verabreichung von Arzneimitteln aus der Ferne und Nutzung von Pflegerobotern für Pflegemaßnahmen und Aufgaben im Haushalt von Patienten.

2.4.3.3 Netzbedarfsanalyse zukünftiger Anwendungsszenarien

Anwendungsszenarien für datenintensive Kommunikation im Gesundheitswesen werden aus der sich rasant entwickelnden Technologie, aus Erfordernissen der Aufrechterhaltung einer qualitativ hochwertigen, bezahlbaren Gesundheitsversorgung und aus wettbewerblichen Notwendigkeiten getrieben. Nachfolgend wird für jede dieser Kategorien ein Anwendungsszenario skizziert.

Technologie als Treiber: Immer leistungsfähigere und kleinere Sensorik wird dazu führen, dass perspektivisch viele Körperflüssigkeiten durch in Alltagsgegenstände des Patienten integrierte Geräte kontinuierlich gemessen werden kann. Bereits heute sind Technologien verfügbar, die über Kontaktlinsen Blutzucker aus der Augenflüssigkeit messen [ÄrzteZeitung2014], über optische Verfahren Vitalwerte aus dem kapillaren Blutfluss erfassen, Laborwerte über Sensoren in der Toilette erheben [Bild2016] und Heilungsverläufe nach einer Herz-OP über Sensoren in implantierten Stents [Finus2013] überwachen. Abhängig vom medizinischen Szenario und der Leistungsfähigkeit der verbauten Stromquellen werden hierdurch in Messfenstern von bis zu einer Sekunde kontinuierlich Daten an einen persönlichen Hub (üblicherweise das Smartphone) übertragen und von dort zur Speicherung und Auswertung in zentrale Infrastrukturen eingespeist. Auch wenn die einzelnen Datenpakete sehr klein sind, entsteht alleine durch die Anzahl der potenziell angebundenen Personen ein hohes und vor allem kontinuierliches Datenvolumen.

Versorgungskonzepte als Treiber: Auf Basis der regulativen Grundlagen des deutschen Gesundheitswesens kommt Ärzten eine besondere Bedeutung zu, da viele Entscheidungen in Diagnostik und Therapie ausschließlich ihnen vorbehalten sind. Durch die abnehmende Arztdichte in ländlichen Gebieten, reduzierte Praxiszeiten im niedergelassenen Bereich und gleichzeitig einen zunehmenden Bedarf durch die demografische Entwicklung werden vielerorts bereits Versorgungsmodelle erprobt, die auf einen effizienteren Einsatz der knapper werdenden „Ressource“ Arzt abzielen. Eine besondere Bedeutung kommt hier Videokonferenzen, Videokonsilen und -konsultationen zu, über die ärztliche Expertise und Entscheidungsbefugnis zeit- und ortsunabhängig verfügbar gemacht werden kann (zu Szenarien und Einschränkungen siehe [Bundesärztekammer2015]). Beispiele aus dem Ausland zeigen, dass auf diesem Wege „einfache Fälle“ niederschwellig z. B. in der Apotheke bedient werden können (siehe z. B. Telekonsultationen zwischen Apothekern und Ärzten in der Schweiz über NetCare [pharmaSuisse2014]), oder Portalmodelle zur Steuerung des Zugangs zu teuren Ressourcen wie z. B. stationären Einrichtungen umsetzbar sind.

Wettbewerb als Treiber: Diskussionen zur Zukunft der Forschung im Gesundheitswesen kreisen oftmals um den Begriff „Big Data“. Gerne wird hier das Beispiel des Deutschen Krebsforschungszentrums bemüht, in dem durch Gensequenzierungen täglich eine mit dem weltweiten Datenaufkommen von Twitter vergleichbare Datenmenge entsteht. Ebenso interessant für die Forschung sind jedoch auch Gewebedaten, Bilddaten, Biomarker und durch alltägliche Sensorik erfasste Kontextdaten. Spitzenforschung wird im internationalen Wettbewerb immer stärker davon abhängen, dass diese – jeweils für sich schon extrem

umfänglichen Daten – in geeigneter Form aus verschiedenen Quellen zusammengebracht, integriert und analysiert werden können. Diese Integration wird vor dem Hintergrund von Daten als Kapital oftmals virtuell und/oder temporär erfolgen, wodurch ein hohes Datenaufkommen zwischen forschenden Einrichtungen entstehen wird.

SZENARIO 1: Monitoring von Vitaldaten

Die Netzanforderungen, die aus einem unmittelbar an Personen durchgeführten Monitoring von Vitaldaten resultieren, hängen von einer Vielzahl von fachlichen Parametern und der technischen Umsetzung entsprechender Lösungen ab. Beispielsweise hängt die Verfügbarkeitsanforderung nicht nur an der Kritikalität der erfassten Daten, sondern auch daran, inwieweit bei Nichtverfügbarkeit des Internets lokale Auswertelgorithmen auf dem Mobiltelefon des Betroffenen zumindest rudimentäre Funktionalitäten auch in einem Offline-Betrieb aufrechterhalten können. Hierbei sind natürlich auch wechselseitige Effekte zu erwarten: Je verfügbarer das Netz ist, desto mehr werden Hersteller auf dezentral auf Mobilgeräten laufende Auswertelogik verzichten und diese Funktionalität vorrangig zentral realisieren. Je mehr in Bezug auf die Aufrechterhaltung von Gesundheit und Patientensicherheit kritische Anwendungen auf diese Weise realisiert werden, desto mehr steigen auch die Verfügbarkeitsanforderungen an.

Die Markierungen in der nachfolgenden Tabelle geben vor diesem Hintergrund den Bereich an, der zumindest für die nächsten zwei bis drei Jahre das – auf Grund der Funktionalitäten typischer Monitoring-Lösungen – wünschenswerte Leistungsspektrum der relevanten Parameter darstellt.

Abbildung 13: Anwendungsszenario „Monitoring von Vitaldaten“



Defizite in der Verfügbarkeit können zumeist für eine moderate Zeitspanne durch (redundante) lokale Funktionalität ausgeglichen werden. Dennoch ist im Falle des Monitorings von lebenskritischen Vitalzeichen eine sehr hohe Verfügbarkeit erforderlich. Selbst die gewählte Qualitätsklasse 5 (99,999%) kann hier nur auf einen Monat angewandt werden, was max. 26 s Nichtverfügbarkeit bedeutet (für ein Jahr ergäben sich bis zu 5 min Nichtverfügbarkeit).

Da die übermittelten Datenpakete klein sind, sind die Anforderungen an die Bandbreite moderat. Um jedoch perspektivisch die Periodizität gemessener Daten zu erhöhen, muss die Bandbreite ausreichen, um eine Stauung bei der Datenübertragung zu vermeiden. Die Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit sind extrem kritisch zu sehen. Die Gewinnmargen für Anbieter sind aktuell extrem gering (wenn überhaupt Gewinne gemacht werden) und Geschäftsmodelle orientieren sich zunehmend an einer nutzungsorientierten Bezahlung, so dass vor allem die Fixkosten für Anbieter gegen Null gehen müssen.

Eines der größten Probleme mobiler Monitoring-Lösungen ist nach wie vor die geringe Lebensdauer der Batterien. Je weniger Energie für die Datenübermittlung verbraucht wird, desto leistungsfähiger sind die Geräte in ihren medizinischen Merkmalen.

Das Monitoring von kritischen Vitaldaten muss Geschwindigkeiten von deutlich über 100 km/h (z. B. in Zügen und auf Autobahnen) unterstützen. Von einer Nutzung auf Massenveranstaltungen wurde hier abgesehen, dafür wurde von einer urbanen Bevölkerungsdichte von 4.000 Personen/km² ausgegangen.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 11: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Vitaldaten-Monitoring

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	sehr hoch	Unbefugter Zugriff auf Gesundheitsdaten muss unbedingt vermieden werden.
Netzwerkmanagement	dynamisch	Dynamisches Netzwerkmanagement für Sicherheitsanforderungen und Energieeffizienz.
Wirtschaftlichkeit	hoch	Gewinnmargen für Anbieter sind aktuell extrem gering.
Offenheit	hoch	Offener Zugang zu Diensten Dritter und zwischen unterschiedlichen Geräten muss sichergestellt sein.
Ressourcen-/Energieeffizienz	hocheffizient	Mobile Monitoring-Lösungen haben für gewöhnlich nur sehr begrenzte Lebensdauer der Batterien.

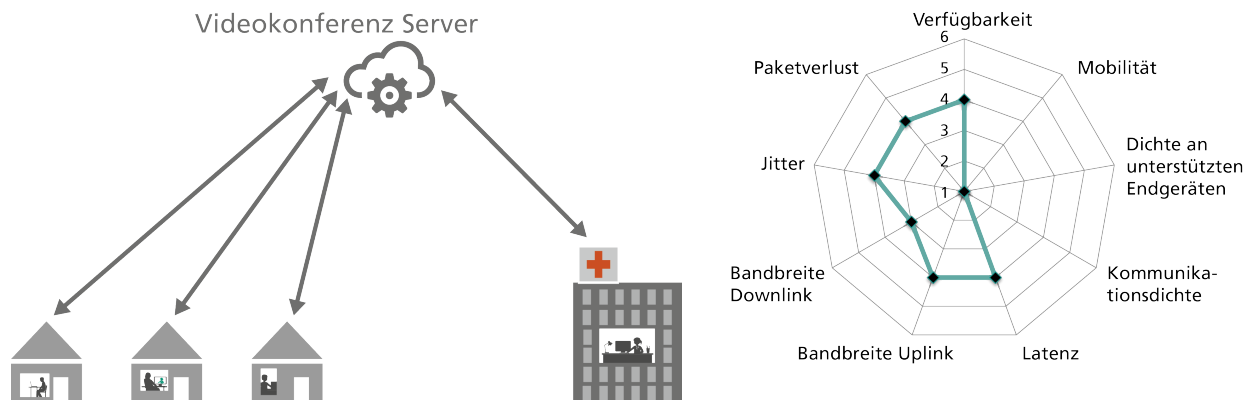
Anwendungsbeispiele:

Projekte zur telemedizinisch unterstützten Patientenversorgung sind bereits heute insbesondere in ländlichen Gebieten zu finden. Über ein Telemedizinzentrum an der Berliner Charité werden im Rahmen des Fontanenetzes Herzdaten von Risikopatienten aus Nordbrandenburg kontinuierlich überwacht [Charité2016]. In einem Pilotprojekt an den Ruppiner Kliniken werden Daten aus einem am Patienten getragenen Langzeit-EKG mit Kontextdaten aus Wearables in einer kommerziellen Cloud zusammengeführt und ausgewertet. Machine Learning-Verfahren unterstützen dabei die individuelle Einordnung der erhobenen Daten [Caumanns2016]. In ländlichen Regionen Bayerns können Kliniken Schlaganfallpatienten durch Videokonferenzen mit speziell ausgerüsteten Stroke Units schneller und besser versorgen und so die Risiken von Folgeschäden verringern [Boehringer2016].

SZENARIO 2: Videokonferenzen, Videokonsile und Videokonsultationen

Videokonferenzlösungen sind bereits heute in Kliniken im Einsatz, um z. B. eine Kommunikation zwischen verschiedenen Standorten zu realisieren. Die nachfolgend dargestellten Anforderungen basieren vorrangig auf neuen Anwendungsfällen einer videobasierten Zusammenarbeit von Krankenhäusern verschiedener Versorgungsstufen. Hier kann z. B. ein Haus der Grundversorgung die fachärztliche Expertise eines Schwerpunkt- oder Maximalversorgers über geeignete Videoanwendungen in Entscheidungen zur weiteren Versorgung eines Patienten einbeziehen.

Abbildung 14: Anwendungsszenario „Videokonferenzen, -konsile und -konsultationen“



Wichtig ist die Umsetzung von Anforderungen zur Sicherstellung einer geplanten Videokommunikation. Die teilnehmenden Ärzte sind „teure Ressourcen“ von geringer Verfügbarkeit, d. h., der Ausfall einer geplanten Videokonferenz auf Grund von unzureichender Netzwerkkapazität bzw. Verfügbarkeit ist nicht akzeptabel. Neben dem Videosignal müssen parallel auch Daten von Medizingeräten allen Teilnehmern über den Kommunikationskanal zur Verfügung gestellt werden können. Hieraus ergeben sich hohe Anforderungen an die Offenheit. Das Szenario geht von einer nichtmobilen Teilnahme an den Videokonsilen aus, die jedoch auch über mobile Netze ermöglicht werden sollte.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle 12 zu finden.

Tabelle 12: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Videokonferenzen, -konsile und -konsultationen

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	hoch	Hoher Schutzbedarf auf Grund sensibler Informationen.
Netzwerkmanagement	wenig flexibel	Dynamisches Netzwerkmanagement auf Grund moderater Anforderungen nicht erforderlich.
Wirtschaftlichkeit	moderat	Hochwertige Anwendung, aber Nutzung meist über Pauschaltarif-Festnetzanbindung möglich.
Offenheit	hoch	Daten verschiedener Medizingeräte müssen übertragen werden können.
Ressourcen-/Energieeffizienz	gering	Typischerweise werden Konferenzlösungen im Heimbereich genutzt (ausreichende Energieversorgung).

Anwendungsbeispiele:

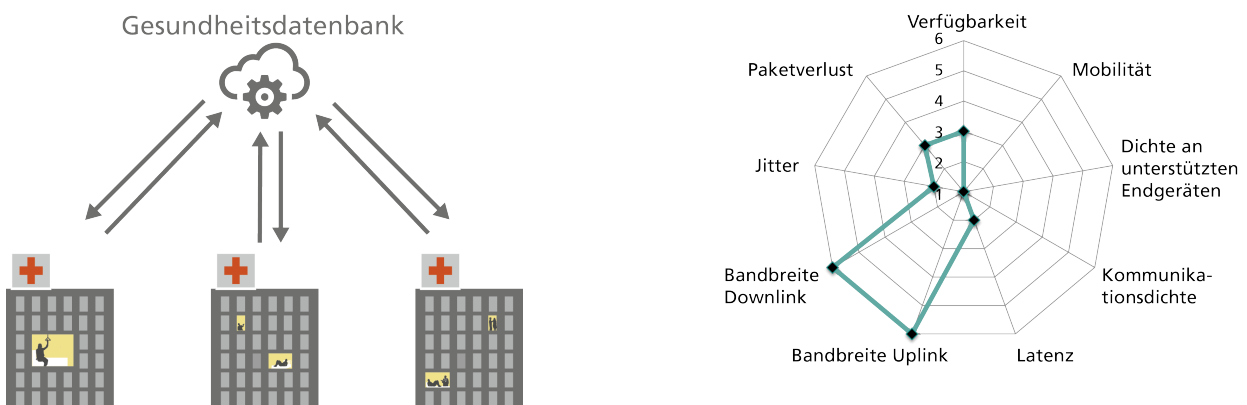
Auch im Bereich der Vorsorge, Pflege und Rehabilitation sind vielfältige Szenarien denkbar, die durch den Einsatz von Breitbandiger Vernetzung der Akteure an Effizienz gewinnen können. Nach einem Schlaganfall oder Unfall werden Reha-Patienten sowohl in vorgegebenen Bewegungsübungen als auch im Alltag durch Video und Bewegungs-/ Lagesensoren überwacht. Durch unmittelbare Rückmeldung zum Therapieerfolg und Datenaustausch mit Therapeuten ist eine optimale Individualisierung der Therapie möglich [FOKUS2013]. Eine Studie aus Österreich hat gezeigt, dass eine vernetzte Schwarmintelligenz bei der Bewertung von hellem Hautkrebs durch die Bereitstellung von Bilddaten und die Befundung durch mehrere Ärzte zu einer genaueren Diagnose führt [MUG2016].

SZENARIO 3: Gesundheitsdatenbank

Kern dieses Szenarios in Bezug auf die erforderlichen Netzwerkleistungen ist die Übermittlung sehr großer Datenmengen aus verschiedenen dezentralen Einrichtungen in ein zentrales Big Data-Center, siehe Abbildung 15. Der Kommunikationsbedarf entsteht zwar nur sporadisch (z. B. einmal pro Tag und Einrichtung); dann müssen jedoch sehr große Datenmengen zuverlässig übertragen werden können.

Da es sich bei den übermittelten Daten um Gesundheitsdaten handelt, die potenziell erst im Big Data-Center pseudonymisiert oder anonymisiert werden, muss die genutzte Kommunikationsstrecke höchsten Anforderungen an eine Vertraulichkeit der übermittelten Daten genügen. Auch Verfälschungen von Daten und Datenverluste sind unbedingt zu vermeiden.

Abbildung 15: Anwendungsszenario „Gesundheitsdatenbank“



Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle 13 zu finden.

Während Latenzen (und Jitter) für die Übertragung zu und zwischen Rechenzentren eine untergeordnete Rolle spielen, und sich Paketverluste durch entsprechende Protokolle korrigieren lassen, spielen Bandbreiten eine große Rolle. Abhängig von den ausgetauschten Daten können moderate bis erheblich große Bandbreiten erforderlich sein. Sollten beispielsweise Daten bildgebender Verfahren wie Magnetresonanztomographie bzw. Computertomographie übermittelt werden, so werden pro Patient Datenmengen in der Größenordnung von Terabytes übermittelt.

Tabelle 13: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Gesundheitsdatenbank

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	sehr hoch	Kommunikationsstrecke muss höchsten Anforderungen an Vertraulichkeit der übermittelten Daten genügen.
Netzwerkmanagement	wenig flexibel	Dynamisches Netzwerkmanagement auf Grund eher statischer Verbindungen zwischen Rechenzentren nicht unbedingt erforderlich.
Wirtschaftlichkeit	moderat	Rechenzentren für gewöhnlich mit ausreichenden Bandbreiten an die Netzinfrastruktur angeschlossen.
Offenheit	moderat	Unterstützung verschiedener Schnittstellen und Datenformate notwendig.
Ressourcen-/Energieeffizienz	gering	Energieversorgung der Rechenzentren sollte für gewöhnlich sichergestellt sein.

Anwendungsbeispiele:

Zu den Beispielen für den Nutzen von Big Data-Analysefunktionen für Gesundheitsdatenbanken zählen die Möglichkeiten zur verteilten Diagnostik (mehrere, verteilte Experten analysieren bestimmte Fälle und beraten ortsunabhängig) oder eine überregionale, frühzeitige Seuchenerkennung.

2.4.3.4 Ausblick

Tragbare Medizingeräte wie Herzschrittmacher oder Langzeit-EKG senden Daten oftmals nur in sehr großen Zeitabständen und/oder über stationäre Übermittlungsgeräte, um die verfügbare Energie soweit wie möglich für die Datenerfassung nutzen zu können. Auch werden in Wearables bestimmte Sensoren nur temporär aktiviert, um die Lebensdauer einer Batterieladung zu maximieren. Jeder Fortschritt in der Entwicklung leistungsfähiger und/oder einfach im Betrieb aufladbarer Batterien eröffnet neue Möglichkeiten für tragbare Medizingeräte und Wearables, die sich unmittelbar in einer häufigeren Datenerfassung und -übermittlung niederschlagen. Auch die Verfügbarkeit von Netzen mit geringer Latenz beim Verbindungsaufbau und minimalem Protokoll-Overhead erlaubt eine höhere Datenrate bei gleichem Stromverbrauch. Hierdurch wird sich der bei Wearables und Lifestyle-Devices feststellbare Trend zur Integration von immer mehr und leistungsfähigeren Sensoren verstärken [Jurran2015].

Im B2B-Bereich ist die „letzte Meile“ in die Vielzahl der Gesundheitseinrichtungen (insb. Arztpraxen und Apotheken) hinein immer noch eine große Hürde für regionale Gesundheitsnetze, da sich hier die Anforderungen an eine sichere Übertragung unmittelbar in Investitionskosten und Betriebsaufwände übersetzen lassen. Mit der flächendeckenden Verfügbarkeit der Telematikinfrastruktur und der daran gebundenen Sicherheitsobjekte (insb. SMC-B) wird sich dieses Problem weitgehend auflösen, so dass potenziell bereits geringe Prozessvorteile durch den Einsatz von vernetzter IT auch wirtschaftlich realisierbar sind.

Wesentliche Anforderungstreiber für eine stärkere Vernetzung im Gesundheitswesen (wie z. B. die demografische Entwicklung und die Ausdünnung des Leistungsangebots kleiner Krankenhäuser) sind seit vielen Jahren bekannt und zu beobachten. Dennoch hat dies nicht dazu geführt, dass, über die schon lange etablierten Anwendungen zur Abrechnung und Radiologie hinaus, in signifikantem Maße neue, vernetzende IT-Lösungen im Gesundheitswesen entstanden wären. Vielmehr finden fast alle größeren Vernetzungsaktivitäten (Metropolregion Rhein-Neckar, Pomerania, Carus Consilium Sachsen, etc.) und Telemedizin-Projekte im Kontext von öffentlichen Förderprojekten statt und bewegen sich damit außerhalb der für Nachhaltigkeit relevanten bestehenden Finanzierungsmodelle des ersten Gesundheitsmarkts. Auch die strikten Regularien der Zulassung zur Regelfinanzierung sowie die starke Abschottung bestehender IT in Praxen und Krankenhäusern bedingen, dass Innovationen im Gesundheitswesen deutlich länger als in anderen Branchen benötigen, um in der Fläche verfügbar zu sein. Darum kann eine Prognose hinsichtlich der kurzfristigen Entwicklung nur zu dem Schluss kommen, dass es so bleiben wird wie es ist.

Mittelfristig besteht die Hoffnung, dass Maßnahmen wie der Innovationsfonds oder das Medizininformatik-Programm des BMBF nicht nur dringend erforderliche Investitionen in den Aufbau von vernetzten Versorgungsangeboten ermöglichen, sondern insbesondere durch die Einbeziehung von Kostenträgern auch zur schnelleren Überführung von Good Practices in die GKV-finanzierte Regelversorgung beitragen können. Dies ist vor allem wichtig, da viele IT-Lösungen im Gesundheitswesen auf Netzwerkeffekten beruhen, d. h., nur dann einen Nutzen entfalten, wenn viele daran teilnehmen bzw. ein sektorübergreifender Ausgleich von Kosten und Nutzen möglich wird. Die extremen Steigerungsraten im zweiten Gesundheitsmarkt dürfen hier nicht darüber hinwegtäuschen, dass dieser bei Weitem zu klein ist, um einen sich selbst durch Netzwerk- und Skaleneffekte verstärkenden Markt für vernetzte IT-Lösungen im Gesundheitswesen zu schaffen.

Die gesellschaftlichen Erfordernisse einer stärkeren Nutzung von Telemedizin, einer sicheren Infrastruktur zur Einbindung von Bürgern in gesundheitsfördernde IT-Lösungen und eines elektronischen sektoren-

übergreifenden Datenaustauschs sind seit Langem bekannt und weitgehend unstrittig (siehe z. B. die jährlichen Berichte des Sachverständigenrats im Gesundheitswesen). Neben unklaren Finanzierungsmodellen dieser Lösungen innerhalb der Regelversorgung verhindern vor allem die durch Krankenhäuser und/oder regionale Gesundheitsnetze zu tragenden Einstiegsinvestitionen spürbare Fortschritte in der Vernetzung im Gesundheitswesen. In der Fläche verfügbare sichere Netze sind hierbei jedoch eher ein nachgelagerter Aspekt, da die meisten Ansätze bereits an Fragen der mangelnden Interoperabilität und fehlenden offenen Schnittstellen der bestehenden IT-Systeme scheitern. Aktuell sind die Kosten für Anpassungen und Erweiterungen bestehender Systeme als Voraussetzungen für einen Austausch von Gesundheitsdaten über Einrichtungen hinweg so hoch und in der Umsetzung mit solchen Kostenrisiken behaftet, dass alle anderen Fragestellungen dahinter zurückstehen. Deshalb können die (bislang nicht umgesetzten) Vorgaben des Koalitionsvertrags zur Öffnung von IT-Systemen im Gesundheitswesen, der sich immer wieder verzögernde Aufbau einer nationalen Telematikinfrastruktur sowie die partielle Umsetzung der Empfehlungen der „Planungsstudie Interoperabilität“ im E-Health-Gesetz nur der Anfang einer politisch forcierten und grundlegenden Modernisierung der IT-Infrastrukturen in den Einrichtungen des Gesundheitswesens sein. Hier werden seitens der Politik weitere Maßnahmen erforderlich sein, um überhaupt einmal dahin zu kommen, dass die Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Austausch von Daten zwischen Einrichtungen des Gesundheitswesens vorhanden sind. Neben der Herstellung von Offenheit und Interoperabilität muss hierbei in Bezug auf zu schaffende Netze vor allem Klarheit darüber geschaffen werden, wie die Möglichkeit der Ankopplung weiterer Netze an die Telematikinfrastruktur (z. B. Netz der Kassenärztlichen Vereinigungen) perspektivisch zu einer dennoch einheitlichen Dienstgüte auf einer festzulegenden Dienstschicht führen kann. Erfolgt dies nicht, bleiben der Aufbau regionaler Gesundheitsnetze und der Ausbau bestehender Infrastrukturen zur Nutzung im Gesundheitswesen mit erheblichen Investitionsrisiken behaftet.

2.4.4 Industrie

2.4.4.1 Das verarbeitende Gewerbe in Deutschland

Das verarbeitende Gewerbe ist in Deutschland einer der bedeutendsten Wirtschaftszweige. Hierzu tragen neben den großen Unternehmen überwiegend kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) bei. Die gut ausgebildeten Fachkräfte sind die Basis für einen innovativen und international wettbewerbsfähigen Mittelstand. 95% aller Unternehmen in Deutschland sind kleinere und mittlere Unternehmen (KMU), davon sind allein ca. 690.000 dem produzierenden Gewerbe zuzuordnen. Zu den umsatzstärksten Branchen im verarbeitenden Gewerbe Deutschlands zählen die Kraftwagen und Kraftwagenteile, Maschinenbau und chemische Erzeugnisse. Mit ca. 5,36 Mio. Beschäftigten und einem Gesamtjahresumsatz von fast 1,7 Billionen Euro im Jahr 2015 [BMWi2016a] trägt das verarbeitende Gewerbe wesentlich zum Bruttoinlandsprodukt Deutschlands bei. Diverse nationale (Industrie 4.0) und internationale (IIC) Initiativen unterstreichen den aktuellen Handlungsbedarf zur Digitalisierung in der Produktion und Logistik. Ziel ist hierbei ein ganzheitlicher Ansatz zur Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette von Produkten in Verbindung mit Menschen, Objekten und Systemen. Für den Produktionsstandort Deutschland sind „intelligente Fabriken“ bzw. die technologische Evolution in Richtung einer Industrie 4.0 von größter Bedeutung, da sie es erlauben sollen, mittels hochautomatisierter, hochflexibler und ressourceneffizienter Produktion individuelle Produkte nahezu zu den Kosten traditioneller Massenfertigung herzustellen.

Im Jahr 2015 betrug der Anteil der Bruttowertschöpfung des produzierenden Gewerbes (ohne Baugewebe) 25,8% und belegte damit den zweiten Platz nach dem Dienstleistungsgewerbe [Statista2015].

Laut Visiongain lag der weltweite Umsatz an industriellen Internet-der-Dinge-Produkten (engl. Industrial Internet oder Industrial Internet of Things, IIoT) im Jahre 2015 bei ca. 244 Mrd. US-Dollar und wird bis 2025 auf 2.200 Mrd. US-Dollar auf das Neunfache anwachsen, wobei die Luft-, Raumfahrt-, Verteidigungs-, Automobil-, Energie- und Produktionsbranchen zu den größten Nutzern von Industrial IoT-Technologien

gehören. In Deutschland lag der Umsatz an IIoT-Produkten im Jahr 2015 bei 7,1 Mrd. US-Dollar und wird bis 2025 auf 54,3 Mrd. US-Dollar stark anwachsen [Visio2015]. Am Standort Deutschland wird durch Industrie 4.0-Lösungen zwischen 2013 und 2025 im Maschinen- und Anlagenbau, bei der Produktion von Kraftwagen- und Kraftwagenteilen, elektrischen Ausrüstungen, der chemischen Industrie, der IKT-Branche und der Landwirtschaft eine kumulierte Produktivitätssteigerung von 23%, das sind 78,77 Mrd. Euro, erwartet (eine 11,5-prozentige Produktivitätssteigerung mit 267 Mrd. Euro im verarbeitenden Gewerbe insgesamt). Für die Gesamtbruttowertschöpfung in Deutschland wird mit einem Gesamtpotenzial von 267,45 Mrd. Euro bis zum Jahr 2025 gerechnet [Bauer2014]. Basierend auf einer Bitkom-Studie wird auf Grund von Aggregation und Vernetzung verfügbarer Informationen allein im Maschinen- und Anlagenbau ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial von 23 Milliarden Euro (2,2% pro Jahr bis 2025) erwartet [Bauer2014].

Die Industrienationen Westeuropas haben in den letzten beiden Jahrzehnten über 10% Marktanteil verloren (von 36% auf 25%). 40% der weltweiten Produktion findet mittlerweile in Schwellenländern statt [Dujin2014]. Um diesem Trend entgegenwirken zu können, wird die Digitalisierung und Vernetzung in der industriellen Produktion mittels aktueller Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnologie eine wesentliche Rolle spielen. Die Sicherung der zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit wird nur durch eine verbesserte Wandlungsfähigkeit, Effizienzsteigerung und Flexibilität der Produktionsbetriebe gelingen.

Für den Produktionsstandort Deutschland sind „intelligente Fabriken“ bzw. die technologische Evolution in Richtung „Industrie 4.0“ von größter Bedeutung, da sie es erlauben sollen, mittels hochautomatisierter, hochflexibler und ressourceneffizienter Produktion individuelle Produkte annähernd zu den Kosten traditioneller Massenfertigung herzustellen. Dies wird nur unter der Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette gelingen, vom Rohmaterial, der Logistik, der eigentlichen Produktion bis zum Betrieb von „smarten“ Produkten (After-Sales-Markt, Predictive Maintenance) und deren Entsorgung. Für die Konkurrenzfähigkeit von „Made in Germany“-Produkten sind Industrie 4.0-Technologien und entsprechende nationale wie internationale Initiativen von großer Bedeutung.

2.4.4.2 Vernetzte Anwendungen im verarbeitenden Gewerbe

Ziel der Industrie 4.0-Initiativen ist ein ganzheitlicher Ansatz zur Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette von Produkten in Verbindung mit Menschen, Objekten und Systemen.

Steigende Produkt- und Prozesskomplexität sowie verkürzte Markt- und Technologiezyklen stellen die fertigende Industrie vor neue Herausforderungen. In der Vergangenheit wurde häufig in Automatisierungs- und Informationstechnik nicht die gleiche Sprache gesprochen, was zu heterogenen Netzen und proprietären Insellösungen führte.

Die Konvergenz von Netzen bedarf einheitlicher Verbindungen und Protokolle, wobei die Anforderungen an industrielle Netzwerke wie Determinismus und Echtzeitfähigkeit berücksichtigt werden müssen. Diese evolutionäre Entwicklung wird mit Netzwerktechnologien (bspw. Ethernet-basierte Feldbusse/ Industrial Ethernet) bereits erfolgreich produktiv eingesetzt. Kabelgebundene Vernetzung ist derzeit Standard in der Produktion. Zunehmend wird an industrietauglichen, robusten Funktechnologien geforscht, welche eine flexible und echtzeitnahe Steuerung von Fertigungsanlagen erlauben sollen.

Weiterhin bedarf es einer vertikalen Integration innerhalb von Unternehmen über alle Hierarchieebenen von Produktionsbetrieben hinweg. Letztlich müssen physische Dinge mit Geschäftsprozessen vernetzt werden, um den Grundstein für Flexibilität und Wandelbarkeit in Betrieben zu legen. Darüber hinaus wird es vermehrt zur unternehmensübergreifenden Vernetzung von Produkten und Prozessen sowie Fertigungsbetrieben kommen.

Bei der digitalen Vernetzung in der verarbeitenden Industrie ist die Standardisierung von Datenformaten und Informationsmodellen essentiell. Nur so ist es möglich, dass herstellerunabhängig und branchenübergreifend Informationen ausgetauscht werden können, was die Grundlage für innovative Geschäftsmodelle und neue Dienstleistungen darstellt. Dabei dürfen IT-Sicherheit und Datenschutz nicht vernachlässigt werden, sondern müssen schon beim Design und der Entwicklung von Produkten und Systemen berücksichtigt werden.

Vernetzte Informations- und Kommunikationssysteme spielen in der gesamten Wertschöpfungskette eine maßgebliche Rolle, von der Produktentwicklung und Fabrikplanung über die innerbetriebliche Logistik, Produktionsplanung und Steuerung, die Instandhaltung und das Qualitätsmanagement bis hin zu Supply-Chain-Management- und After-Sales-Service-Angeboten. Obwohl derzeit auf Grund der hohen Anforderungen (bzgl. Dienstgüte, Sicherheit und Zuverlässigkeit) zumeist lokale Lösungen (also IT-Infrastrukturen in der Produktionsanlage) genutzt werden, geht der Trend zu externen cloud-basierten Lösungen. Diese erlauben es v. a. auch dem Mittelstand, ohne signifikante Vorabinvestitionen Industrie 4.0-Anwendungen zu nutzen. Zur Nutzung von Cloud-Lösungen bedarf es jedoch in vielen Fällen einer erheblichen Verbesserung der Anbindung des Standorts an die jeweilige Netzinfrastruktur.

Im Folgenden werden einige Beispiele für innovative, vernetzte Anwendungen aus dem Bereich Industrie 4.0 gegeben (vgl. [Roland2016]):

Virtuelle Fabriken nutzen moderne Informations- und Kommunikationstechnologien, um aus einem Verbund von teilnehmenden, heterogenen Unternehmen mit unterschiedlichen Kompetenzen ad-hoc eine temporäre Fabrik zu formieren. Dies erlaubt die effiziente Realisierung zeitlich befristeter Produktionen.

Social Machines können voneinander lernen und melden, wann sie verfügbar sind oder Wartungsprozesse notwendig werden. Ähnlich wie in sozialen Netzwerken findet hierbei der Austausch direkt mit anderen Maschinen und dem gesamten Mitarbeiterteam statt. Mitarbeiter, die den Auftrag übernehmen können, teilen dies sowohl der Maschine als auch den Kollegen mit.

Vorausschauende Instandhaltung erlaubt eine verbesserte Vorhersage von Maschinenausfallzeiten und damit eine vorausschauende Wartung. Dadurch wird sichergestellt, dass Maschinen hochverfügbar bleiben und Unterbrechungen in der Produktion vermieden werden. Das unterstützt neue Geschäftsmodelle, bei denen weniger die Maschinen selbst als die Maschinenarbeitsleistung (als Dienst, mit entsprechenden Dienstgütevereinbarungen) vertrieben werden.

Augmented Reality-Assistenzsysteme (AR-Systeme) haben für die zukünftige Produktion ein großes Potenzial, nicht nur zur Effizienz- und Qualitätssteigerung, sondern auch zur Prozessoptimierung. Eine schnellere und effizientere Einarbeitung in neue Arbeitsprozesse wird durch Nutzung geeigneter Anzeigeräte (z. B. AR-Brillen) ermöglicht, durch die die Einzuarbeitenden Schritt für Schritt durch den Arbeitsvorgang geleitet werden. Aber auch während der Ausführung können Mitarbeiter in der Produktion durch AR unterstützt werden, nächste Schritte, Werkzeuge und Anleitungen angezeigt, Ausführungsfehler erkannt und Werkzeuge (z. B. Drehmomente und Aufsätze von Schraubendrehern) vorkonfiguriert werden.

2.4.4.3 Netzbedarfsanalyse zukünftiger Anwendungsszenarien

SZENARIO 1: Assistenzsysteme mittels erweiterter Realität

Augmented Reality-Assistenzsysteme (AR-Systeme) haben sowohl bei der Effizienz- und Qualitätssteigerung wie auch bei der Prozessoptimierung für die zukünftige Produktion ein großes Potenzial. Geeignete Anzeigeräte (z. B. AR-Brillen) ermöglichen eine schnellere und effizientere Einarbeitung in neue Arbeitsprozesse. Dabei können die einzuarbeitenden Facharbeiter Schritt für Schritt durch den

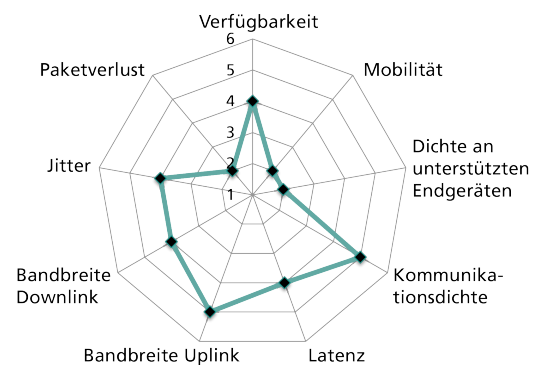
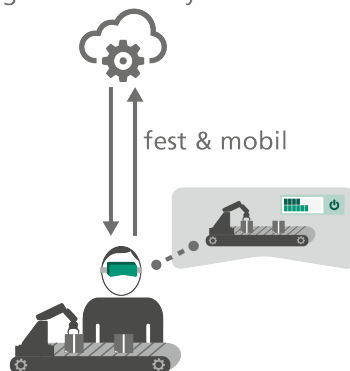
Arbeitsvorgang geleitet werden. Sie erlernen somit die notwendigen Produktionsschritte in einer erweiterten Realität, siehe Abbildung 16.

Aber auch bei der Reparatur oder Wartung von Industrieanlagen kann AR unterstützen. Basierend auf 3D-Modellen (ein digitales Duplikat der Anlage) können nicht sichtbare bzw. verdeckte Bereiche einer Maschine angezeigt werden. Weiterhin können bestimmte Bauteile, die ausgetauscht werden müssen, farblich markiert oder hervorgehoben werden (vgl. [Mechatronik2016]). Gerade in der fertigen Industrie müssen Standzeiten vermieden werden, da dies die Produktivität verringert. Mit Hilfe von AR-Brillen kann dieser Prozess unterstützt werden, indem dem Servicemitarbeiter relevante Informationen eingeblendet werden. Dies können Statusinformationen (z. B. Verschleiß) von einzelnen Bauteilen sein oder etwa das Visualisieren verdeckter Bauteile. Dabei ist die AR-Brille mit entsprechenden Servern verbunden, auf denen ein digitales Abbild der Maschine sowie die Statusinformationen hinterlegt sind.

Weiterhin ist es denkbar, mittels Augmented Reality (AR) Fernwartungen durchzuführen. Hierbei setzt der Mitarbeiter vor Ort eine Datenbrille auf, welche die Videoinformationen an einen Servicetechniker außerhalb überträgt. Der räumlich getrennte Servicetechniker ist in der Lage, sich remote ein Bild von der aktuellen Situation zu verschaffen, und kann den Mitarbeiter vor Ort direkt anweisen und überwachen. Somit kann die Effektivität innerhalb des Unternehmens durch Verringerung der Standzeiten gesteigert werden und Anreisen der Servicetechniker werden durch die Fernwartung reduziert.

Abbildung 16: Anwendungsszenario „Wartung mittels Augmented Reality-System“

Augmented Reality Server



Das Anwendungsszenario geht von 100 mobilen AR-Arbeitsplätzen aus, beschreibt jedoch in puncto Bandbreiteanforderungen die Anbindung *eines* AR-Arbeitsplatzes (welches in Zukunft mittels des firmeneigenen Festnetzanschlusses, aber auch über mobile Breitbandzugänge, z. B. zukünftige 5G-Zugangsnetze erfolgen kann). Die angegebenen Bandbreiten gehen von einem komprimierten, hochauflösenden HD-Videoformat [Panasonic2015] aus, das mit einer Bildrate von 30 Bildern pro Sekunde (frames per second, fps) ca. 220 Mbit/s, mit einer Bildrate von 60 fps ca. 440 Mbit/s im Uplink benötigt (unkomprimiert würden Datenraten von über 2 Gbit/s notwendig). Im Downlink hängen die Datenraten stark von den einzublendenden Zusatzinformationen ab. Diese sollten jedoch weit geringere Bandbreiten benötigen. Die angegebenen Latenzen im Bereich von 10ms können für netzbasierte AR-/VR-Szenarien noch erträglich sein, stellen aber schon die eindeutige Obergrenze dar (ideal wären Latenzen im Bereich von 1 ms, siehe Grossman2016). Im Falle der Anbindung der AR-Plätze an den firmeneigenen Festnetzzugang (anstelle des mobilen Breitbandzuganges) multiplizieren sich die Anforderungen bzgl. Bandbreiten mit der Anzahl der AR-Arbeitsplätze (bei 100 AR-Arbeitsplätzen werden also zwischen 22–44 Gbit/s Bandbreiten im Uplink benötigt).

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 14: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Wartung mittels AR-Unterstützung

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	hoch	Das Ausspähen von Betriebsgeheimnissen muss auch bei Assistenzsystemen vermieden werden.
Netzwerkmanagement	flexibel	Sichere und leistungsfähige Verbindungen mit sich ändernden Unternehmenspartnern müssen dynamisch hergestellt werden können.
Wirtschaftlichkeit	erheblich	Die Kosten für die Nutzung von netzbasierten Assistenzsystemen müssen auch für KMU tragbar sein.
Offenheit	hoch	Unterschiedliche Assistenzsysteme und entsprechende Dienste müssen frei zugänglich sein.
Ressourcen-/Energieeffizienz	hoch	Der Energieverbrauch von tragbaren Assistenzsystemen ist ein kritisches Kriterium für deren Akzeptanz.

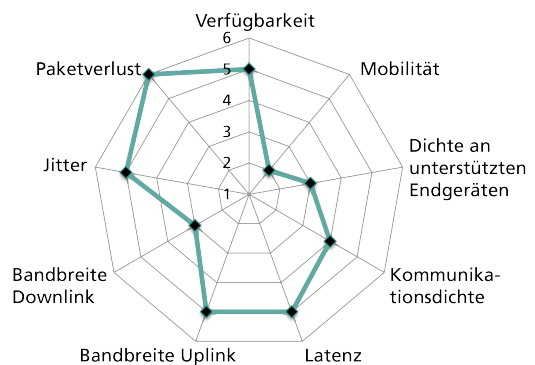
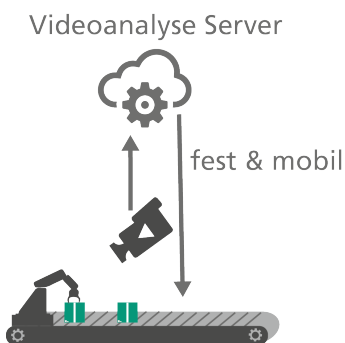
Anwendungsbeispiele:

Mitarbeiter in der Fertigung arbeiten mit Brillen, auf denen Zusatzinformationen zu den jeweiligen Produktionsschritten eingeblendet werden. Die Brillen haben Zugriff auf 3D-Modelle oder Metainformationen von Werkstücken. Dadurch kann der Mitarbeiter z. B. durch farbliche Hervorhebung einzelner Bauteile in den Arbeitsabläufen unterstützt werden. Dies erhöht die Effizienz, optimiert Prozesse und kann zusätzlich dazu dienen, neue Mitarbeiter einzuarbeiten.

SZENARIO 2: Qualitätssicherung mittels cloud-basierter Videoanalyse

Videoanalyse und maschinelles Sehen (engl. Machine Vision) werden im industriellen Umfeld zum Monitoring von Maschinen, zur automatischen Überwachung von Arbeitsprozessen sowie zur Gewährleistung der Betriebssicherheit angewendet. Dabei werden von den Kameras hochauflösende Videoaufnahmen angefertigt und zur Datenverarbeitung an entsprechende Server geschickt, siehe Abbildung 17. In Abhängigkeit von der Bildqualität und Bildwiederholungsraten können sehr hohe Datenmengen anfallen. Diese werden an Videoanalyse- bzw. Auswertungsdienste übertragen, welche automatisch entsprechend reagieren können. Die Datenvorhaltung der Videoinformationen wird typischerweise in Cloud-Infrastrukturen realisiert, welche den hohen Anforderungen der Datenmengen gerecht werden.

Abbildung 17: Anwendungsszenario „Videoanalyse zur Qualitätssicherung“



Für zeitkritische Videoanalyse ist eine echtzeitnahe, niederlatente Kommunikation in vielen Fällen dringend erforderlich, nicht nur, da die Verzögerung direkten Einfluss auf die Geschwindigkeit des Produktionsprozesses hat, sondern im speziellen Fall von „Safety“-Anwendungen auch Menschenleben in Gefahr geraten könnten, wenn Informationen verspätet ankommen. Sehr hohe Verfügbarkeiten sind ebenso erforderlich (Gefahr des Produktionsstillstandes, Sicherheitsrisiken) wie niedrigste Paketverluste, da z. B. kommunizierende SPS-Systeme sensibel auf fehlende oder verzögerte Daten reagieren können. Für die Bandbreiten im Uplink gelten die gleichen Annahmen wie im vorhergehenden Szenario. Die Steuerungsbefehle im Downlink benötigen hingegen eher moderate Bandbreiten. Zumal in den überwiegenden Fällen davon ausgegangen werden kann, dass das Szenario über den Festnetzanschluss der Produktionsstätte realisiert wird, ist es bei voranschreitender Evolution der mobilen Breitbandnetze (5G-Evolution) denkbar. Darum wurden hier auch mobile Parameter angegeben.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 15: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Videoanalyse zur Qualitätssicherung

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	sehr hoch	Unbefugter Einfluss auf Produktionsprozesse muss unbedingt verhindert werden.
Netzwerkmanagement	hochflexibel	Für die Unterstützung von sehr hohen Sicherheits-, Verfügbarkeits- und Datenintegritätsanforderungen mit dynamisch wechselnden Partnern.
Wirtschaftlichkeit	erheblich	Die Kosten für die Nutzung von netzbasierten Videoanalyzesystemen müssen auch für KMUs tragbar sein.
Offenheit	hoch	Unterschiedliche Videoanalyzesysteme und entsprechende Dienste müssen frei zugänglich sein.
Ressourcen-/Energieeffizienz	gering	Energieverbrauch von stationären Videoanalyzesystemen für gewöhnlich kein Problem.

Anwendungsbeispiele:

Für das Qualitätsmanagement in der Fertigung werden hochauflösende Kamerasysteme genutzt, die einzelne Produktionsschritte überwachen und in der Lage sind, Entscheidungen zu treffen. Dabei werden Werkstücke aussortiert, welche den Qualitätsanforderungen nicht entsprechen. Die Videodaten werden an die cloud-basierte Infrastruktur übertragen, welche dann die Analyse durchführt. Basierend auf dem Ergebnis der Videoanalyse werden dann Steuerungsinformationen an die Anlage gesendet.

Weitere Beispiele (vgl. [Venkoparao2009]) kommen aus dem Bereich Petroleumraffinerien, wo mittels Videoanalyse Brennflammen überwacht werden (engl. flare monitoring). Gase, die bei der Petroleumherstellung entstehen, werden zuweilen nicht benötigt und deshalb verbrannt. Über die Größe und Farbigkeit der Flamme können indirekt Rückschlüsse über die aktuelle Effizienz des Raffinerieprozesses gezogen werden, auch können daraus indirekt Gefahrensituationen abgeleitet werden. „Machine Vision“ ermöglicht hier eine deutliche Verkürzung der Reaktionszeiten

2.4.4.4 Ausblick

Laut einer Eurostat-Studie aus dem Jahre 2014 [Gianna2014] nutzen gerade einmal 11% aller deutschen Unternehmen in Deutschland Cloud-computing-Dienste. Im europäischen Vergleich lag man dort weit hinter Dänemark (38%) und Finnland (51%) und sogar unter dem EU 28-Schnitt von 19%. Laut einer Studie von PwC [Geissbauer2014] will die deutsche Industrie (befragt wurden Automobilzulieferer, Firmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau Elektrotechnik/ Elektronik, der Prozessindustrie und der Informations- und Kommunikationsindustrie) bis 2020 jährlich 40 Mrd. Euro in Industrie 4.0-Anwendungen investieren. 80% der befragten Industrieunternehmen wollen bis dahin (2020) ihre Wertschöpfungskette digitalisiert haben.

Die Digitalisierung in der Industrie schreitet mit großen Schritten voran. Professor Tobias Kollman sagt: „Jeder, der sich nicht mit dem Thema Digitalisierung befasst, wird untergehen.“⁵ Das nächste Jahrzehnt wird zeigen, welche Unternehmen die Digitalisierung umsetzen, sich flexibler, wandlungsfähiger und effizienter für die Zukunft aufstellen und welche dies nicht tun. Die netzinfrastrukturelle Befähigung deutscher Unternehmen, cloud-basierte Industrie 4.0-Anwendungen kostengünstig, risikoarm (pay-per-use) und zeitnah in Anspruch nehmen zu können, wird ein erfolgsentscheidendes Kriterium sein. Gerade für den deutschen Mittelstand, für den Investitionen in hochperformante, lokale IT-Infrastrukturen zu kostspielig sind, haben cloud-basierte Industrie 4.0-Lösungen ein großes Potenzial. Die beschriebenen cloud-basierten Assistenzsysteme und Videoanalysesysteme sind nur ein kleiner Teil des deutlich größeren Bildes. Auf Datenanalyse basierende Technologien zur vorausschauenden Instandhaltung ermöglichen schon heute vollkommen neue Geschäftsmodelle. Die Digitalisierung der gesamten Lieferkette ermöglicht signifikante Effizienz- und Ressourcenoptimierungen. Intelligente Produkte, die mit ihren Herstellern auch nach Auslieferung in Kontakt bleiben, erlauben neue Formen des After-Sales-Marktes, neue Formen der Kundenbindung und ein frühzeitiges Erkennen der Nutzungsformen und Akzeptanz der Produkte. Virtuelle Fabriken erlauben es kleinen und mittleren Unternehmen, sich nach Bedarf und ad-hoc zu einer temporären Fabrik zusammenzuschließen. Kollaborative Roboter unterstützen Fabrikarbeiter mit zunehmender Intelligenz. In aktuellen Forschungsprojekten kommen schon vorausschauende Hilfsroboter zum Einsatz, die die nächsten Arbeitsschritte der Werksarbeiter antizipieren. Der sogenannte „digitale Schatten“ einer Produktionsumgebung erlaubt vielschichtige Optimierungen der Produktionsprozesse und liefert ein echtzeitnahes, virtuelles Abbild sämtlicher Prozesse, die von der Leitstelle jederzeit gesteuert konfiguriert werden können.

Dies sind nur einige Beispiele der gerade ablaufenden vierten industriellen Revolution. Die Zukunft wird zeigen, welche dieser sich teilweise erst in der Entwicklung befindenden Konzepte im Massenmarkt angenommen werden. Jedoch spielen IuK-Technologien sicherlich in all diesen Beispielen eine zentrale Rolle, und damit ebenso die Vernetzung und die zukünftig nutzbaren Netzinfrastrukturen.

2.4.5 Öffentliche Verwaltung

2.4.5.1 Die E-Government-Branche in Deutschland

Die öffentliche Verwaltung (ÖV) stellt einen speziellen Markt dar, der wirtschaftsuntypische Charakteristika aufweist. Finanziert durch Steuern ist das primäre Ziel der Verwaltung die Maximierung des Allgemeinwohls durch die Bereitstellung diverser Dienstleistungen. Dabei unterliegt die öffentliche Verwaltung einem hohen

⁵ Prof. Dr. Tobias Kollman, Inhaber des Lehrstuhls für E-Business und E-Entrepreneurship an der Universität Duisburg-Essen, siehe auch <http://www.management-circle.de/blog/interview-mit-tobias-kollmann>.

Sicherheitsbedarf und ihre Handlungen strikten gesetzlichen Regelungen. Die verschiedenen Kommunikationsbedarfe in diesem Markt richten sich zum einen auf Verwaltung und Bürger, zum anderen auf Verwaltung und Wirtschaft und zuletzt auch auf Verwaltungen untereinander.

2015 waren rund 4,65 Mio. Beschäftigte im öffentlichen Dienst tätig. Im Vergleich zum Vorjahr entspricht dies einem Personalrückgang in Höhe von 7.000 Beschäftigten bzw. einem Minus von 0,2%. Die Bundesländer sind für personalintensive Aufgaben wie das Bildungswesen und einen Großteil der Polizei zuständig. Daher ist rund die Hälfte aller Beschäftigten des öffentlichen Dienstes im Landesbereich tätig. Insgesamt ist aber auch hier ein Rückgang der Personalzahlen um 0,4% zu verzeichnen, was zum größten Teil auf Personaleinsparungen im Schulbereich zurückzuführen ist. Auch auf Bundesebene ist die Beschäftigtenzahl rückläufig, hauptsächlich bedingt durch Einsparungen beim Verteidigungsressort. Im kommunalen Bereich fallen für das Personal viele verschiedene Aufgaben in diversen Einrichtungen wie Tageseinrichtungen für Kinder, Ämter der allgemeinen Verwaltung, Ordnungsämter, Krankenhäuser sowie Versorgungs- und Versorgungsbetriebe an. Im kommunalen Bereich kann die Personalstatistik im Vergleich zum Vorjahr ein deutliches Plus um 0,8%, rund 11.500 Personen, verzeichnen. Trotz des Zuwachses im kommunalen Bereich ist die Beschäftigtenzahl im öffentlichen Dienst geprägt von Pensionierungswellen, Einsparungen und Nachwuchskräftemangel. Vor diesem Hintergrund wird der Druck auf die Verwaltungen immer größer, ihre Prozesse effizienter zu gestalten [Atlis2011].

Die Aufgabenvielfalt der öffentlichen Verwaltung ist enorm. So enthält der Leistungskatalog (LeiKa) – ein Verzeichnis der Verwaltungsleistungen auf Bundes-, Landes- und Kommunalebene – derzeit mehr als 5.000 Einträge [LeiKA2016]. Bedingt durch unterschiedliche Regelungen und Zuständigkeiten im Rahmen des Föderalismus, variieren Umfang und Wesen der angebotenen Verwaltungsdienstleistungen je nach Bundesland oder Kommune stark. Auf Bundesebene legt das E-Government-Gesetz einen Rahmen für die Digitalisierung von Verwaltungsaufgaben fest. Auch auf Landesebene folgen immer mehr landesspezifische E-Government-Gesetze, deren inhaltliche Ausgestaltung jedoch von verschiedensten E-Government-Strategien geprägt ist. So sind in einigen Bundesländern elektronisch abgebildete Informationsangebote vorgesehen, während in anderen landesspezifische kommunale Basisdienste bereitgestellt werden sollen. Der Föderalismus trägt somit insgesamt zu einer sehr heterogenen Ausgestaltung der E-Government-Landschaft in Deutschland bei.

Der Mangel an belastbaren amtlichen Zahlen zur Marktgröße des E-Governments macht es erforderlich, die IT-Ausgaben der öffentlichen Verwaltung heranzuziehen, um Annäherungswerte zu erhalten. Dies ist insofern sinnvoll, da E-Government per Definition die Abwicklung von Geschäftsprozessen unter Hinzunahme von Informations- und Kommunikationstechniken beschreibt [Lucke2000] und somit ein großer Teil der E-Government-Kosten für IT anfällt.

Der Bitkom schätzt die IT-Ausgaben der öffentlichen Verwaltung im Jahr 2013 auf 20,4 Mrd. Euro bzw. für 2014 auf 20,9 Mrd. Euro. Mit einem Anteil von rund 20% des Business-Marktes ist die öffentliche Hand somit einer der wichtigsten Kunden der IKT-Branche. Den größten Posten mit rund 9,4 Mrd. Euro im IT-Budget der deutschen Verwaltungen stellen IT-Dienstleistungen – Beratung, Implementierung und Service – dar [Pentsi2013].

Eine Abgrenzung der Gesamt-IT-Ausgaben auf föderaler Ebene gestaltet sich als schwierig, da auch hier keine belastbaren und aktuellen Zahlen vorliegen. Im Jahr 2007 schätzte die Bundesregierung ihre IT-Ausgaben auf rund drei Mrd. Euro. Eine Betrachtung des Beschaffungswesens für die Jahre 2013 und 2014 ergab jedoch, dass diese Zahl nach oben zu korrigieren ist und die IT-Ausgaben auf Bundesebene bei etwa 3,9 Mrd. Euro liegen dürften. Die Bestimmung der IT-Ausgaben der Länder kann anhand der im Haushalt ausgewiesenen IT-Posten bestimmt werden. Für die Länder Berlin, Schleswig-Holstein und Hamburg ergab sich im Jahr 2014 ein Anteil der IT-Kosten an den Gesamtausgaben von etwa 1,5% im Schnitt. Dies übertragen auf die Gesamtausgaben aller Länder, die 2015 bei 355,2 Mrd. Euro lagen [Destatis2016a], ergibt IT-Ausgaben in Höhe von 5,33 Mrd. Euro auf Landesebene. In den Kommunen können die Ausgaben für IT sehr unterschiedlich aussehen, je nachdem, wie groß der Anteil an eingekauften bzw. selbst

erbrachten IT-Leistungen ist. Ein mehrstufiger Ansatz, der sowohl die Anzahl der IT-Arbeitsplätze in den Kommunen als auch die Volumina an von Kommunen selbst erbrachten IT-Leistungen berücksichtigt, ergab einen Anteil von 1,9% der IT-Ausgaben an den Gesamtausgaben der Kommunen, was für das Jahr 2012 einer Summe von rund 3,8 Mrd. Euro entspricht [Fromm2015].

Die Schätzungen für die IT-Ausgaben auf den einzelnen föderalen Ebenen basieren teilweise auf mit großer Unsicherheit behafteten Zahlen und berücksichtigen nur die Ausgaben für Kernverwaltungen (was die Differenz zur Bitkom-Schätzung i. H. v. 20,9 Mrd. Euro erklärt). Für die nächsten Jahre ist mit einer Steigerung der IT-Ausgaben auf allen Ebenen zu rechnen, insb. auch durch die Vorgaben aus den verschiedenen E-Government-Gesetzen der Länder bzw. des Bundes.

IT-Kosten machen einen Großteil der E-Government-Kosten aus. Insgesamt ergeben sich schätzungsweise rund 13 Mrd. Euro an E-Government-Kosten in den Kernverwaltungen. E-Government-Kosten, die nicht im Zusammenhang mit IT stehen, bleiben in den obigen Rechnungen zwar unberücksichtigt, gleichen sich teilweise aber durch den Umstand aus, dass in diesem Ansatz alle IT-Kosten dem E-Government zugerechnet werden.

Der E-Government-Markt in Deutschland weist eine komplexe Struktur an verschiedenen Stakeholdern auf. In Bezug auf die praktische Anwendung beschäftigen sich zahlreiche Gebietskörperschaften auf allen Ebenen mit E-Government: der Bund, die Bundesländer, aber auch die zahlreichen Kreise, Städte und Gemeinden. Sie bedienen mit ihren E-Government-Angeboten die verschiedenen Kundengruppen (Bürger, Wirtschaft und Verwaltung). Zu den weiteren E-Government-Akteuren zählen auch die Entscheidungsträger auf den jeweiligen Ebenen, die Verordnungen in Bezug auf E-Government erlassen und über Mittelvergaben bestimmen (z. B. verschiedene Ministerien auf Bundes- und Landesebene, Bundes-/ Landtag, Bürgermeister und Stadträte auf kommunaler Ebene). Hinzu kommen die diversen Anbieter von IT-Hardware und Software (Plattformen, Infrastruktur-, Sicherheits- und Basisdienste, Office- und Fachanwendungen etc., organisiert im Bitkom-Verband), IT-Dienstleistungszentren/ Rechenzentren (organisiert im Vitako-Verband), jeweils auf allen Ebenen der Verwaltung sowie Beratungsunternehmen, welche sich auf E-Government spezialisiert haben. Zudem finden sich auch Forschungseinrichtungen und Universitäten, die wissenschaftliche Beiträge zum E-Government in Deutschland liefern.

2.4.5.2 Vernetzte Anwendungen in der E-Government-Branche

Wie bereits weiter oben dargestellt, bildet die öffentliche Verwaltung einen sehr spezifischen Marktbereich, der sich in vielen Punkten von den Wirtschaftsmärkten unterscheidet. Die ÖV betreibt mit dem Verbindungsnetz Deutschland Online Infrastruktur (DOI) [BVA2016] eigene Kommunikationsinfrastrukturen, die unabhängig von Internet aufgebaut wurden, um insbesondere die hohen Sicherheitsanforderungen umzusetzen. Damit wird eine ebenenübergreifende, sichere Kommunikation zwischen Bundesnetzen, den Ländernetzen und den Netzen der Kommunen ermöglicht.

In einigen Bundesländern wurde bereits damit begonnen, die Landesnetze auf Breitbandnetze umzustellen. Ein gutes Beispiel hierfür ist Mecklenburg-Vorpommern. Das Datenverarbeitungszentrum Mecklenburg-Vorpommern (DVZ) betreibt seit Jahren das Landesnetz CN LAVINE, an dem auch alle kommunalen Gebäude der ÖV angeschlossen sind. Neben der Bereitstellung von Datendiensten werden darüber auch Dienste wie die IP-Telefonie der Verwaltungen oder Videokonferenzdienste angeboten. Das CN LAVINE ist damit europaweit eines der modernsten paketvermittelnden Weitverkehrsnetze und versorgt mit rund 700 Routern mehr als 580 Standorte in Mecklenburg-Vorpommern. Auf einer Gesamtkabellänge von mehr als 1.300 km werden aktuell Bandbreiten von bis zu 2x10Gbit/s ermöglicht und gesicherte Kommunikationsverbindungen mittels Einsatz von MPLS- und Verschlüsselungstechnologien realisiert.

Intern werden in der öffentlichen Verwaltung typische Verwaltungsanwendungen wie Dokumentenmanagementsysteme, Projektmanagementsysteme, Anwendungen zur Vorgangsbearbeitung (incl. E-Akte) und zur Archivierung, Enterprise-Resource-Planning-Systeme (ERP), Anwendungen zum E-Procurement (Beschaffung), zum Finanzmanagement und zum Personalmanagement genutzt.

Dabei wird eine Vielzahl der digitalen Systeme nicht inhouse betrieben, sondern in zentralen Rechenzentren der öffentlichen Verwaltung bereitgestellt. Dies geschieht je nach Ebene in kommunalen Rechenzentren, in Landes- oder in Bundesrechenzentren. Diese Auslagerung bietet Effizienzsteigerungen und verbesserte Sicherheit gegenüber dem Eigenbetrieb, führt aber zu stark steigenden Anforderungen an die Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit der Netze der ÖV.

Nach Brühler [Brühler2002] können vier Interaktionsstufen für die Interaktion öffentlicher Verwaltungen mit der Öffentlichkeit bzw. mit Verwaltungskunden unterschieden werden: 1) Information, 2) Kommunikation, 3) Transaktion und 4) Integration.

Die Bereitstellung von Informationen (z. B. zu kommunalen Leistungen) wird typischerweise mittels Online-Portalen (zunehmend auch mobilen Apps) mit entsprechenden digitalen Medien (Text, Bilder, Dokumente) realisiert. Für die vorgangsbezogene Kommunikation kommen hingegen Formate wie Online-Foren, elektronische Formulare und E-Mail zur Anwendung.

Für Transaktionen werden Anwendungen zum sicheren Auslösen von Verwaltungsleistungen, zum digitalen Bezahlen, zum sicheren Austausch von Dokumenten und zur Autorisierung von Dokumenten (digitale Unterschriften) genutzt. Da die meisten Vorgänge bei diesen „digitalen Geschäftsgängen“ festgehalten werden müssen und von den verschiedenen föderalen Verwaltungsgliederungen unterschiedliche Verzeichnisse geführt werden (Melderegister, Personenstandsregister, Hunderegister, Waffenregister, Kfz-Melderegister etc.), kommt der sicheren Archivierung in der öffentlichen Verwaltung eine besondere Rolle zu.

Bei Anwendungen zur Integration und zur Beteiligung der Öffentlichkeit („E-Participation“), z. B. zur Vorbereitung von Entscheidungen in der Kommunalpolitik, zur Bereitstellung der Informationen für Dienste zu Online-Befragungen (Erstellung, Durchführung und Auswertung) oder für Dienste für Online-Petitionen (Vorbereitung, Diskussion und Einreichung) werden typischerweise Online-Portale genutzt (zunehmend auch mobile Apps).

2.4.5.3 Netzbedarfsanalyse zukünftiger Anwendungsszenarien

SCENARIO 1: Fachdienste aus großen Rechenzentren

Historisch gesehen werden von den Verwaltungen geschlossene Fachanwendungen, welche die Beschäftigten in Fachämtern seit vielen Jahren bei ihrer Arbeit unterstützen, oft im eigenen Haus betrieben. Mit der Definition von XÖV-Standards wurden für einige Fachbereiche (XMeld, X-Personenstand etc.) Standardschnittstellen und Prozesse definiert, die medienbruchfreie, fachübergreifende Verwaltungsprozesse ermöglichen. Gleichzeitig ist der Trend zu beobachten, dass die Fachanwendungen von zunehmend größeren Rechenzentren für viele Verwaltungen betrieben werden. So wird beispielsweise das elektronische Personenstandsregister nur noch in gut 50 Rechenzentren in Deutschland für mehr als 4.000 Standesämter betrieben.

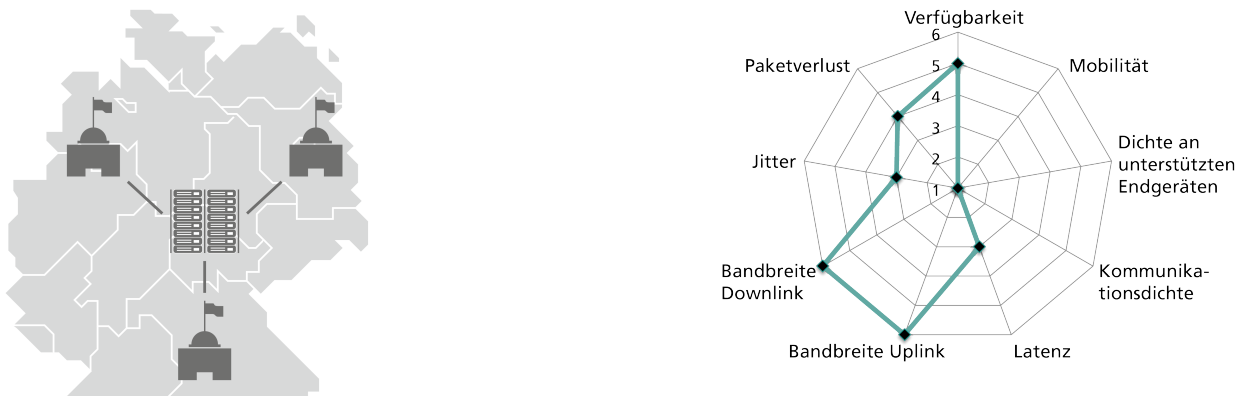
Der Trend zu großen hochmodernen redundant angelegten Rechenzentren kann am Beispiel Dataport gut aufgezeigt werden. In den letzten Jahren wurden zwei moderne Rechenzentren (Green IT) in Betrieb genommen und damit verschiedene ältere Rechenzentren in Bremen, Hamburg und Schleswig-Holstein konsolidiert. „Die Konsolidierung der öffentlichen IT ist eine der größten aber auch komplexesten Zukunfts-

aufgaben der deutschen Verwaltung. Sie betrifft Infrastrukturen und Technologien genauso wie Prozesse und Governance. Sie findet auf allen Ebenen und über Ressort- und Gebietskörperschaftsgrenzen hinweg statt. Und sie muss mehrdimensionale Optimierungsaufgaben lösen, indem sie zeitgleich technologische, betriebswirtschaftliche und politische Aspekte berücksichtigt“ [Ziesing2014]. Am Beispiel von Dataport werden Eckpunkte für eine erfolgreiche Fusion von mehreren öffentlichen IT-Dienstleistern zu einem Dienstleistungszentrum für mehrere Bundesländer beschrieben. An diesem Beispiel kann aufgezeigt werden, wie durch die Konsolidierung der meist sehr heterogenen IT-Landschaft auf der einen Seite Effizienzgewinne erzielt werden konnten, die auf der anderen Seite den Neubau von Rechenzentren und den Ausbau der Netzinfrastrukturen erforderlich gemacht haben.

Auch in Bezug auf die Erneuerung der Fachverfahrens-Software geht der Trend hin zu modernen schlanken Web-Anwendungen. Der damit einhergehende zentrale Cloud-Betrieb von Software erfordert sowohl mehr Bandbreiten als auch insbesondere eine hohe Netzstabilität und -verfügbarkeit. Gegen Probleme in diesen Bereichen wird in Zukunft aber auch mit Fog-Computing-Ansätze gegengehalten werden. So werden offline-fähige, datenschutzkonforme Web-Apps entstehen, bei denen ein Teil der Fachlogik vor Ort im Webbrowser vorgehalten wird und damit auch bei fehlender Netzkonnektivität ausführbar bleibt.

Diese Trendwechsel implizieren auch weitergehende Anforderungen an die Bandbreite und die Dienstqualitäten zwischen modernen Rechenzentren und den auch im ländlichen Raum verteilten Verwaltungseinrichtungen.

Abbildung 18: Anwendungsszenario „Fachdienste aus großen Rechenzentren“



Auf Grund der vielen Stakeholder und Akteure, die im Falle eines Ausfalles betroffen sind, spielen hohe Verfügbarkeiten für die cloud-basierte Bereitstellung öffentlicher Dienste eine große Rolle. Wegen der mitunter hohen Nutzerzahlen und der Diversität an Bürger- und Unternehmensdiensten sind auch sehr hohe Bandbreiten sowohl im Uplink als auch im Downlink der Rechenzentren notwendig (auf der Ebene, der, an die Rechenzentren angebundenen Fachämter, kann es, in Abhängigkeit von der Mitarbeiterzahl, zu geringeren Bandbreiteanforderungen kommen). Latenzen (nebst Jitter) sind verglichen damit von geringerer Bedeutung, ebenso wie Paketverluste, die zumeist mittels entsprechender Protokolle korrigiert werden können.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 16: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Fachdienste aus großen Rechenzentren

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	sehr hoch	Sehr hoher Schutzbedarf bei Übertragung sensibler personenbezogener Daten.
Netzwerkmanagement	wenig flexibel	Dynamisches Netzwerkmanagement auf Grund eher statischer Verbindungen zwischen Rechenzentren nicht unbedingt erforderlich.
Wirtschaftlichkeit	hoch	Kosten für den Aufbau und Betrieb der Infrastruktur müssen den Prinzipien der Wirtschaftlichkeit unbedingt genügen.
Offenheit	hoch	Integration unterschiedlicher, heterogener Systeme und Dienste erforderlich.
Ressourcen-/Energieeffizienz	moderat	Trend zu Green-IT im Rechenzentrum, durch Vielzahl von angebundenen Teilnehmern Energieeffizienz teilweise notwendig.

Anwendungsbeispiele:

Das Szenario erlaubt einen effizienten RZ-Betrieb (Green IT) für viele Anwender der ÖV und sichere Bereitstellung von Bürger- und Unternehmensdiensten. Durch den Einsatz von Cloud-Lösungen können hohe Investitionskosten weitgehend entfallen, da Cloud-Dienste in hochmodernen Rechenzentren sehr effizient für sehr viele Mandanten betrieben werden können und die Fachdienste von den Nutzern auf Monats- oder Jahresbasis zu vergleichsweise günstigeren Kosten „gemietet“ werden. Eine Stakeholder-übergreifende Nutzung von IT-Dienstleistungszentren mit hoher IT-Sicherheit und effizienten Transaktionsdiensten wird ermöglicht.

SCENARIO 2: Digitale Landtechnik

Spricht man von „autonomen Technologien“, denkt man in erster Linie an industrielle Anwendungsfelder im Bereich von Produktion, Logistik und Transport (Stichwort „Industrie 4.0“) und an Breitenanwendungen, z. B. zur Unterstützung von Mobilität (Stichwort „autonomes Fahren“) oder medizinischer Versorgung (Stichwort „Health-Monitoring“ und „ambient assisted living-Systeme“). Einsatzmöglichkeiten im Bereich der Landwirtschaft bilden eher ein Nischengebiet, das unter dem Stichwort „digitale Landtechnik“ ein interdisziplinäres Spektrum an Themen des Maschinen- und Fahrzeugbaus, der Informations- und Kommunikationstechnologien, insbesondere der Geoinformatik sowie der Biologie und Agrarwissenschaft abdeckt.

Mähdrescherkolonnen fahren bereits heute in einigen Staaten auf den größten Agrarflächen vollautomatisiert mit Satellitennavigation in parallelen Bahnen über das Feld. Künftig sollen Landmaschinen verstärkt mit intelligenten Technologien ausgestattet werden, um miteinander zu kommunizieren und Arbeitsprozesse abstimmen zu können. Der Mähdrescher soll dann z. B. über Funknetze je nach Füllstand automatisch den Traktor mit Überladewagen bestellen können.

Feldroboter können künftig im kleinflächigen Bereich eingesetzt werden. Sie bewegen sich über Felder, erkennen mit ihren zahlreichen Sensoren die wachsenden Pflanzen und umgehen diese. Finden sie eine freie Stelle, bohren sie ein kleines Loch und pflanzen einen Samen. Anschließend markieren sie die Stelle mit einem Spray und wandern weiter.

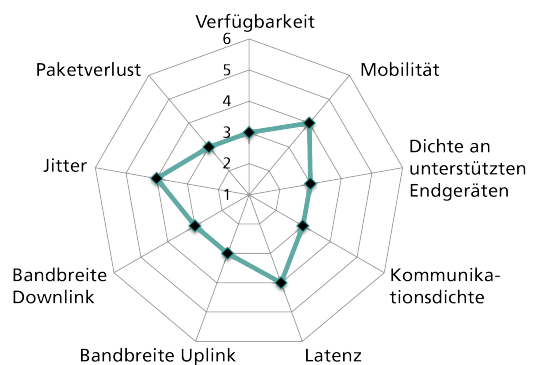
Mit Methoden des Precision Farming wird es generell möglich, die Effizienz in der Landwirtschaft zu steigern: So kann der Kraftstoffverbrauch für Landmaschinen oder die Menge an Düngemittel, Pflanzenschutzmittel und Saatgut durch eine intelligente Verknüpfung raumbezogener Informationen zu Bodenqualität, Wachstumsstand, Wetterdaten, Geländebeschaffenheit etc. optimiert werden. Die benötigten Informationen erhält der Landwirt u. a. dank GPS-Überwachung, Satellitenbilderauswertungen, Sensordaten und Vorjahresergebnissen. Mit diesen Informationen lassen sich die perfekten Mengen und Abläufe berechnen. Dafür ist die Verfügbarkeit branchenspezifischer Standards für den Austausch von Daten entlang der Prozess- und Lieferkette sowie mit der Verwaltung (z. B. Landwirtschaft: agroXML – <http://www.agroxml.de/>) erforderlich.

Zudem benötigen sie jedoch den Zugriff auf Daten und Informationen, die typischerweise in hoheitlicher Verantwortung erhoben und verwaltet werden. Hierzu zählen vor allem Geofachdaten mit landwirtschaftlichem Bezug, z. B. zur Gelände- und Bodenbeschaffenheit, zu Bewirtschaftungsauflagen oder zu förderrelevanten Eigentums- und Bewirtschaftungsverhältnissen.

Damit Landwirte, Züchter, Forstwirte, Winzer und Fischer die sich rasant entwickelnden Potenziale autonomer Technologien für sich nutzen können, ist die Vernetzung und Verschneidung der hoheitlichen Daten mit individuell erhobenen Realdaten (z. B. Sensordaten zur Bodenbeschaffenheit) und mit Daten aus privaten Diensten (z. B. meteorologische Daten) erforderlich. Systeme, die dies leisten, sind häufig für den mobilen Einsatz konzipiert, wie z. B. Bordcomputer oder Roboter.

Das Szenario, siehe Abbildung 19, erlaubt eine Optimierung des Ressourcenverbrauchs (z. B. Saatgut, Dünger), erlaubt eine Erledigung der zeitkritischen Erntearbeiten innerhalb der möglichen Zeitfenster (auch nachts), führt zu einer besseren Erntequalität, da individuell einstellbar, und führt darüber hinaus zu einer höheren Datenqualität für die Verwaltung. Die Technologisierung einer (im Vergleich zu Staaten wie den USA) kleinteiligen Landwirtschaft führt zu einer verbesserten Situationswahrnehmung in den Bereichen Boden, Gewässer, Vieh, Forsten, Luft.

Abbildung 19: Anwendungsszenario „Digitale Landtechnik“



In puncto Konnektivität erfordert das Szenario eine mobile Breitbandabdeckung für den ländlichen Raum (insbesondere außerhalb von Gemeinden) mit nicht allzu hohen Bandbreitenanforderungen (da weniger Videodaten als Messdaten kommuniziert werden müssen). Nur eine geringe Kommunikationsdichte und Dichte an unterstützten Endgeräten ist für dieses Szenario erforderlich, ebenso können moderate Latenzen (analog Jitter) bei den sich eher langsam fortbewegenden Erntemaschinen in Kauf genommen werden.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 17: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Landwirtschaft

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	hoch	IT-Sicherheit und Datenschutz sind akzeptanzkritische Faktoren seitens der primären Zielgruppe „Landwirte“.
Netzwerkmanagement	flexibel	Dynamischer Auf- und Abbau von sicheren Kommunikationsverbindungen zwischen privaten und öffentlichen Akteuren.
Wirtschaftlichkeit	hoch	Nutzungskosten müssen im Hinblick auf den Kostendruck der Landwirte möglichst gering gehalten werden.
Offenheit	moderat	Offenheit für eine überschaubare Anzahl von relevanten Diensten.
Ressourcen-/Energieeffizienz	hoch	Teilweise lässt sich die Kommunikationstechnik aus den Batterien der Landmaschinen speisen, oftmals jedoch auch Nutzung von mobilen Endgeräten mit eingeschränkter Energieversorgung.

Anwendungsbeispiele:

Beispiel eines Systems, das es bereits heute den Landwirten ermöglicht, sowohl Geodaten als auch betriebsspezifische förderrelevante Daten in einem individuellen Zugangsbereich einzusehen, ist das landwirtschaftliche Geo-Informationssystem FLOrIp des Landes Rheinland-Pfalz (siehe: www.flo.rlp.de).

Mit dem Mobilien AgrarPortal (MAPrIp) hat das Land Rheinland-Pfalz ferner die Grundlagen für den Informationsaustausch im ländlichen Raum geschaffen. Die Agrarbranche kann über das Portal amtliche Geobasis- und Geofachdaten zur freien Nutzung beziehen. Landwirte können so mittels Smartphone oder Tablet die Daten ihrer Äcker vom Traktor, im Weinberg oder am Schreibtisch abrufen und versenden (weitere Informationen siehe: <http://www.dlr.rlp.de/>).

SCENARIO 3: Digitales Bürgeramt

In den nächsten zehn Jahren werden die Interaktionen zwischen Wirtschaft und Verwaltung (B2G), Bürger und Verwaltung (C2B) und innerhalb der Verwaltung (G2G) zunehmend digitalisiert werden. Für die Gigabitgesellschaft entstehen durch diesen Trend auch weitergehende Anforderungen an die Dienstqualitäten der IT-Infrastrukturen. Damit Bürger, Unternehmen und Verwaltungen in Zukunft zu Spitzenzeiten gleichzeitig ohne Beeinträchtigungen Dienste der Verwaltungen nutzen können, sind neben der zunehmenden Bandbreite weitere Qualitätsmerkmale wie Sicherheit, Netzbedarfe für Kollaboration auch mittels Videokonferenzen zu beachten und die Infrastrukturen entsprechen aufzubauen.

Nur so wird es möglich, im „virtuellen Bürgeramt“ den gleichen Service wie vor Ort zu erhalten. Warum sollten Bürger nicht beim Ausfüllen von Formularen oder der Inanspruchnahme weiterer Verwaltungsleistungen interaktiv unterstützt werden? Gerade für den ländlichen Raum würde dies für die Verwaltung und die Bürger Vorteile bieten: Für die Verwaltung eröffnen sich Shared Service-Möglichkeiten, für die Bürger entfallen lange Anfahrtszeiten. Solche zukunftsorientierten Dienstleistungen erfordern in der Menge auch entsprechende Bandbreiten.

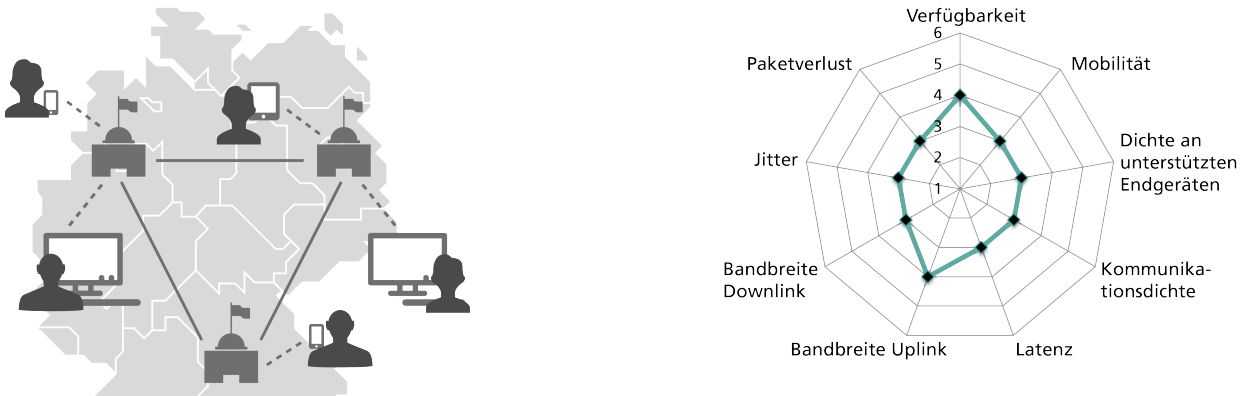
Ein großer Schritt in die Gigabitgesellschaft kann dann erreicht werden, wenn es – wie beispielsweise in Dänemark – gelingt, eine interoperable oder einheitliche Infrastruktur von Bürgerportalen und Bürgerkonten aufzubauen, mit der Unternehmen und Bürger unabhängig vom Ort und von der Zugehörigkeit zu Kommunen, Kreisen und Ländern bundesweite, regionale oder auch kommunale

Dienstleistungen nutzen können. In Bayern wird zurzeit eine entsprechende übergreifende Infrastruktur für Bayern von der AKDB aufgebaut [AKDB2016a].

In der Studie des Instituts für Design und Informationssysteme (IDIS) sind die Möglichkeiten und Potenziale von Bürgerkonten insbesondere zur sicheren übergreifenden Authentifizierung der Kommunikationspartner aufgezeigt. „Das Bürgerkonto stellt die zentrale Authentifizierungskomponente dar und übernimmt die Registrierungs- und Authentifizierungsfunktion des Nutzers. Diese eindeutige Identifizierung und Authentifizierung ist die Basis für alle weiteren elektronischen Dienste. Durch ein umfassendes Angebot an elektronischen Diensten ist für den Bürger ein Bürgerservice rund um die Uhr möglich, er kann Amtsgänge und Wartezeiten vermeiden. Auch die Wirtschaft kann von einem durchgängigen elektronischen Behördenkontakt profitieren, gesetzliche Pflichten können online und verlässlich erledigt werden. Aus Sicht der Kommune ist eine Teilnahme am E-Government ein Marketingfaktor und bringt einen Standortvorteil durch Förderung der lokalen Wirtschaft mit sich. Daneben wird eine positive Assoziation von Behördenkontakten auch durch die jüngere, internetaffine Generation und für die Behörde selbst eine technische und organisatorische Entlastung ermöglicht“ [John2016].

Das Szenario bietet einen effizienten kostengünstigen Betrieb von Bürgerdiensten über kommunale Dienstleister, die von vielen Kommunen genutzt werden, ohne für diese Dienste eigene IT-Infrastrukturen aufbauen zu müssen. Das Szenario bietet ein umfassendes Angebot von transaktionsorientierten Bürger- und Unternehmensdiensten in Verbindung mit Bürgerkonto und eindeutiger Identifizierung, Postkorb und E-Payment als Muster für zukunftsweisendes E-Government.

Abbildung 20: Anwendungsszenario „Digitales Bürgeramt“



In puncto Konnektivität benötigt dieses Szenario eine moderate bis hohe Verfügbarkeit, Zugriff muss auch bei moderater Mobilität via mobiler Apps durch Bürger, Unternehmen und auch Beschäftigter der ÖV möglich sein. Keine sehr hohen Bandbreiten werden für die Anwendungen von Bürger- und Unternehmensdiensten erwartet (10–30 Mbit/s im Up- und Downlink sind ausreichend). Latenz (und analog Jitter) spielen keine zentrale Rolle. Hinsichtlich der Kapazität können Bevölkerungsdichten in dicht besiedelten Räumen (bis zu 4.000 Personen/ Endgeräte pro Quadratkilometer) als Anhaltspunkt genommen werden. Daraus resultieren eher moderate Kommunikationsdichten.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle 18 zu finden.

Tabelle 18: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Digitales Bürgeramt

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	sehr hoch	Höchster Schutzbedarf bei der Übertragung sensibler personenbezogener Daten.
Netzwerkmanagement	flexibel	Flexible, sichere Verbindungen über unterschiedliche Netze der Nutzer.
Wirtschaftlichkeit	hoch	Kosten für den Aufbau und Betrieb der Infrastruktur müssen den Prinzipien der Wirtschaftlichkeit unbedingt genügen.
Offenheit	hoch	Integration unterschiedlicher, heterogener Systeme und Dienste erforderlich.
Ressourcen-/Energieeffizienz	moderat	Nutzung muss auch für mobile Endgeräte auf energieeffiziente Weise möglich sein.

Anwendungsbeispiele:

Bürger und Unternehmen erwarten von E-Government, dass Verwaltungsvorgänge vollständig und sicher online abgewickelt werden können. Die AKDB bietet den Kreisen und Kommunen in Bayern ein umfassendes Set von Dienstleistungen, die über das Internet genutzt werden können. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist das Bürgerkonto, in Bayern auch als BayernID bezeichnet, das für die sichere Authentifizierung sorgt und allen bayerischen Kommunen vom Freistaat dauerhaft kostenfrei zur Verfügung gestellt wird. Mit über 70 verschiedenen Verwaltungsprozessen aus Bereichen wie dem Einwohnermeldewesen, dem Verkehrswesen und dem Personenstandswesen bietet das Bürgerservice-Portal eine Fülle an Online-Diensten, die in Verbindung mit dem neuen Personalausweis sicher und komfortabel genutzt werden können. Die Verbindung von Bürgerkonto, Postkorb und E-Payment stellt hierbei wichtige Funktionen zur Verfügung, die von rund 370 Kommunen und Verwaltungen eingesetzt werden [AKDB2016a].

Darüber hinaus wird allen Kreisen und Kommunen von der AKDB eine Bürgerservice-App angeboten, die individuell konfiguriert werden kann. Mit dieser App können Kommunen Bürgern und Unternehmen eine Vielfalt an Diensten durch Anbindung an Content-Management-Systeme (CMS) – auch mit voller Integration der Fachverfahren – anbieten, die durch intuitives Navigieren eine einfache, strukturierte Benutzerführung ermöglichen [AKDB2016b]. Mit diesen Angeboten bietet die AKDB bereits heute mit den Kommunen vielen Bürgern zukunftsweisende E-Government-Dienstleistungen an.

2.4.5.4 Ausblick

Neben Industrie und Gewerbe wird auch für öffentliche Einrichtungen in den kommenden zehn Jahren der Bandbreitenbedarf kontinuierlich steigen, da der Betrieb von dezentralen Fachanwendungen und übergreifenden Anwendungen durch Auslagerung in Bundes-, Landes- oder kommunale Dienstleistungszentren erfolgen wird (z. B. Beschaffungssysteme, CRM-Systeme, E-Akte-Lösungen, Fachverfahren). Der zentralisierte effizientere Betrieb in modernen Sicherheitsrechenzentren führt dazu, dass alle angebundenen Mitarbeiterarbeitsplätze gleichzeitig auf die zentralen Ressourcen ohne Leistungsverlust zugreifen müssen.

Die folgenden technologischen Trends beeinflussen den Einsatz von IT in der ÖV:

- zunehmende Tendenz zu RZ/cloud-basierten Betriebsmodellen,
- zunehmende Relevanz mobiler Endsysteme,
- zunehmend verfügbare Bandbreite,
- zunehmende Verfügbarkeit von Open Data der öffentlichen Hand und Einsatz von Data-Analytics-Technologien,
- Entwicklungen im Bereich der Drohnen und Robotik,
- zunehmende Anzahl vernetzter Objekte öffentlicher Infrastrukturen (z. B. Straßen, Gebäude, Überwachungssysteme),
- zunehmende Verfügbarkeit von Daten zur Prognose von Katastrophen.

2.4.6 Energie

2.4.6.1 Die Energiebranche in Deutschland

Im Jahr 2014 erwirtschafteten die deutschen Elektrizitätsversorgungsunternehmen (mit ca. 200.000 Beschäftigten [Destatis2016b]) einen Erlös von knapp 74 Mrd. Euro [Statista2016c]. Auch wenn bei der Stromerzeugung der Markt von den vier größten Energieversorgern in Deutschland – RWE, EnBW, E.ON und Vattenfall – dominiert wird [Statista2016d], ist der deutsche Strommarkt mit mehr als 900 Netzbetreibern und weit über 1.000 Stromlieferanten – zu beiden gehören u. a. die klassischen Stadtwerke – stark fragmentiert [Statista2016e]. Im Jahr 2015 erzielte Deutschland einen Exportüberschuss im Strom-austausch von mehr als 50 Milliarden kWh, exportierte rund 83,1 Mrd. kWh Strom, während 33,0 Milliarden kWh Strom importiert wurden [BMWi2016c].

Laut einer Marktanalyse [Adlittle2015] wächst der Energiedienstleistungsmarkt in Deutschland jährlich um 4% bei einer Marktgröße von 16,7 Mrd. Euro im Jahr 2014 auf eine Größe von 22,2 Mrd. Euro im Jahr 2020. Dabei ist davon auszugehen, dass der Bedarf an Smart Grid-Technologien bis 2017 jährlich um 26,6% wächst. Virtuelle Kraftwerke gehören in diesem Markt zu den Top 10-Produktgruppen mit hohem Wachstumspotenzial, die sich durch einen hohen Digitalisierungsgrad auszeichnen [Frost2011].

Im Zuge der Energiewende und ihrer Digitalisierung wird die zukünftige Energieversorgung – insbesondere in Deutschland – geprägt sein von einer Vielzahl vernetzter dezentraler Energieerzeuger und -verbraucher, die es u. a. wegen der Volatilität der Erzeugung aus erneuerbaren Quellen zu messen, zu steuern und zu überwachen gilt. Die Verantwortung für den Ausgleich zwischen Strombedarf und -angebot obliegt dabei den vier Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) in Deutschland, indem sie z. B. bei Bedarf eine Regelleistung beschaffen, um Netzschwankungen auszugleichen. Die ÜNB sorgen auch für Instandhaltung und den Ausbau der überregionalen Stromnetze und ermöglichen Stromhändlern und -lieferanten einen diskriminierungsfreien Netzzugang. Die Hochspannungsübertragungsnetze sind über Umspannwerke an die engmaschigeren Niederspannungsnetze der 880 Verteilungsnetzbetreiber (VNB, Stand: 2015) [Statista2016f] angeschlossen, die i. d. R. die Versorgung der Endkunden mit Elektrizität gewährleisten.

Vor der Liberalisierung des Messwesens in Deutschland im Jahr 2005 war automatisch immer der örtliche Stromnetzbetreiber (VNB) auch Messstellenbetreiber. Seit der Liberalisierung kann nun jeder Stromkunde einen unabhängigen Messstellenbetreiber beauftragen, der für den Einbau, den Betrieb und die Wartung des Stromzählers verantwortlich ist. In dem Markt gründen sich neben den etablierten Unternehmen neue und bieten den Kunden u. a. den Einbau intelligenter Stromzähler mit entsprechenden Dienstleistungen zur Erfassung und Überwachung der Stromverbrauchsdaten. Geht man von knapp 46 Mio. Stromkunden in

Deutschland (Stand 2015) [Statista2016g] aus und rechnet für den Messstellenbetrieb auf Basis eines intelligenten Messsystems (sog. Smart Meter) rund 5 Euro pro Kunde und Monat, so hat dieser „Messstellen“-Markt ein Jahresvolumen von mehr als 2 Mrd. Euro.⁶

2.4.6.2 Vernetzte Anwendungen in der Energiebranche

Auf die Fläche und die Anzahl der zu vernetzenden Systeme bezogen zählt das Smart Metering mittels intelligenter Stromzähler (Smart Meter) wohl zu den wesentlichsten vernetzten Anwendungen im Energiesektor. Bei der Auswahl der intelligenten Stromzähler müssen hohe Sicherheitsanforderungen befriedigt werden und adäquate Kommunikationsnetze zur Kommunikation der Messwerte gewählt werden. Neben den intelligenten Stromzählern auf der Verbraucherseite sind im Backend Konzentratoren für die Aggregation der Messdaten und IT-Systeme zur Datenanalyse, Steuerung und Konfiguration notwendig [Frost2016].

Zunehmend wird der Energieverbrauch in Abhängigkeit vom aktuellen Angebot steuerbar (engl. „Demand Response“, d. h. die Veränderung der Verbraucherlast als Reaktion auf z. B. Preissignale über ein Lastmanagementsystem). Dafür müssen Smart Grid-Anwendungen Messwerte bzgl. verbrauchs-, last- oder ereignisvariabler Parameter aggregieren und Erzeugern und Verbrauchern bereitstellen. Die Anbindung und Steuerung dezentraler Energieerzeugungsanlagen spielt dabei eine ähnlich große Rolle wie die Anbindung und Steuerung der Anlagen von Verbrauchern. Die Smart Grid-Anwendungen der Leitstellen sorgen dabei mittels Energiedatenmanagementsystemen und unter Nutzung von Prognosesystemen (Wetter- und Erzeugungsprognosen) für die Kommunikation der entsprechenden Daten zwischen den Marktteilnehmern [BDEW2015]. Sowohl der Energieverbrauch als auch die Zwischenspeicherung kann dann mittels entsprechender Gebäudemanagementsysteme und lokaler Steuerungssysteme darauf reagieren.

2.4.6.3 Netzbedarfsanalyse zukünftiger Anwendungsszenarien

SZENARIO 1: Smart Metering

Die sicherheitstechnischen Anforderungen an Smart Meter in Deutschland sind recht hoch: Die Umsetzung des Sicherheitsprofils des BSI beim Zugang zu den Messdaten über das Smart Meter Gateway (SMGW) ist durch Zertifizierung nachzuweisen und die im Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende festgelegten Vorgaben zum Datenschutz sind einzuhalten. Somit wird der Schutz der sicherheitskritischen Energieinfrastruktur durch den Schutz persönlicher Daten auch im Energiemarkt ergänzt.

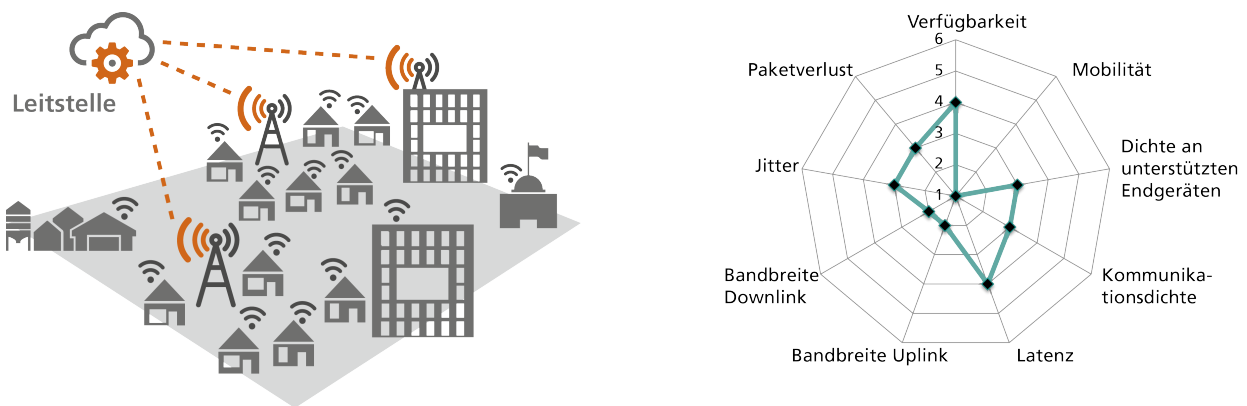
Laut Roadmap des BMWi sind ab 2017 zunächst die Großverbraucher mit mehr als 20.000 Kilowattstunden Verbrauch pro Jahr mit intelligenter Messtechnik auszustatten sowie Stromerzeuger aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung mit einer Leistung von mehr als 7 Kilowatt. Ab 2019 sollen Verbraucher mit einem Jahresverbrauch zwischen 10.000 und 20.000 Kilowattstunden folgen. Zuletzt ab 2021 sind die Verbraucher mit mehr als 6000 Kilowattstunden dran. Betrachtet man den Durchschnittsverbrauch an elektrischer Energie auf Haushaltsebene, so sind davon im Wesentlichen nur große Privathaushalte mit fünf oder mehr Personen betroffen [BMIB2016]. Da Privathaushalte tendenziell immer kleiner werden, werden das laut Analyse des Statistischen Bundesamts [Destatis2016c] im Jahr 2021 nur rund 3% der Privathaushalte in Deutschland sein, nämlich rund 1,2 Mio. von insgesamt rund 40 Mio. Für das Gros der meisten Privathaushalte (rund 77% werden Ein- bis Zweipersonenhaushalte sein) existiert noch kein Zeitplan für die Umrüstung auf intelligente Messsysteme. Bei Mietwohnungen gerade in

⁶ Hier wurde ein Preis von 60 Euro/ Jahr eines Startup-Unternehmens zugrunde gelegt; andere Anbieter sind eher teurer.

Mehrfamilienhäusern entscheiden jedoch nicht die Mieter über die Einführung intelligenter Messsysteme, sondern die Gebäudebesitzer, so dass bereits vor 2021 mit einer Einführung von Smart Metern auch für kleinere Haushalte zu rechnen ist.

Bei bereits vorhandener registrierender Leistungs-/ Lastgangmessung (RLM)⁷ erfasst die Messeinrichtung pro Messperiode (15 Minuten bei Strom, 60 Minuten bei Gas) einen Leistungsmittelwert. Die Gesamtheit aller Leistungsmittelwerte, die über eine ganzzahlige Anzahl von Messperioden gemessen wird, ergibt dann den Lastgang.⁸ Diese registrierten Werte werden in regelmäßigen Abständen (sofort oder erst am Folgetag: max. 96 Werte à 32 Bit, mit Übertragungszeit <1 s) übermittelt. Dies geschieht entweder direkt über die Stromleitung (PLC), über das Mobilfunknetz oder über einen Internetanschluss.

Abbildung 21: Anwendungsszenario Energie: „Smart Metering“



Trotz dieser absehbaren Entwicklung hin zur dezentralen Energieversorgung werden die Anforderungen an die Netzinfrastruktur im Bereich Smart Metering aber auch zukünftig überschaubar bleiben: Es fallen nur geringe Datenvolumen im Kilobitbereich an, die zudem keinen Echtzeitanforderungen genügen müssen. Da diese Daten nicht zwingend über einen Internetzugang, sondern z. B. auch via Powerline-Technologie über die Stromnetze (low-band PLC; Reichweiten >1 km) versendet werden können, sind Smart Meter auch weitgehend autark von der übrigen Netzinfrastruktur zu betreiben. Anders sieht es allerdings aus, wenn die Endkunden z. B. zu Vergleichszwecken oder zur Analyse, z. B. für bessere Prognosen, freiwillig und ggf. differenziert Verbrauchsdaten nach unterschiedlichen Verbrauchsarten bereitstellen wollen [Volkszaehler2016]. Dann fallen sekundengenaue Messwerte digitaler Stromzähler an, die meist zeitnah in Internetportale hochzuladen sind. Zwar sind diese Daten nicht zeitkritisch, können jedoch am Sammelpunkt auf Grund der großen Zahl an Teilnehmern ein sehr großes Datenvolumen verursachen, wenn z. B. Millionen von Nutzern ihre wenigen Daten (im Kbit-Bereich) übertragen.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

⁷ Bei Kunden mit einem Jahresverbrauch von mehr als 100 MWh elektrische Energie.

⁸ Grundlage: § 2 Stromnetzzugangsverordnung (StromNZV).

Tabelle 19: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Smart Metering

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	sehr hoch	Höchste Sicherheitsanforderungen bei der Kommunikation der Smart Metering Daten.
Netzwerkmanagement	flexibel	Flexible, sichere Verbindungen zwischen den intelligenten Stromzählern und Leitstellen über verschiedene Netze in der Fläche.
Wirtschaftlichkeit	hoch	Zusätzliche, weit verteilte Sensorik erfordert hohe Wirtschaftlichkeit.
Offenheit	hoch	Integration unterschiedlicher, heterogener Systeme und Dienste erforderlich.
Ressourcen-/Energieeffizienz	hocheffizient	Mobile Stromzähler haben meist nur geringe Batteriereserven.

Während die Anforderungen an die Netzinfrastruktur in Smart Grids lokal betrachtet gering ausfallen, ist die Situation in den Knotenpunkten durch die schiere Masse an dezentralen Datenquellen völlig anders. Die bloße Anzahl der Sensoren/ Aktuatoren wird auch im Smart Grid zu einem erheblichen Ansteigen des Datenvolumens führen. Die Smart Meter-Daten von mehreren Hunderttausenden bis Millionen von Smart Meter-Netzanschlüssen in den Großstädten sind durch den Messstellenbetreiber zu erfassen und zu verarbeiten. Gleiches gilt für die Steuerung und Überwachung dezentraler Energieanlagen wie PV-Systeme, Windkraftanlagen, aber auch Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen wie BHKW oder auch von Ladestationen für Elektrofahrzeuge. Insbesondere die Erfassung aktueller Leistungswerte und Wetterdaten zu besseren zeitlichen und räumlichen Kurzzeitprognosen von Erzeugung und Verbrauch stellen eine Herausforderung dar. Gerade wenn eine Vielzahl von Anlagen zeitnah in Leitwarten zu überwachen und zu steuern sind, um eine gute Stromversorgung sicherzustellen, stellen die Verbindungen zur Leitwarte hohe Anforderungen an die Übertragung von Netzkennzahlen (Phasenverschiebung, Schein-/ Blind-/ Wirkleistung etc.), die im Millisekundenbereich zu erfassen und zu übertragen sind. Sind geringe Latenzen sowie eine zuverlässige und sichere Datenverbindung zu gewährleisten, erfolgt dies derzeit über dedizierte Datenleitungen ([EY2013], [BMJV2016]).

Eine zuverlässige Abschätzung der Infrastrukturanforderungen ist nicht möglich (vgl. z. B. die legendäre Fehlprognose von Bill Gates im Jahr 1981: „Mehr als 640 Kilobyte Speicher werden Sie niemals benötigen“), denn innovative Anwendungsfelder und neue Geschäftsmodelle entwickeln sich oftmals erst, wenn die dafür notwendigen Netze bereits vorhanden sind und ein innovatives Serviceangebot auf eine entsprechende Nachfrage trifft oder diese sogar erst schafft.

Anwendungsbeispiel:

Mittels Smart Metering-Systemen wird der Stromverbrauch sichtbar. Ein bewussterer Umgang mit Energie wird ermöglicht, Vor-Ort-Ablesungen werden überflüssig. Steuerbare Verbrauchseinrichtungen (z. B. Nachtspeicherheizungen oder E-Autos) können abhängig vom verfügbaren Strom aufgeladen werden, variable Stromtarife (der „Strommarkt 2.0“) werden ermöglicht [Energiewende2016].

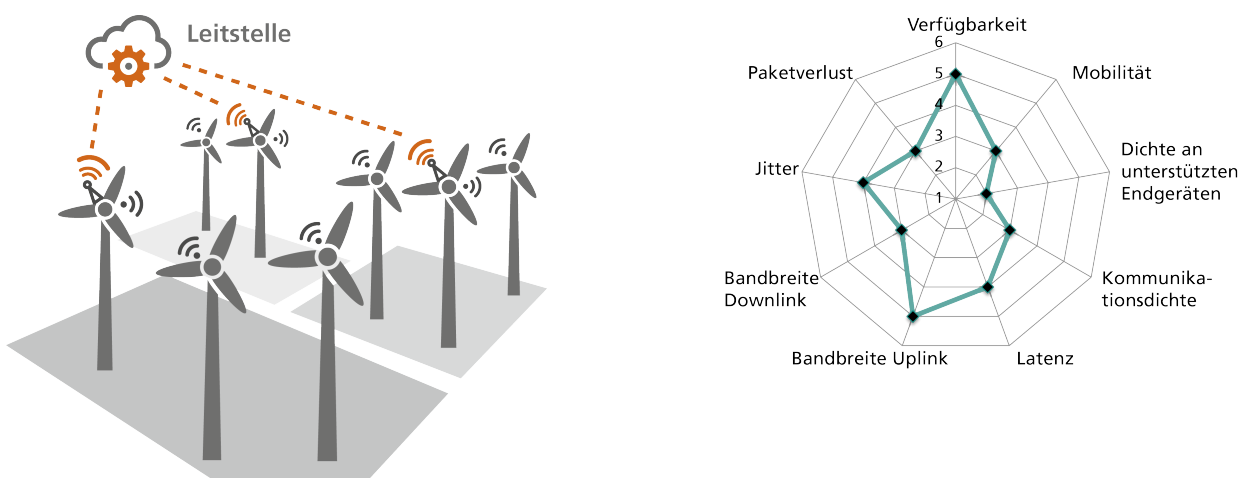
SZENARIO 2: Service und Wartung von Offshore-Windparks

In Deutschland stehen knapp 26.000 Windenergieanlagen (Stand: Ende 2015 [BWE2016a]). Davon erzeugen bereits die bis 2016 installierten Offshore-Windparks in der deutschen Nord- und Ostsee eine Gesamtnennleistung von 3,81 Gigawatt [Statista2016h]. Der Bau von Wind- und PV-Parks gerade in dünn besiedelten Gebieten oder gar offshore erfordert neben einer Anbindung an die Übertragungsnetze auch eine Anbindung an ein TK-Netz, damit eine fernwirktechnische Steuerung und Überwachung gewährleistet ist. Zwar sind die Anforderungen an die Bandbreite recht gering (i. d. R. <1 Mbit/s), ein Mindestmaß an Verfügbarkeit bezüglich zeitlicher Verzögerung muss zumindest bei regelbaren Anlagen gegeben sein, insbesondere, wenn sie am Sekundärregulierungsenergiemarkt teilnehmen [Hertz2014].

Ausfälle von Windanlagen gerade in großen Offshore-Windparks sind meist mit hohen finanziellen Verlusten verbunden, insbesondere, wenn sich notwendige Reparaturen u. a. witterungsbedingt verzögern. Neben Redundanzen sind Fernüberwachung, Inspektionen und Wartungen unabdingbar. Schätzungsweise bis zu ein Viertel der Kosten machen Service und Wartung von Offshore-Windparks aus, während die eigentlichen Anlagen mit circa einem Drittel zu Buche schlagen [BWE2016b]. Anders bei Anlagen an Land, dort machen die Anlagenkosten zwei Drittel der Gesamtkosten aus, während der Anteil von Service und Wartung im niedrigen einstelligen Prozentbereich liegt [Hertz2014].

Die manuelle Wartung von Offshore-Windparks ist zeit- und ressourcenaufwändig und kann auf Grund von rauen Wetter- und Umweltbedingungen nur in eingeschränkten Zeitfenstern erfolgen (~ 100 Tage/Jahr). Es erfordert besonders qualifiziertes Personal, Ersatzteile und Werkzeuge können nur in beschränktem Umfang und zeitlich limitiert vor Ort vorgehalten werden (aufwändiger Transport mit Schiffen oder per Hubschrauber). Ziel ist es daher, möglichst viele Überwachungs- und Inspektionsarbeiten automatisiert oder ferngesteuert/ fernüberwacht, ggf. audiovisuell unterstützt, z. B. mittels Servicerobotern oder Drohnen durchzuführen. Dies erfordert eine kommunikationstechnische Infrastruktur, die z. B. gerade bei der Steuerung von Drohnen Echtzeitanforderungen genügen muss, die nur durch hohe Verfügbarkeit, hohe Datenraten und kurze Latenzen erzielt werden kann. Wird dies bereits bei der Planung von Offshore-Windparks berücksichtigt, kann es kostengünstig bei deren Errichtung umgesetzt werden, da zusammen mit den erforderlichen Stromkabeln zur Anbindung des Windparks ans Stromnetz gleichzeitig ein Breitband-Glasfaserkabel zur Anbindung ans TK-Netz verlegt werden kann. Einzelne Windenergieanlagen können dann als Mobilfunkmast dienen und die Bereiche rund um den Windpark durch Mobilfunkzellen abdecken, so dass eine sichere Steuerung z. B. von Drohnen oder Servicerobotern und die zuverlässige Übertragung z. B. von Videosignalen gewährleistet ist.

Abbildung 22: Anwendungsszenario Energie: „Service und Wartung von Offshore Windparks“



Um Ausfälle und damit verbundene finanzielle Verluste zu vermeiden, werden die Windenergieanlagen zunehmend mit Sensorik ausgestattet, die fortwährend in Echtzeit Daten über den Anlagenzustand erfasst. Mittels Kommunikationstechnik lassen sich diese Daten dann entweder unverarbeitet („raw“) oder vorverarbeitet („sensor fusion“) kontinuierlich oder aber aggregiert („en bloc“) an eine zentrale Sammelstelle übertragen. Je nach Zahl und Datenraten der Sensoren und der Art des Umgangs mit den anfallenden Datenmengen sind mittlere bis hohe Bandbreiten erforderlich. Da es darum geht, Ausfälle bereits frühzeitig im Voraus zu erkennen, bestehen keine hohen Anforderungen an Latenzen und Verfügbarkeiten. Alternativ kann die Analyse der Sensordaten auch bereits lokal auf den Windenergieanlagen selbst erfolgen (sog. Edge Computing), so dass nur noch der aktuell errechnete Verschleißzustand in Form einiger weniger Kennzahlen mit niedriger Aktualisierungsrate an eine zentrale Stelle übertragen werden muss. Dies hat den Vorteil, dass nur sehr geringe Anforderungen an die Bandbreite, Latenz und Verfügbarkeit der Datenübertragung gestellt werden müssen. Auf Grund der dezentralen Datenverarbeitung werden außerdem u. U. deutlich geringere Anforderungen an die Rechenleistung der zentralen Sammelstelle gestellt. Bei einer kontinuierlichen visuellen Fernüberwachung von Windkraftanlagen (z. B. zur Erkennung von Vereisung) mit bspw. 100 Offshore-Windkrafträdern (vgl. „London Array“ mit 175 Windkrafträdern) würde bei Anbringung nur einer hochauflösenden 4K-Kamera (ca. 15 Mbit/s) pro Windkraftrad eine Bandbreite im Uplink von 1,5 Gbit/s notwendig. Für die Steuerung eines einzelnen Windkraftrades nebst etwaiger Drohnen (z. B. zur Enteisung) sollten dagegen Bandbreiten von 1 Mbit/s pro genügen. Wohingegen die Aggregation von Messwerten (nebst Videodaten) im 10-Sekunden-Takt erfolgen kann, so benötigt die Fernsteuerung von Drohnen zur Überwachung und Wartung der Anlage eine niederlatente Kommunikation (da für die Aufnahme, das Encoding und empfängerseitige Decoding und die Darstellung selbst mit moderner Technologie Latenzen von ca. 50 ms in Kauf genommen werden müssen und eine Steuerung durch Latenzen von über 90 ms (von Aufnahme über Empfang bis zur Steuerung) stark beeinträchtigt wird [TI2016]).

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 20: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Service und Wartung von Offshore-Windparks

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	hoch	Hohe Sicherheitsanforderungen bei der Kommunikation unternehmenskritischer Daten.
Netzwerkmanagement	flexibel	Verbindungen zwischen Windparks und Leitstellen in einem rauen Umfeld.
Wirtschaftlichkeit	moderat	Überwachung wertvoller Maschinen benötigt hochwertige Kommunikationsdienste.
Offenheit	moderat	Zumeist Speziallösungen zum Monitoring und zur Wartung im Einsatz.
Ressourcen-/Energieeffizienz	moderat	Energieversorgung zumeist durch die Windkraftanlagen sichergestellt, energieeffiziente Kommunikationslösungen bei Stillstand der Anlage nötig.

Anwendungsbeispiele:

Mit Hilfe von moderner Datenanalyse können Ausfälle vorhergesagt und Wartungsarbeiten effizient geplant werden, so dass Wartungen verschleißabhängig und bereits vor einem Ausfall durchgeführt werden können („predictive maintenance“). Drohnen können dabei helfen, den Zustand der Anlage besser zu erfassen (z. B. Vereisung, Beschmutzung, Verschleiß), und ggf. sogar bei der Wartung der Anlagen helfen.

2.4.6.4 Ausblick

Im Jahre 2016 wurden die drei Energiegesetze: 1) die Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG 2017), 2) das Strommarktgesetz und 3) das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende vom Deutschen Bundestag und Bundesrat verabschiedet. Ab 2017 werden Smart Metering-Systeme bei Großverbrauchern und -erzeugern, ab 2020 bei Privathaushalten mit einem Jahresstromverbrauch über 6.000 kWh installiert. Das Wirtschaftsministerium sieht ab 2017 den regulären Einsatz vollwertiger Messsysteme vor, alle neuen Zähler sollen ab 2017 mindestens Basiszähler sein, die sich später zu einem vollwertigen Messsystem aufrüsten lassen. Eine Smart Meter-Studie der Deutschen Energie-Agentur geht im Szenario „Gesetzlicher Rahmen“ von 9 Mio. vollwertigen Messsystemen im Jahre 2020 (13,5 Mio. in 2030) aus, im Szenario „Rollout Plus“ im Jahre 2020 von 9,8 Mio. (15,7 Mio. in 2030), plus 15 Mio. Basiszähler im Jahre 2020 (34,9 Mio. in 2030) [Dena2014].

Mit dem Ausbau erneuerbarer, vor allem volatiler Energien (wie Wind- und Solarstrom) wächst die Notwendigkeit, Energieerzeugung und -bedarf verstärkt automatisiert auszugleichen, so dass ein Gleichgewicht zwischen Stromangebot und -nachfrage herrscht und somit ein stabiler, zuverlässiger Netzbetrieb gegeben ist. Um dies zu gewährleisten, halten die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) Regelleistung vor, die sie am Strommarkt über Ausschreibungen beschaffen, an denen sich zunehmend Betreiber sogenannter „virtueller Kraftwerke“ beteiligen. Virtuelle Kraftwerke (VK) vereinen eine Vielzahl meist kleinerer dezentraler Energieanlagen, die sich durch Aggregation und intelligente Steuerung wie ein Großkraftwerk verhalten können. Über diese Art der Poolbildung können auch Kleinlieferanten an den Ausschreibungen zur Erbringung von Regelleistung teilnehmen, wobei ein Schwerpunkt die Erbringung von Sekundärregelleistung (SRL) ist, an die die ÜNB insbesondere hinsichtlich der einzusetzenden Kommunikationstechnik Mindestanforderungen [Hertz2014] stellen, die vor allem Sicherheit und Verfügbarkeit betreffen.

2.4.7 Bildung

2.4.7.1 Die Branche E-Learning in Deutschland

Telelearning- und E-Learning-Anwendungen haben das Potenzial, zukünftige Unterrichtsformate grundlegend zu verändern. In virtuellen Klassenzimmern können Lernende und Studierende zukünftig unabhängig von ihrem Aufenthaltsort Lerninhalte wahrnehmen und gemeinsam neue Fähigkeiten erwerben. Mittels ihres barrierefreien, ortsunabhängigen Zugangs und Umgangs mit Lerninhalten stellen E-Learning-Angebote für Politik und Wirtschaft neue Möglichkeiten zur Verbreitung von Wissen und zur Verbesserung der Qualifikation dar. Die Europäische Union unterstützt die Verbreitung von E-Learning-Technologien und -Anwendungen und den Aufbau der Expertise zum Umgang mit ihnen. E-Learning wurde bereits seit 2000 eine Schlüsselrolle bei den Leitzielen der EU zugewiesen [Liikanen2001], um Europas Wirtschaft zur „wettbewerbsfähigsten und dynamischsten wissensbasierten Wirtschaft der Welt“ zu machen (vgl. [Cedefop2001]).

In Deutschland entstehen durch E-Learning neue Märkte, hauptsächlich bei der Erstellung/ Veredelung von digitalen Lerninhalten (38,5%), beim Verkauf/ der Vermietung von Software-Tools für E-Learning/ Wissensmanagement (22,5%), beim Anbieten/ Verkauf von digitalen Lerninhalten und E-Learning-Kursen (18,6%), bei der Beratung für E-Learning (11,8%), bei der Anpassung für E-Learning-Inhalte und E-Learning-Software (5,4%) (Stand 2014) [Mbb2015]. Auch wenn die E-Learning-Branche mit ca. 582 Mio. Euro (2014) Umsatz und ca. 9.000 Beschäftigten (2013) keinesfalls zu den großen Wirtschaftszweigen Deutschlands gehört [Mbb2014], sollte der volkswirtschaftliche und gesellschaftliche Nutzen von E-Learning-Angeboten nicht unterschätzt werden, speziell auch, um in Deutschland die Chancengleichheit beim Zugang zur Bildung unabhängig von der sozioökonomischen Herkunft und dem Wohnort sicherzustellen, und insbesondere auch, um neu ankommenden Flüchtlingen die Integration in den deutschen Arbeitsmarkt zu erleichtern [EU2016].

2.4.7.2 Vernetzte Anwendungen in der Branche Bildung

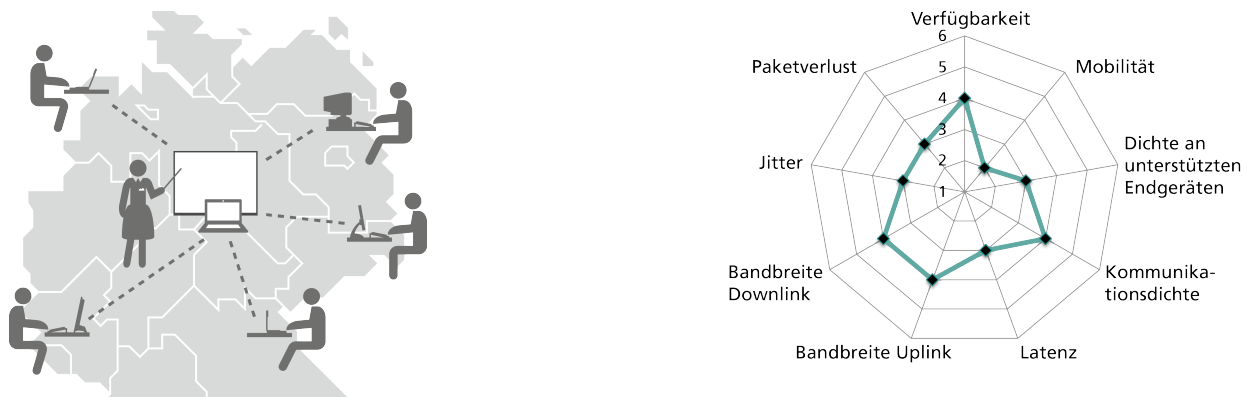
Zu den wesentlichen Anwendungen aus dem Bereich E-Learning zählen mobil nutzbare Plattformen und Werkzeuge zum Austausch und zur Zusammenarbeit (Diskussionsforen, Blogs, Werkzeuge zur gemeinsamen Bearbeitung und Kommentierung von Dokumenten, Chat-Systeme etc.), Werkzeuge zur Datenanalyse (z. B. für die einfache Bewertung von Tests), virtuelle Klassenzimmer und Content-Managementsysteme (z. B. zur gemeinschaftlichen Dokumentablage) (vgl. [Brandon2016]).

2.4.7.3 Netzbedarfsanalyse zukünftiger Anwendungsszenarien

SCENARIO 1: Online-Kurse mit vielen Teilnehmern

Online-Kurse mit sehr großer Teilnehmerzahl (engl. Massive Open Online Courses, MOOC) [Eteaching2016] stellen sowohl für die Anbieter als auch die Lernenden eine gewisse Herausforderung dar, da durch die große Teilnehmerzahl sich sowohl Lehrmethodik als auch Lernmethodik von herkömmlichen E-Learning-Formaten unterscheiden [Mooc2013]. Meist handelt es sich um Online-Kurse mit wissenschaftlichem Inhalt. Die interaktiven Vorlesungen, bei denen auch Multiple Choice-Fragen gestellt werden, laden zur Diskussion in Internetforen ein. Typischerweise ist die Teilnahme kostenfrei. Nachdem das MOOC-Format zunächst von US-amerikanischen Universitäten angeboten wurde, sind nun auch in Deutschland diverse Anbieter in diesem Sektor hinzugekommen (vgl. [Deutschland2014]).

Abbildung 23: Anwendungsszenario „Online-Kurse mit großen Teilnehmerzahlen (MOOC)“



Technisch gesehen ähneln die Anforderungen für die Teilnahme an einem Online-Kurs denen einer Videokonferenz mit Chat und Datentransferfunktionalitäten. Während sich serverseitig (also beim Anbieter/Betreiber des Online-Kurses) bei einer hohen Anzahl (hier exemplarisch 1.000) an Teilnehmern und einer hohen Auflösung der Videoübertragung im unidirektionalen Modus hohe Bandbreiten im Uplink (500–1.000 Mbit/s), im bidirektionalen/ symmetrischen Fall sehr hohe Bandbreiten im Uplink (>100 Gbit/s) und hohe Bandbreiten im Downlink (~1 Gbit/s) ergeben, so sind die Anforderungen auf Teilnehmerseite im unidirektionalen Modus im Downlink eher gering (~1 Mbit/s), im symmetrischen Fall hingegen moderat (~100 Mbit/s) (vgl. [Trueconf2016]). Im Uplink werden ebenso nur moderate Bandbreiten (Größenordnung 10 Mbit/s) erforderlich. In puncto Latenz und Paketverlust gelten die typischen Dienstgüteparameter für Videoübertragung [Cisco2004], d. h. für unidirektionales Streaming niedrige Anforderungen bzgl. Paketverlust <5% und Latenzen <4 s, für bidirektionales, interaktives Video ein Paketverlust <1%, eine unidirektionale Latenz <150 ms und Jitter-Werte <30 ms.

Eine Abschätzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Anwendungsszenarios ist in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 21: Nichtfunktionale Anforderungen des Szenarios Online-Kurse (MOOC)

Nichtfunktionale Parameter	Grad	Kommentar
Sicherheit	gering	Zumeist geringer Schutzbedarf bei der Nutzung öffentlicher Bildungsinhalte.
Netzwerkmanagement	wenig flexibel	Typischerweise Zugang über Standardverbindungen.
Wirtschaftlichkeit	moderat	Nutzung sollte über vorhandene Pauschaltarif-Anbindungen keine zusätzlichen Kosten verursachen.
Offenheit	hoch	Nutzung unterschiedlicher, heterogener Systeme und Dienste erforderlich.
Ressourcen-/ Energieeffizienz	hoch	Obschon die Teilnahme zumeist ortsgebunden ist, sollte die mobile Teilnahme (Smartphones, Tablets) auf energieeffiziente Weise realisierbar sein.

Anwendungsbeispiele:

Abgesehen von der Teilnahme am Unterricht eines MOOC können Beiträge oder Kommentare zu einem Thema verfasst und mit anderen Teilnehmenden geteilt werden, Multiple Choice-Tests durchgeführt, Interessensgruppen gebildet und Dokumente und Medien ausgetauscht werden ([PLENK2010], [Robbes2012]).

2.4.7.4 Ausblick

E-Learning-Anwendungen stellen eine wertvolle Bereicherung für Schüler, Studierende und Auszubildende dar [Deutschland2014] – ob es sich um neuere Formate wie Online-Kurse mit großen Teilnehmerzahlen (MOOC) handelt, um Mischformen wie „Blended Learning“ (eine Kombination aus web-basiertem Selbststudium und Präsenzunterricht), um „traditionelle“ Webinare, Video-, Telefonkonferenzen oder Gruppen-Chats, Online-Foren oder gemeinschaftlich genutzte Cloud-Storage- und Content-Management-Systeme. Mit einer signifikanten prognostizierten jährlichen Wachstumsrate von über 12% [RM2016] in den Jahren 2016–2020 wird der E-Learning-Markt weiter wachsen. Neue Formate, Anwendungen und Lerninhalte werden verfügbar sein und Möglichkeiten zum Fernunterricht in unserer immer mobiler werdenden Gesellschaft auf zunehmendes Interesse stoßen.

Die Bundesregierung sieht in ihrer Digitalen Agenda 2014–2017 [Bundesregierung2014] in den neuen digitalen Nutzungsmöglichkeiten „große Chancen des Lernens, der Fort- und Weiterbildung, des Aufstiegs und der Teilhabe am wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Leben“ und unterstützt und forciert den „stärkeren Einsatz digitaler Medien in der Bildung und im gesamten Lebenslauf“. Jedoch scheitert die Nutzung dieser neuen Möglichkeiten häufig am knappen Budget der Schulen oder am Widerwillen oder Unvermögen der Lehrer, diese Technologien zu nutzen [Frost2016b].

2.5 Zusammenfassung und Fazit

Die Bedarfsanalyse der unterschiedlichen Anwendungsszenarien aus verschiedenen Anwendungsdomänen bestätigt das erwartete heterogene Bild an Anforderungen an die Netzinfrastruktur der Gigabitgesellschaft. Besonders deutlich wird dies an der großen Spannweite der erforderlichen funktionalen und nichtfunktionalen Netzparameter.

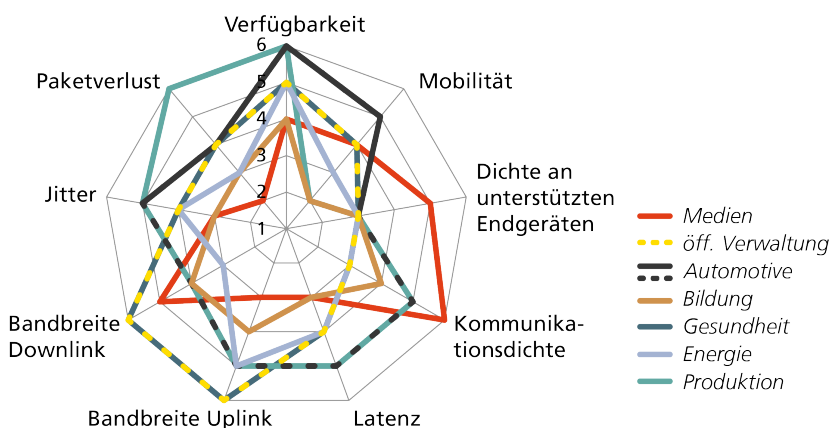
Wie aus Tabelle 22 und Abbildung 24 hervorgeht, haben die analysierten Anwendungen aus dem Bereich Automotive und Industrie die höchsten Anforderungen an den Parameter Verfügbarkeit. Dies ist nicht verwunderlich, da es sich beim autonomen Fahren, genauso wie bei den Prozessen und Steuerungen in der Produktion, um äußerst kritische Vorgänge handelt, bei denen ein Versagen von Systemen u. U. zu einem Verlust von Menschenleben führen kann. Ebenso erwartet hoch sind die Anforderungen an Mobilität, die ggf. noch von den Mobilitätsanforderungen aus dem Bereich der Schnellzüge (nicht analysiertes Szenario) übertroffen werden könnten (höhere Geschwindigkeit, mehr Fahrgäste auf begrenztem Raum). In puncto Kapazität stellen Großveranstaltungen mit Tausenden Besuchern, die hochauflösende mediale Inhalte konsumieren, eine sehr große Herausforderung dar, sowohl an die zu unterstützende Dichte an Endgeräten als auch die daraus resultierende flächenbezogene Kommunikationsdichte. Dies spiegelt sich in den aktuellen 5G-Zielen (bis zu 1 Mio. Endgeräte/km² und 10 Tbit/s/km²) der 5G-PPP wider [5GAss2015].

Tabelle 22: Kumulierte Anforderungen an funktionale Netzparameter der analysierten Anwendungsszenarien

Klassen	Metriken	Medien	Automotive	Gesundheit	Industrie	ÖV	Bildung	Energie
Konnektivität	Verfügbarkeit	4	6	5	6	5	4	5
	Mobilität	4	5	4	2	4	2	3
Kapazität	Dichte an unterstützten Endgeräten	5	3	3	3	3	3	3
	Kommunikationsdichte	6	5	3	5	3	4	3
Dienstgüte/ QoS	Latenz	3	5	4	5	4	3	4
	Bandbreite Uplink	3	5	6	5	6	4	5
	Bandbreite Downlink	5	4	6	4	6	4	3
	Jitter	3	5	4	5	4	3	4
	Paketverlust	2	4	4	6	4	3	3

Bei der Latenz haben ebenfalls die analysierten Anwendungsszenarien aus dem Bereich Automotive und Industrie/ Produktion die höchsten Anforderungen. Für manche äußerst zeitkritischen Anwendungen aus dem Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens und vor allem auch für industrielle Steuerungsprozesse sind teilweise sogar Reaktionszeiten deutlich unter 1 ms erforderlich. In direktem Zusammenhang mit den hohen Anforderungen bzgl. der Latenzen stehen auch die hohen Anforderungen an den Jitter, d. h., eine möglichst geringe Varianz der Laufzeit der Datenpakete. Hohe erforderliche Bandbreiten im Up- und Downlink sind zumeist auf das Senden/ Empfangen von hochauflösenden Videodaten zurückzuführen, dies ist vor allem im untersuchten Anwendungsszenario im Bereich Medien der Fall. Hinzu kommt, dass, wie bereits bei der Analyse des industriellen Videoanalyseszenarios in 2.4.4.3 erwähnt, bei einer großen Zahl von öffentlichen cloud-basierten Videoanalyse-Systemen in der Produktion die Bandbreitenanforderungen im Uplink auf Anschlussebene der Produktionsanlage in exorbitante Höhen (u. U. 10–100 Gbit/s im Anschluss) wachsen würden. Dies wurde in Tabelle 23 und Abbildung 25 nicht erfasst. Ebenfalls hohe Bandbreitenanforderungen (Uplink und Downlink) zeigen sich in den untersuchten Szenarien der öffentlichen Verwaltung und Gesundheit. Das ist vor allem dort der Fall, wo kontinuierlich ein Datenaustausch zwischen größeren Rechenzentren stattfindet. Die hohen industriellen Anforderungen bzgl. Paketverlust resultieren vor allem aus der Tatsache, dass speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) teilweise sehr sensibel auf Paketverluste reagieren.

Abbildung 24: Kumulierte Anforderungen an funktionale Netzparameter der analysierten Anwendungsszenarien

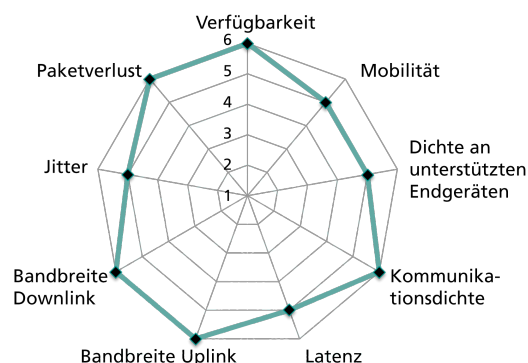


Die folgende Tabelle 23 und Abbildung 25 fassen die Maximalanforderungen bzgl. der erforderlichen Netzparameter aller untersuchten Anwendungsszenarien zusammen. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Netz, das diesen Anforderungen genügt, die Anforderungen der überwiegenden Mehrheit aller Anwendungen der Gigabitgesellschaft befriedigen kann, zumal in puncto Uplink- und Downlink-Bandbreite (in Abhängigkeit von der Anzahl der Nutzer) häufig noch höhere Bandbreiten erforderlich sind, wenn es um den Anschluss ganzer Bildungseinrichtungen, Produktionsstätten, Krankenhäuser etc. geht (siehe auch Kommentare zu den angegebenen Maximalbandbreiten in Tabelle 23 im nächsten Abschnitt).

Tabelle 23: Maximal erforderliche Qualitätsklassen der analysierten Anwendungsszenarien*

Klassen	Metriken	Qualitätsklasse/Maximalwert
Konnektivität	Verfügbarkeit [%]	6/≥99,999
	Mobilität [km/h]	5/500
Kapazität	Dichte an unterstützten Endgeräten [# / km ²]	4/10.000
	Kommunikationsdichte [Gbit/km ²]	5/>1.000
QoS	Latenz [ms]	5/1
	Bandbreite Uplink [Mbit/s]*	6/≥1.000*
	Bandbreite Downlink [Mbit/s]*	6/≥10.000*
	Jitter [ms]	5/0,1
	Paketverlust [%]	6/≤0,0001

Abbildung 25: Maximale erforderliche Qualitätsklassen der analysierten Anwendungsszenarien*



Bei den in Tabelle 23 angegebenen Maximalwerten für Bandbreiten (*) ist zu beachten, dass bei einigen der untersuchten Anwendungsszenarien die Bandbreitanforderungen für einzelne Endpunkte (z. B. 1 Fahrzeug, 1 AR-Assistenzsystem-Arbeitsplatz in der Produktion) erfasst wurden. Bei z. B. 300 Arbeitsplätzen mit Augmented Reality (AR) Assistenzsystemunterstützung in einer Produktionsumgebung können über 100 Gbit/s im Anschluss der Produktionsumgebung benötigt werden. Selbiges gilt z. B. auch für den Betrieb

(also nicht die Nutzung eines einzelnen Telelearning Arbeitsplatzes) eines virtuellen, bidirektionalen E-Learning-„Klassenzimmers“ mit sehr vielen Teilnehmern (siehe Szenario „Massive Open Online Courses“ unter Abschnitt 2.4.7.3) in einer Bildungseinrichtung, ebenso für die Anbindung ganzer Unternehmensstandorte, Krankenhäuser (siehe Szenario „Gesundheitsdatenbank“ unter 2.4.3.3), öffentlicher Einrichtungen (siehe Szenario „Fachdienste aus großen Rechenzentren“ unter 2.4.7.3), etc. Hier werden im Anschluss in vielen Fällen deutlich höhere Bandbreiten benötigt als die hier hinsichtlich der Bandbreite angegebenen Maximalwerte.

Bei der Betrachtung der nichtfunktionalen Leistungsparameter Sicherheit, Management und Ressourceneffizienz ergeben sich vergleichbare Anforderungen an die Netzinfrastruktur. Die einzelnen Leistungsparameter werden in unterschiedlichen Anwendungsszenarien als besonders notwendig erachtet. Bei einer kumulierten Betrachtung dieser Parameter ergibt sich wiederum eine insgesamt sehr hohe Anforderung an die Netzinfrastruktur der Gigabitgesellschaft.

Der Parameter Sicherheit ist besonders wichtig, wenn es um die Übertragung sensibler persönlicher Daten geht oder um die Steuerung von Maschinen. Der Parameter automatisiertes Netzwerkmanagement wird besonders gefordert, wenn die Konfiguration einer umfangreichen, flächendeckenden Infrastruktur das Ziel ist oder wenn die Dynamik der Kommunikationsverbindungen im Mittelpunkt der Betrachtung steht.

Zwei Beispiele sollen das illustrieren: In zukünftigen industriellen Produktionsszenarien werden auf Grund der geforderten Flexibilität dynamisch wechselnde Kommunikationsverbindungen wichtiger werden. Zum Management des Mobilfunknetzes sind Tausende von Basisstationen zu steuern, was nur automatisiert geschehen kann. Im Produktionsszenario kann das Netzwerkmanagement insbesondere die Anforderungen der Sicherheit unterstützen, im Mobilfunkbeispiel unterstützt das Netzwerkmanagement durch seinen Beitrag zur Automatisierung auch den wirtschaftlichen Betrieb.

Die Forderung nach Wirtschaftlichkeit beim Aufbau und Betrieb von Netzen ist grundsätzlich gegeben, aber es muss zwischen verschiedenen Anwendungsszenarien unterschieden werden: Bei der Unterstützung hochwertiger Anwendungen und kostenintensiver, kritischer Prozesse (bspw. die Überwachung einer teuren Maschine oder die Durchführung medizinischer Untersuchungen) sind die Kommunikationskosten weniger preissensitiv als bei Standardanwendungen im Massenmarkt. Dementsprechend sind die Netzbetreiber daran interessiert, höherwertige Dienste anzubieten bzw. sich als Systemdienstleister an der Wertschöpfung der Anwendung oberhalb der Netzinfrastruktur zu beteiligen.

Die Anforderungen in Bezug auf Offenheit sind in fast allen Anwendungsbereichen hoch. Meist ist es notwendig, unterschiedliche Geräte miteinander zu koppeln und verschiedene Datenformate bzw. Software-Schnittstellen zu unterstützen. Lediglich in einzelnen Domänen sind die Varianten geringer, was jedoch keine Einschränkung der Offenheit bedeuten muss. Die Offenheit ist auch als Grundlage zur Förderung von Innovationen und Wettbewerb als externe, gesellschaftliche Anforderung an Netzinfrastrukturen wichtig.

Ressourcen- bzw. Energieeffizienz zielt in den betrachteten Anwendungsszenarien vor allem auf die Energieversorgung ab. Dort haben ein Teil der Mobilitätsszenarien erhöhte Anforderungen auf Grund der Akkukapazitäten, wenn nicht auf eine externe Energieversorgung bspw. in einem Fahrzeug zurückgegriffen werden kann. Auf Grund des enormen Umfangs von IKT-basierten Prozessen und von Kommunikation im Netzzugangsbereich (mit dem flächendeckenden Betrieb von Netzwerkkomponenten der Infrastruktur, aber auch der lokalen IT-Infrastruktur nach dem Teilnehmeranschluss) ist der Faktor Energie generell von großem Interesse. Auch hier gibt es wieder ein starkes gesellschaftliches Interesse an dem Aufbau nachhaltiger IKT-Infrastrukturen.

Die folgende Tabelle 24 fasst die wichtigsten Erkenntnisse aus der Bedarfsanalyse der untersuchten Anwendungsszenarien der einzelnen Anwendungsdomänen zusammen.

Tabelle 24: Zusammenfassung der analysierten Anwendungsszenarien

Anwendungsdomäne	Anwendungsszenario	Leistungsfähigkeit der Netzinfrastruktur	Anforderungen an Netzinfrastrukturen
Automotive	Hochautomatisiertes Fahren	medium	Moderate Bandbreiten im Up-/Downlink, moderate Anforderungen an Latenzen, hohe Mobilitätsanforderungen, moderate Sicherheitsanforderungen.
	Teleoperiertes Fahren	hoch	Hohe Bandbreiten im Uplink, moderate Bandbreiten im Downlink, hohe Verfügbarkeitsanforderungen, sehr hohe Anforderungen an Latenz und Sicherheit, hohe Mobilitätsanforderungen.
	Kollaboratives autonomes Fahren	hoch	Hohe Bandbreiten im Uplink und im Downlink, sehr hohe Anforderungen an Latenzen, Verfügbarkeit und Sicherheit, hohe Mobilitätsanforderungen.
Industrie	Assistenzsysteme mittels erweiterter Realität	hoch	Hohe Anforderungen an Latenzen und hohe Bandbreiten im Downlink, abhängig von den eingeblendeten Erweiterungen moderate bis große Downlink-Bandbreiten, hohe Sicherheitsanforderungen. Bei Einsatz von mehreren Systemen sehr hohe Anforderungen an Bandbreiten.
	Qualitätssicherung mittels cloud-basierter Videoanalyse	hoch	Hohe Bandbreiten im Uplink, sehr geringe Latenzen, sehr hohe Verfügbarkeitsanforderungen, hohe Sicherheitsanforderungen. Bei Einsatz von mehreren Videoanalysesystemen sehr hohe Anforderungen an Bandbreiten.
Energie	Smart Metering	medium	Auf der Ebene der intelligenten Zähler: Geringe Anforderungen an Bandbreiten im Uplink und Downlink, geringe Anforderungen an Latenzen, geringe Anforderungen an Verfügbarkeit, aber höchste Sicherheitsanforderungen.
	Service und Wartung von Offshore-Windparks	hoch	Hohe Anforderungen an Bandbreiten im Uplink, hohe Sicherheitsanforderungen, moderate Anforderung an Latenzen beim reinen Monitoring, dafür hohe Anforderungen an Latenzen bei Fernsteuerung von Wartungsdrohnen.
Medien	Smart City-Informationen mittels 360°-Video	hoch	Hohe Anforderungen an Bandbreiten im Downlink, bei interaktiven (AR-) Inhalten hohe Anforderungen an Uplink-Bandbreiten und Latenzen, moderate Anforderungen an Verfügbarkeit, geringe Sicherheitsanforderungen. Für Massenveranstaltungen sehr hohe Anforderungen an Kommunikations- und Endgerätdichten.
Medizin	Vitaldaten Monitoring	medium	Geringe Anforderungen an Bandbreiten, hohe Verfügbarkeitsanforderungen, mitunter hohe Mobilitätsanforderungen, hohe Sicherheitsanforderungen.
	Videokonsile und Videokonsultation	medium	Moderate Anforderungen an Bandbreiten, Latenzen und Verfügbarkeit, hohe Sicherheitsanforderungen.

Anwendungsdomäne	Anwendungsszenario	Leistungsfähigkeit der Netzinfrastruktur	Anforderungen an Netzinfrastrukturen
Medizin	Gesundheitsdatenbank	hoch	Sehr hohe Bandbreiten, geringe Anforderungen an Latenzen, sehr hohe Sicherheitsanforderungen.
Öffentliche Verwaltung	Fachdienste aus großen Rechenzentren	hoch	Hohe Verfügbarkeit, sehr hohe Bandbreiten für E-Government-Rechenzentren, sehr hohe Sicherheitsanforderungen.
	Digitales Bürgeramt	medium	Hohe Verfügbarkeit, moderate Bandbreiten und Latenzen für Bürgerdienste, sehr hohe Sicherheitsanforderungen.
	Digitale Landtechnik	hoch	Hohe Anforderungen bzgl. mobiler Abdeckung im ländlichen Raum, moderate Bandbreite-, Latenz und Mobilitätsanforderungen. Hohe Sicherheitsanforderungen.
Bildung	Online-Kurse mit vielen Teilnehmern	medium	Moderate Anforderungen bzgl. Bandbreiten bei den Teilnehmern, hohe bei Nutzung von VR/AR-Anwendungen.

Im Folgenden werden die Kernaussagen zur wirtschaftlichen bzw. gesellschaftlichen Relevanz von leistungsfähigen Netzinfrastrukturen der jeweils untersuchten Anwendungsdomänen zusammengefasst.

Automotive:

Der Ausbau der Netzinfrastruktur an deutschen Mobilitätstrassen stellt ein entscheidendes Erfolgskriterium für die Realisierung des automatisierten und vernetzten Fahrens und damit für die deutsche Automobilindustrie dar. Das gesellschaftliche Potenzial dieser Technologie ist zurzeit noch nicht vollumfänglich einschätzbar.

Industrie:

Industrie 4.0-Technologien stellen ein entscheidendes Erfolgskriterium für die Produktion in Deutschland dar. Eine Vielzahl industrieller Anwendungen haben sehr hohe Leistungsanforderungen an die Netzinfrastrukturen. Während zunächst lokale, private Netzinfrastrukturen an den unterschiedlichen Produktionsstandorten genutzt werden, haben zukünftige niederlatente, hochperformante, über öffentliche Netzinfrastrukturen nutzbare Industrie 4.0-Anwendungen ein großes Potenzial (speziell für den deutschen Mittelstand).

Medien:

Für die Zukunft der deutschen Medienbranche stellt die Bereitstellung hochbitratiger Netzinfrastrukturen ein wichtiges Erfolgskriterium dar, zumal internationale Wettbewerber derzeit einen deutlich größeren Marktanteil speziell bei internetbasierten Streaming-Angeboten haben. Die netzinfrastrukturelle Befähigung zur Nutzung neuer hochauflösender Medienformate ist vor allem im Heimbereich (in dem auch neue Gaming-/Videospielformate eine große Rolle spielen) und in Bildungseinrichtungen von hoher gesellschaftlicher Relevanz.

Bildung:

Für die Zukunft des deutschen Bildungssystems stellt die netzinfrastrukturelle Unterstützung sowohl für den Präsenz- als auch für den Fernunterricht ein immer wichtiger werdendes Kriterium dar, da sie unabhängig vom Aufenthaltsort des Lernenden einen barrierefreien Zugang zu Lerninhalten erlaubt. Abhängig von den zukünftig zu unterstützenden medialen Lerninhalten und Anwendungen werden moderate bis erhebliche Anforderungen an die Netzinfrastruktur speziell auch in der Fläche (u. a. Versorgung von Fernlernenden auf dem Land) gestellt.

Gesundheit:

Telehealth-, Telemonitoring- und ambient assisted living-Anwendungen haben ein großes Potenzial für das deutsche Gesundheitssystem, speziell auch um die Versorgung unserer alternden Gesellschaft sicherzustellen, obschon in vielen Fällen deren Realisierung weniger am technologischen Reifegrad, sondern oftmals an rechtlichen/ politischen Regularien scheitert.

Öffentliche Verwaltung:

Für die Zukunft der öffentlichen Verwaltung in Deutschland hat die intrabehördliche Nutzung von Netzinfrastrukturen nach wie vor ein großes Potenzial, sowohl zur Effizienzsteigerung von Prozessen unter den Ämtern und Behörden als auch für die Bürger selbst. In vielen Fällen stellen rechtliche/ politische Hürden allerdings größere Schwierigkeiten bei der Umsetzung dar als die technischen Grenzen der Netzinfrastruktur.

Energie:

Im Zuge der Energiewende wird es zunehmend nötig sein, eine Vielzahl von intelligenten Messsystemen auf hochsichere Weise zu vernetzen, Energieerzeugung und -verbrauch intelligent zu steuern, kleine und größere Kraftwerke effizient zu überwachen und zu warten.

Als Fazit der Bedarfsabschätzung kann konstatiert werden, dass zukünftige Anwendungen der Gigabitgesellschaft hochdifferenzierte Anforderungen an die Netzinfrastruktur haben. Für viele Anwendungsszenarien sind u. a. niedrige Latenzen, höchste Sicherheit und höchste Verfügbarkeit von größerer Bedeutung als höchste Datenraten. Um die Anforderungen vieler der untersuchten Anwendungsszenarien befriedigen zu können, ist eine signifikante Steigerung der Leistungsfähigkeit und Ausdifferenzierung der Netzinfrastruktur erforderlich. Neben der technischen Machbarkeit ergeben sich auch aus rechtlichen und politischen Regularien (speziell in den Bereichen Gesundheit und öffentliche Verwaltung) Anforderungen, die es beim Ausbau der digitalen Infrastrukturen zu berücksichtigen oder anzupassen gilt.

3 Netztechnologien und intelligente Netzfunktionen

In Deutschland werden aktuell verschiedene Technologien zur Breitbandversorgung von Industrie, Gewerbe, öffentlichen Einrichtungen und Privathaushalten eingesetzt. Dieses Kapitel beschreibt, analysiert und klassifiziert diese Technologien, ihre Eigenschaften und Einsatzgebiete. Dabei wird in Abschnitt 3.1, nach einer Übersicht über die Technologieklassen, durch Steckbriefe für die einzelnen Technologien aufgezeigt, welche Anschlussqualitäten damit aktuell realisiert werden. Weitere Technologiesteckbriefe aus jeder Klasse, die sich auf zukünftige Technologievarianten beziehen, erlauben einen Blick auf die Fähigkeiten der jeweiligen Nachfolgetechnologien.

Abschnitt 3.2 beschreibt, wie verschiedene Technologien miteinander verknüpft werden können, um Leistungsfähigkeit bzw. Verfügbarkeit zu steigern, und Abschnitt 3.3 gibt einen Ausblick auf die Nutzbarkeit der Technologien in verschiedenen Bereichen. Abschnitt 3.4 geht auf die Notwendigkeit von intelligenten Netzfunktionen ein. Diese unterstützen die verfügbaren Übertragungstechnologien dort, wo deren Eigenschaften allein nicht mehr ausreichend sind, um die Bedarfe aller Anwendungen der Gigabitgesellschaft zu decken.

Die technischen Beschreibungen in diesem Kapitel werden durch zusätzliche Informationen in Anhang I (Beschreibung der IKT-Enabler) und Anhang II (Detaillierte Technologiesteckbriefe) ergänzt. Diese Informationen dienen als Grundlage für die Empfehlungen zum Einsatz dieser Technologien bzw. von Technologiemixen und intelligenten Netzfunktionen, die in Kapitel 4 dargestellt werden.

Für den breitbandigen Netzzugang werden in Deutschland bisher DSL-Technologien, Kabelnetze, Glasfaser- und Funktechnologien eingesetzt. Innerhalb von Providernetzen und zwischen diesen werden dagegen gegenwärtig nahezu ausschließlich Glasfasertechnologien genutzt. Die Eigenschaften dieser Kernnetze werden jedoch bei der folgenden Betrachtung ausgespart. Der Fokus liegt in diesem Kapitel auf den für den **Netzzugang** genutzten Technologien. Diese lassen sich auf die folgenden vier Technologiegruppen aufteilen:

- Kupfertechnologien wie DSL, VDSL und deren Nachfolger, die auf Telefonleitungen aufbauen,
- Koaxialtechnologien wie DOCSIS, die TV-Kabel nutzen,
- Glasfasertechnologien und
- Funktechnologien, incl. Mobilfunk, WLAN und Satellit.

Neben der nominellen und der real erreichbaren Datenübertragungsrate (in Mbit/s) unterscheiden sich die Technologien dieser vier Klassen hinsichtlich folgender Parameter:

- Skalierbarkeit (in Bezug auf Anzahl der Nutzer bzw. Endgeräte),
- Latenz, also die Verzögerung bei der Datenübertragung,
- Upload-Datenrate im Vergleich zur Download-Datenrate („Symmetrie“),
- Wirtschaftlichkeit (als initialer Aufwand oder bei der Aufrüstung),
- Effizienz im Betrieb (z. B. spektrale Effizienz oder Energieeffizienz),
- Flexibilität, also die Anpassbarkeit bei sich ändernden Anforderungen.

Auf Grund der sehr unterschiedlichen technischen Grundlagen zur Realisierung der Datenübertragung bieten die verschiedenen Technologien je nach betrachtetem Qualitätsparameter unterschiedliche Vorzüge. Hinsichtlich der Abdeckung ist die Satellitenlösung optimal, mit Blick auf Übertragungsgeschwindigkeit und Zukunftssicherheit die Glasfaser, und bezogen auf die Wirtschaftlichkeit beim Roll-Out ist es die Weiterverwendung bereits installierter leitungsgebundener Verfahren.

Eine technisch wie wirtschaftlich „beste Technologie für alles“, welche in allen Eigenschaften alle Anwendungsfälle optimal abdecken kann, existiert nicht. Daher ist bei der Wahl einer einzelnen bzw. mehrerer kombinierter Technologien das Ziel immer eine dem Einsatzzweck angemessene Abdeckung der notwendigen Leistungsparameter, bevorzugt in einer nachhaltig darstellbaren Ausprägung.

3.1 Analyse der Technologieklassen

Zur Anbindung von privaten wie gewerblichen Endkunden an das Internet sind im Laufe der vergangenen Jahrzehnte viele Technologien entwickelt worden, die z. T. bereits wiedereingestellt wurden. Allen gemein sind die digitale Datenübertragung und eine im Laufe der Zeit immer ausgefeiltere Ausnutzung des Übertragungsmediums, im Streben nach mehr Bandbreite, mehr Effizienz und geringeren Übertragungslatenzen. Im Folgenden werden die aktuell und zukünftig relevantesten Technologien aus den o. g. vier Klassen betrachtet.

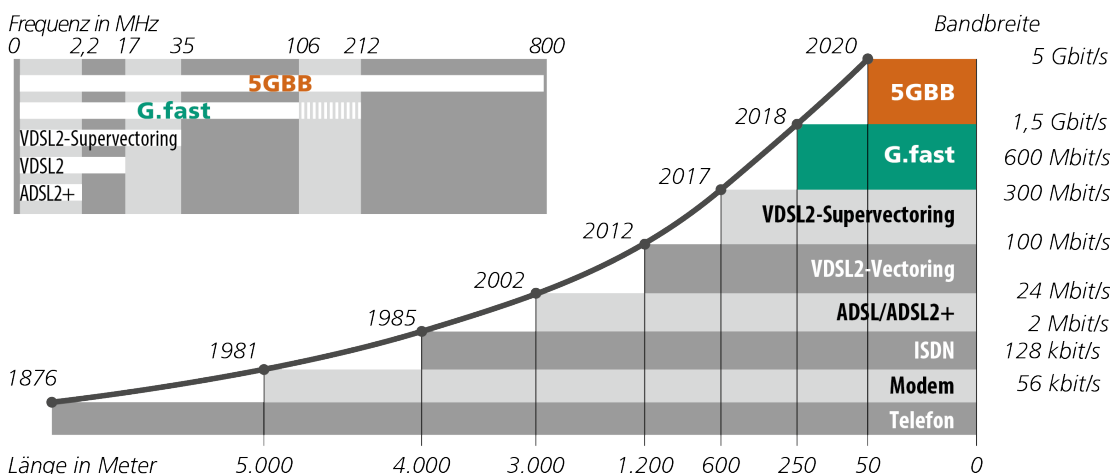
Im Anschluss an die vier Abschnitte, welche die Technologieklassen beschreiben, folgt eine tabellarische Übersicht über die Eigenschaften der einzelnen Technologien (ab Seite 85 ff.). Deren detaillierte Einzelsteckbriefe sind in Anhang II zu finden.

3.1.1 DSL-Technologien (Kupferdoppelader)

Ausgehend von der analogen Telefonie über verdrehte Kupferdoppeladern wurden in der Vergangenheit viele Technologien entwickelt, standardisiert und ausgerollt, die diese bereits verlegten Kabelstränge nutzen: ISDN, ADSL, ADSL2, VDSL1 und VDSL2. In Zukunft werden die G.fast- und XG-Fast-Technologien dazukommen.

Mit dem Wechsel auf neuere, schnellere Kupferkabeltechnologien geht aufgrund der Dämpfung der Signale auf diesen Kabeln eine stetige Verkürzung der Anschlussstrecke („letzte Meile“) einher und damit ein Näherkommen der mit DSL- bzw. Nachfolgetechnologien verbundenen Glasfaseranbindungen bis letztendlich zum Gebäude der Anschlussnehmer (Fiber to the Building, FTTB). Durch diesen schrittweisen Glasfaserausbau in den DSL-Netzen können mit neueren DSL-Technologien deutlich höhere Datenraten erreicht werden. Höhere Datenraten auf Kupferdoppeladern erfordern zwingend einen schrittweisen Glasfaserausbau.

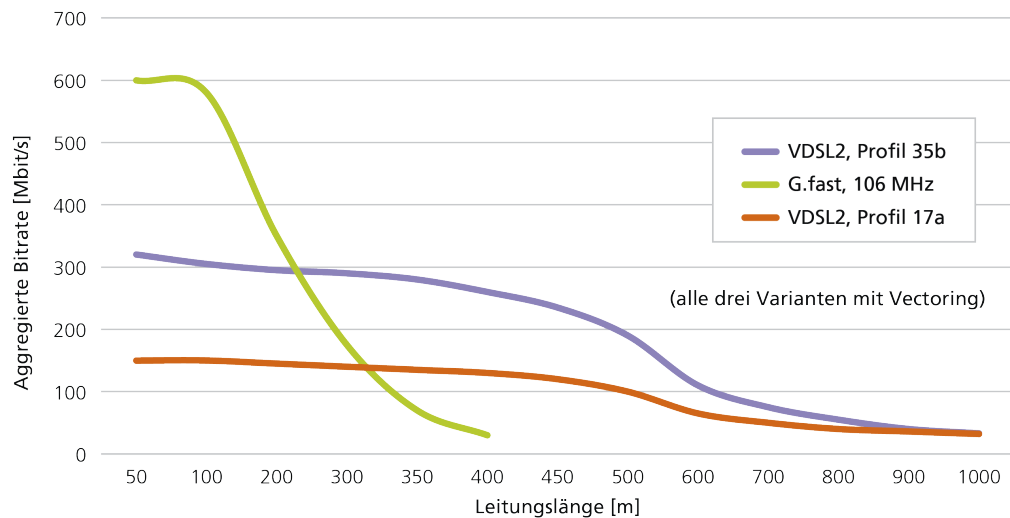
Abbildung 26: Technische Entwicklung und Prognosen für die DSL-Technologien



In Abhängigkeit von der Reichweite des Glasfaserausbaus unterscheidet man zwischen Fiber to the Curb (FTTC), Fiber to the Building (FTTB) und Fiber to the Home (FTTH). In Deutschland dominiert derzeit der FTTC-Ausbau. Dabei werden (bestehende) Kupferleitungen nur noch auf der Strecke zwischen dem Kabelverzweiger („grauer Kasten“ am Straßenrand) und dem Teilnehmeranschluss genutzt. Für die nächste Stufe, z. B. G.fast, wird die Glasfaser bis an ein Gebäude bzw. in den Gebäudekeller geführt (FTTB). Vor dort aus wird die im Haus bestehende Kupferverkabelung genutzt. Die folgende Grafik verdeutlicht die

Abhängigkeit der erreichbaren Datenübertragungsraten (Summe von Upload und Download) von der genutzten Technologie und der Kabellänge:

Abbildung 27: Abhängigkeit der maximalen Datenraten von der Kabellänge

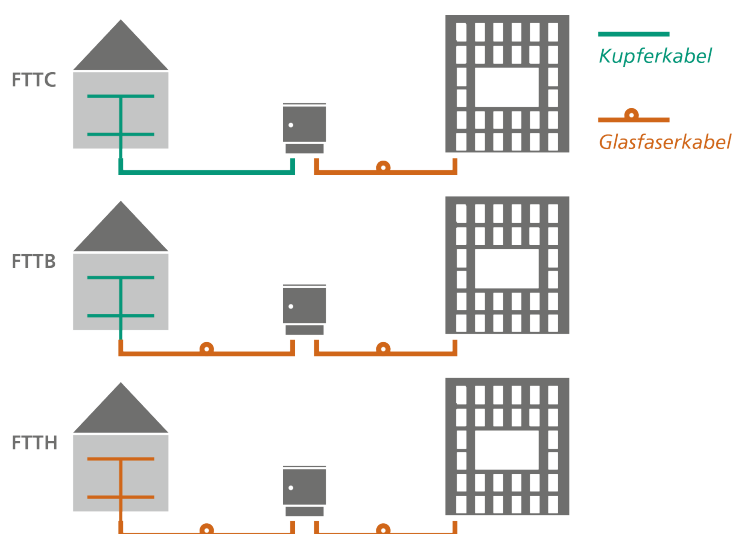


Wie aus der Abbildung deutlich wird, steigt mit fortschreitender technischer Entwicklung (VDSL2 17a, VDSL 35b, G.fast) die maximal realisierbare Datenübertragungsrate, gleichzeitig sinkt die maximale Kabellänge für Datenübertragungsraten nahe dem Maximum einer Technologie.

Besteht ein FTTB-Glasfaseranschluss, kann alternativ innerhalb des Gebäudes auch eine strukturierte Verkabelung mit Ethernet genutzt werden, sofern entsprechende Kabel verlegt sind. Die Ethernet-Variante, mit einem zentralen Zugangsrouter zur Terminierung des Glasfaseranschlusses, ist insbesondere bei Bürogebäuden Stand der Technik. Im Privatkundenbereich in Deutschland ist die Nutzung von Ethernet zur Inhouse-Netzanbindung mehrerer Mietparteien sehr selten (im Gegensatz z. B. zu Skandinavien).

Die folgende Grafik verdeutlicht die Optionen, Glasfaser in die Kupfernetze einzubringen:

Abbildung 28: Glasfaseranteil bei verschiedenen Ausbaustufen der DSL-Netze



Letztendlich kann also auch die Verkabelung im Haus selbst als Glasfaser ausgeführt sein (Fiber to the Home, FTTH), wodurch die Kupferdoppelader dann vollständig ersetzt wird. Die FTTH-Lösung wird auch

bereits von einigen DSL-Anbietern eingesetzt, zumeist dort, wo für Neubaugebiete größere Flächen komplett neu erschlossen werden (keine Bestandsbebauung).

Typische Datenraten: VDSL2 bis 50/10 Mbit/s, VDSL2/Vectoring bis 100/40 Mbit/s, VDSL2 35b (Super-Vectoring) bis 250/40 Mbit/s, G.fast 106 MHz bis 600 Mbit/s (aggregiert), G.fast 212 MHz bis 1.500 Mbit/s (aggregiert). In Entwicklung und Labortests XG-Fast bis 11 Gbit/s (aggregiert, mit Bonding).

Typische Datenraten Ethernet: 100/1.000/10.000 Mbit/s, im Full Duplex-Betrieb jeweils symmetrisch, in Entwicklung Zwischenstufen mit 2.500 und 5.000 Mbit/s.

Details dazu finden sich in der tabellarischen Übersicht in Abschnitt 3.1.5 und in den Technologie-steckbriefen in Anhang II. Im Gegensatz zu VDSL lassen Technologien wie G.fast und XG-Fast eine flexible Aufteilung der verfügbaren Datenraten zwischen Upload und Download zu. In den Steckbriefen ist daher für G.fast und XG-Fast eine aggregierte Datenrate dargestellt, welche die Summe aus Upload- und Download-Datenrate ausweist.

3.1.2 HFC-Technologien (Koaxialkabel)

Die Kabelnetze (auch: HFC-Netze, Hybrid Fiber Coax) wurden ursprünglich aufgebaut, um die terrestrische Übertragung zur Ausstrahlung des analogen Fernsehens um mehr Kanäle in besserer Qualität zu ergänzen. Seit Jahren werden diese Kabelnetze ausgebaut, auf digitale Übertragung umgestellt und erweitert, um darüber neben TV auch schnelle Internetverbindungen anzubieten. Für Letzteres mussten insbesondere Techniken geschaffen werden, die mit einem Rückkanal ausgestattet sind, welcher für TV-Nutzung nicht vorgesehen war. Heute kombinieren Kabelnetze ebenso wie DSL-Netze ihre Koaxialkabel auf der „letzten Meile“ mit leistungsfähigen Glasfaserstrecken.

Da TV-Kabel vornehmlich in Wohngebieten verlegt wurden, sind Wohngebiete beim heutigen HFC-Netz das zentrale Verbreitungsgebiet. Aktuell können ca. 70 Prozent aller deutschen Haushalte einen Internetzugang über HFC-Netze beziehen [ANBr2016]. Das genutzte Medium Koaxialkabel besitzt eine Schirmung, was zusammen mit dem genutzten Dielektrikum (z. B. Nylon) zu einer geringen Abstrahlung und damit zu einer hohen Leistungsfähigkeit führt. Mit elektrischen Verstärkern zur Regenerierung des Signals bestehen keine wesentlichen Längenrestriktionen für die Datenübertragung über Koaxialkabel. HFC-Netze sind als Shared Medium ausgeführt: Alle Endkunden in einem Cluster teilen sich die dort zur Verfügung stehende Gesamtbandbreite. Bei steigender Nachfrage wird ein Cluster-Split durchgeführt, bei dem ein vorhandenes Cluster in mehrere, kleinere Cluster aufgeteilt wird. Dadurch wird in den HFC-Netzen der Anteil der Glasfaser größer und die Glasfaser wird näher an die Häuser gebracht; dies kann, wenn erforderlich, bis hin zu FTTB- und FTTH-Strukturen erfolgen.

Die HFC-Netze übertragen bislang parallel zum Internetverkehr der Endkunden die Videodaten vieler Sender für das Kabelfernsehen. Durch eine Umwidmung bisher für die Rundfunkübertragung genutzter Frequenzbereiche könnte die Übertragungsleistung für die Internetversorgung im HFC-Netz noch weiter erhöht werden. Möglich wären bspw. eine Abschaltung der analogen TV- und Radioübertragung innerhalb des Angebots des Kabelanbieters und/oder eine Verlagerung von Spartensendern zu internetbasierten Streaming-Diensten.

Ferner werden die HFC-Netze vom DOCSIS-2.0- und DOCSIS-3.0-Protokoll auf das leistungsfähigere DOCSIS-3.1-Protokoll aufgerüstet werden, wodurch bei vorhandenen Koaxialkabeln ebenfalls die erreichbaren Datenraten signifikant gesteigert werden können.

Typische Datenraten Koaxialkabel: DOCSIS 3.0 bis 400/20 Mbit/s, DOCSIS 3.1 bis 1.000/100 Mbit/s, noch in Entwicklung und Labor DOCSIS 3.1+ mit 10 Gbit/s symmetrisch (Full Duplex).

Details dazu finden sich in der tabellarischen Übersicht ab Seite 85 ff. und in den Technologiesteckbriefen in Anhang II.

3.1.3 Glasfasertechnologien (FTTB/FTTH)

Die Datenübertragung über Glasfaser stellt die leistungsfähigste Möglichkeit dar und hat sich in allen Abschnitten von Netzen etabliert, insbesondere im Backbone, auf langen Übertragungsstrecken von dutzenden Kilometern Länge bis hin zu Interkontinentalverbindungen.

Glasfasernetze ermöglichen Datenübertragungsraten bis in den Multi-Gbit/s-Bereich in beide Übertragungsrichtungen. Auf Grund der sehr geringen Dämpfung und ggf. durch opto-elektrische Verstärker ergänzt, gibt es bei Glasfasern keine relevanten Längenbeschränkungen. Vorteilhaft ist zudem die Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen. Hinsichtlich des übertragenen Datenvolumens sind Glasfasern besonders energieeffizient, da sie sehr wenig Energie abstrahlen oder in Wärme umwandeln. Die Datenübertragung in Glasfasernetzen kann außerdem durch Bündelung der sehr dünnen Fasern in einem großen Bereich nach oben skaliert werden.

Stand der Technik ist die Anbindung neu aufgebauter Verteilerknoten (Hauptverteiler, ebenso wie DSLAMs) und neuer Mobilfunkbasisstationen mit Glasfaser. Im Zuge des stetigen Anstiegs der benötigten Bandbreiten bei den Endkunden werden außerdem vermehrt Glasfasern bis direkt zu Firma, Bürogebäude oder Wohnung des Endkunden installiert (FTTH). FTTH-Anschlüsse sind aktuell in Deutschland für ca. 7% der Privathaushalte verfügbar.¹

Bei FTTH-Netzen wird jeweils eine von zwei unterschiedlichen Netzstrukturen verwendet: Bei der PON-Technik (Passive Optical Network) handelt es sich um eine baumartige Punkt-zu-Mehrpunkt-Architektur, bei der sich die Endkunden von einem Glasfaserverteilerpunkt aus eine gemeinsame Glasfaserzuführung teilen (Shared Medium). Die Realisierung erfolgt unter Einsatz passiver Splitter, die das Signal an die Endkundenanschlüsse verteilen. Dagegen werden Endkunden bei PTP-Netzen in einer Punkt-zu-Punkt-Architektur jeweils mit einer eigenen Glasfaser vom Glasfaserverteilerpunkt aus versorgt. Hierdurch werden deutlich höhere Bandbreiten möglich.

Typische Datenraten im Zugang²: FTTH GPON 2,5/1,25 Gbit/s, NG-PON und NG-PON2 40–80 Gbit/s symmetrisch, 100G-PON 100/40 Gbit/s, FTTH Point-to-Point aktuell 1–10 Gbit/s symmetrisch. In Metro-Netzen (Backbone) typisch 10, 40 oder 100 Gbit/s symmetrisch. In Feldtests bis zu 400 Gbit/s, im Labor bereits 43.000 Gbit/s auf einer Faser gezeigt.

Details dazu finden sich in der tabellarischen Übersicht ab Seite 85 ff. und in den Technologiesteckbriefen in Anhang II.

¹ Anzahl kumuliert mit FTTB-Anschlüssen, siehe [TÜVR2015].

² Technische Raten; verfügbare Angebote für Privatkunden typischerweise geringer.

3.1.4 Funktechnologien

Mobilfunk

Die ursprünglich für analoge mobile Sprachtelefonie aufgebauten Mobilfunknetze wurden im Laufe der vergangenen Jahrzehnte beginnend mit der Modernisierung auf GSM-Netze vollständig digitalisiert und um Techniken zur Übertragung beliebiger Daten (neben Sprache) erweitert. Mit GSM stand erstmals ein flächendeckendes Mobilfunknetz zur Verfügung. Kennzeichnend für die Mobilfunktechnologien, in Abgrenzung zu anderen drahtlosen Zugangstechnologien wie WLAN, ist die bereits von Beginn an verankerte Unterstützung der Mobilität der Nutzer und der reibungslose Wechsel zwischen den Funkzellen (Handover).

Der Trend zu immer höheren Übertragungsgeschwindigkeiten in den Mobilfunknetzen spiegelt sich in der Entwicklung von GPRS/EDGE über UMTS/HSPA und LTE/4G bis hin zu den kommenden 5G-Netzen. Diese Entwicklung geht einher mit der Nutzung immer höherer Trägerfrequenzen und Trägerbandbreiten sowie immer kleineren und dichter stehenden – zum Teil sehr gut versteckten – Funkmasten, vor allem in Großstädten und an belebten Orten. Die aktuellen 4G-Netze in Deutschland sind durch Aufrüstung der existierenden 2G- und 3G-Standorte aufgebaut worden. Idealerweise sind die Mobilfunkbasisstationen mit Glasfaseranschlüssen zur Netzanbindung versehen (Backhaul), dies ist jedoch noch nicht flächendeckend der Fall.³

Auf Grund des zunehmenden Bedarfs an Übertragungskapazität in den Mobilfunknetzen, werden die Standorte immer weiter aufgerüstet oder mit sogenannten Kleinzellenstandorten (Small Cells) verdichtet. In Zukunft werden, durch die 5G-Einführung angetrieben, „Stadtmöbel“ wie Laternen, Werbetafeln usw. als weitere Standorte erschlossen werden, um die Kleinzellenverdichtung zu gewährleisten und damit die an belebten Orten notwendigen Mobilfunkkapazitäten bereitzustellen. Eine Herausforderung besteht darin, auch diese zusätzlichen, neuen Mobilfunkstandorte mit der notwendigen Glasfaseranbindung auszustatten, um mit der zunehmenden Kommunikationsdichte (steigende Anzahl der Endgeräte und der Gesamtdatenraten) mitzuhalten.

Mobilfunktechnologien, wie GSM (2G), UMTS (3G) bzw. LTE (4G) und später 5G, nutzen ein lizenziertes Funkspektrum. Speziell für 5G gibt es Vorschläge, einige „freie“, d. h., unlizenzierte Bänder mit zu nutzen, um auf diese Weise weitere Kapazitäten mit vergleichsweise geringem wirtschaftlichem Aufwand bereitstellen zu können. Diese Technologien befinden sich noch in der Standardisierung und können Konflikte mit bestehenden Nutzungen dieser Frequenzbänder zur Folge haben.

Mobilfunktechniken sind dadurch gekennzeichnet, dass die Datenrate für einen einzelnen Nutzer von seiner Entfernung zur Sendeantenne abhängt: Die Datenrate nimmt dabei mit wachsender Entfernung ab. Ferner findet eine Ressourcenteilung zwischen allen Nutzern einer Mobilfunkzelle statt (Shared Medium), d. h., gleichzeitig aktive Nutzer teilen sich die in einer Zelle verfügbare Datenrate der Luftschnittstelle.

Daraus ergeben sich folgende Leistungsmerkmale für Mobilfunktechnologien:

- Die **maximale Datenrate** steht nur für einen einzelnen Nutzer einer Funkzelle in der Nähe der Sendestation zur Verfügung. Diese hängt auch von den Fähigkeiten des Endgeräts ab (z. B., ob die Bündelung mehrerer Kanäle [MIMO] unterstützt wird).
- Die (theoretische) **Kapazität** einer Funkzelle ist die Summe der Datendurchsätze aller gleichzeitig aktiven, gleichmäßig über die Funkzelle verteilten Nutzer. Diese ist geringer als die maximale Datenrate eines einzelnen Nutzers, da durch das „Umschalten“ zwischen Nutzern Effizienzverluste entstehen.

³ Einige abgelegene Funkmasten nutzen aktuell auch Richtfunk als Backhaul ins Kernnetz.

- Abhängig von der Entfernung eines Nutzers vom Zentrum einer Funkzelle und dem maximalen Zellradius erfährt der Nutzer unterschiedliche Datendurchsätze. **Typische Datenraten** sind in der Praxis gemessene Werte und hängen vom Zustand des Netzausbaus und der Nutzungsintensität in den Mobilfunknetzen ab.

Diese drei Metriken werden konkret in den Technikübersichtstabellen für Mobilfunk angegeben.

Maximale Datenraten (brutto): LTE/4G bis 150/75 Mbit/s, LTE Advanced bis 300–600/150 Mbit/s, LTE Advanced Pro (4.5G) bis 1.200/150 Mbit/s. In Entwicklung und Labor perspektivisch bis zu 10 Gbit/s Peakdatenrate und 1 Gbit/s pro Nutzer (5G).

Typische effektive Datenraten (netto) pro Mobilfunknutzer: LTE/4G 17/5 Mbit/s, LTE Advanced 35–60/10 Mbit/s, LTE Advanced Pro (4.5G) 120/10 Mbit/s (geschätzt).

Die Latenzzeiten der LTE-Netze liegen gegenwärtig bei ca. 20–30 ms. Durch die technologische Weiterentwicklung werden diese Latenzzeiten weiter reduziert (<10 ms).

Details dazu finden sich in der tabellarischen Übersicht ab Seite 85 ff. und in den Technologiesteckbriefen in Anhang II.

WLAN-Technologien

Wireless LAN (WLAN) wurde, im Gegensatz zu den Technologien der Mobilfunknetze, von Anfang an zur digitalen, kabellosen und schnellen Netzanbindung von weniger mobilen Endgeräten wie z. B. Laptops entwickelt. Es bietet eine Struktur mit Zugangspunkten (Access Points), über die mehrere Geräte in einer WLAN-Zelle gleichzeitig genutzt werden können. Durch die Verbreitung von günstigen WLAN-Zugangspunkten auch im privaten Bereich und durch die zunehmende Miniaturisierung der Technik ist eine WLAN-Unterstützung nicht nur für Smartphones und Tablet-Computer verfügbar, sondern auch eine mögliche Grundlage für die Vernetzung „smarter Dinge“. Ferner sind die Einstiegshürden für den Betrieb von WLAN-Zugangspunkten durch die Nutzung der freien ISM-Bänder deutlich niedriger als beispielsweise beim Mobilfunk mit seinem lizenzierten Spektrum.

WLAN-Zugangspunkte sind heutzutage nicht mehr nur in Gebäuden zu finden, sondern bilden im öffentlichen Raum als WLAN-Hotspots eine weitere, sehr schnelle – jedoch nicht flächendeckende – Technologie für den Internetzugang, die zudem meist kostengünstiger ist als die Datenübertragung per Mobilfunk. Zunächst vorwiegend von privaten Anbietern bereitgestellt, werden WLAN-Hotspots inzwischen vermehrt auch durch kommerzielle Netzanbieter betrieben. Dies wurde zwischenzeitlich zugunsten öffentlicher WLAN-Anbieter gesetzlich geregelt.⁴ Es bleibt abzuwarten, ob die bisherigen Maßnahmen ausreichen, die Anzahl öffentlicher WLAN-Netze deutlich zu erhöhen.

WLAN-Technologien sind aufgrund der erreichbaren Bandbreiten und der begrenzten Reichweite (<100 m) für die Versorgung abgrenzbarer Areale sinnvoll einsetzbar. Im privaten Bereich, im professionellen Inhouse-Bereich (z. B. Bürogebäude) sowie für stark frequentierte öffentliche Orte bietet sich WLAN daher zur kabellosen Netzanbindung als Ergänzung zu vorhandenen Mobilfunk- und Festnetzlösungen an.

⁴ Änderung des Telemediengesetzes (TMG) vom 26.07.2016, siehe hierzu auch <http://www.heise.de/netze/meldung/Stoererhaftung-fuer-WLAN-Betreiber-Gesetzesänderung-tritt-in-Kraft-3278340.html>.

Bei der Weiterentwicklung der WLAN-Technologien sind derzeit verschiedene Ansätze zu beobachten: Einerseits gibt es die Zielsetzung, hohe Bandbreiten bis in den Gigabitbereich bereitzustellen. Dies erfolgt über die Nutzung von höheren Frequenzen und mehreren, parallel genutzten Übertragungskanälen (MIMO und MU-MIMO, siehe Anhang I).

Auf der anderen Seite kommen immer mehr Endgeräte mit Netzzugang auf den Markt, neben Laptops, Tablets und Smartphones sind das vor allem Geräte aus dem Bereich des Internets der Dinge (Internet of Things, IoT), bspw. über WLAN steuerbare Steckdosen, Lichtschalter und Sensoren. In einem solchen Umfeld ist es erforderlich, über ein Netz sehr viele Geräte mit relativ geringen Datenraten zu versorgen (Machine-to-Machine-Kommunikation, M2M). Diese Entwicklung wird in neuen WLAN-Standards wie IEEE 802.11ah bereits aufgegriffen.

Spezielle Entwicklungen für WLAN, das in der Industrie professionell zur Maschinenkommunikation eingesetzt werden soll, zielen neben hohen Bandbreiten vor allem auf Zuverlässigkeit und auf eine vorhersagbare Übertragungsqualität ab.

Typische nominelle Datenraten WLAN (aggregiert): 802.11n 150–600 Mbit/s (brutto), 802.11ac 433–1.733 Mbit/s (brutto), jeweils ca. 50% davon als effektive (netto) Datenrate. In Entwicklung und Labor bereits 2.100 und bis zu 6.936 Mbit/s Datenrate (brutto).

Details dazu finden sich in der tabellarischen Übersicht ab Seite 85 ff. und in den Technologiesteckbriefen in Anhang II.

Netzzugang via Satellit

Satellitenverbindungen werden seit vielen Jahren genutzt, um Sprache, TV und andere Daten über große Gebiete auf der Erdoberfläche zu verteilen. Satellitenübertragungen erfolgten zuerst analog, waren nur für Broadcast verwendbar und ohne Rückkanal. Heutzutage ist auch diese Übertragung digitalisiert: Von den Satelliten können über das Shared Medium Funk einzelnen Empfängern dediziert Daten gesendet werden, und es existiert die Möglichkeit eines direkten Datenrückkanals. Zudem ist Satellitenempfang praktisch flächendeckend in Deutschland verfügbar. Ein mobiler Empfang ist ebenfalls möglich, entsprechende Parabolantennen vorausgesetzt, z. B. auf Schiffen und Flugzeugen. Zur Nutzung des Satellitenempfangs ist kein zusätzlicher Infrastrukturausbau nötig, abgesehen von der Hardware beim Endkunden selbst.

Die Satellitentechnik ist derzeit vor allem eine Ergänzungstechnologie für Regionen, an denen kein anderes Breitbandnetz verfügbar ist. In diesem Zusammenhang wird die Satellitentechnologie nicht nur direkt bei Endkunden eingesetzt, sondern regulär auch als Netzzugangsweg (Backhaul) in die Kernnetze für andere terrestrische Netzzugänge (wie DSL oder Mobilfunk), falls die terrestrische Anbindung entfernter Ortschaften bspw. aus wirtschaftlicher Sicht zu aufwändig wäre.

Aufgrund der Entfernung der geostationären Satelliten von rund 36.000 km, ist die Latenzzeit bei der Datenübertragung über Satellit deutlich höher als bei terrestrischen Technologien (incl. Signalverarbeitung oft 500 ms hin und zurück). Satelliten in niedrigeren Umlaufbahnen, sogenannte Medium Earth Orbits (MEO, 8.062 km Orbit) ermöglichen geringere Latenzen. Diese Lösung wird international bereits genutzt, ist auf dem deutschen Markt jedoch noch nicht verfügbar. Auch in diesem Fall sind die Latenzen allerdings höher als bei den terrestrischen Zugangstechnologien. Für einige Standardanwendungen (Surfen im Internet, E-Mails, Software-Downloads und z. T. auch Video-Streaming) ist dies unproblematisch. Bei anderen, interaktiven Anwendungen wie Videokonferenzen oder Online-Computerspielen mit mehreren Spielern können Netzzugänge via Satellit nur eingeschränkt oder gar nicht genutzt werden.

Internet via Satellit zur Versorgung ganzer Ortschaften

Mittels Internetzugang über Satellit ist auch die Versorgung ganzer Ortschaften in ländlichen Regionen realisierbar; dies geschieht über eine entsprechende zentrale Gemeinschaftsanlage. Von dort aus werden Haushalte über andere, terrestrische Infrastruktur (DSLAM, Kabelnetz oder auch WLAN) versorgt. Es bleiben jedoch die Einschränkungen durch die hohen Latenzen und die Effekte des geteilten Funkmediums. Internetzugang über Satellit kann jedoch als Übergangslösung genutzt werden, bis leistungstärkere terrestrische Technologien zur Breitbandversorgung vor Ort zur Verfügung stehen.

Typische Datenraten Satellit: 128 kbit/s bis 70 Mbit/s im Download; für kommerzielle Anwendungen aktuell bis zu 70 Mbit/s (brutto); für Endkunden 20/2 Mbit/s (brutto), perspektivisch (2019) bis zu 50 Mbit/s. In Entwicklung und in Tests wurden bereits 150 bis 500 Mbit/s im Download erreicht.

Details dazu finden sich in der tabellarischen Übersicht ab Seite 85 ff. und in den Technologiesteckbriefen in Anhang II.

3.1.5 Tabellarische Technologieübersicht

Die folgende tabellarische Übersicht stellt die wesentlichen technischen Eckdaten der aktuellen und zukünftigen Technologien aus den o. g. Technologieklassen einander gegenüber. Dabei wurde, soweit dies möglich war, auf eine grundlegende Vergleichbarkeit geachtet. Die Tabellen wurden in enger Zusammenarbeit zwischen der Projektgruppe „Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabitgesellschaft“ des nationalen IT-Gipfels⁵ und dem Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS erstellt. Werte für Datenraten sind, sofern nicht anders angegeben, in der Form „Download-Geschwindigkeit/ Upload-Geschwindigkeit“ angegeben. Die Zeile „Gigabitgesellschaft“ beinhaltet eine Kurzinformation zur möglichen Rolle einer Technologie mit Blick auf die zukünftige Breitbandvernetzung in Deutschland.

⁵ siehe <http://plattform-digitale-netze.de/fokusgruppe-aufbruch-gigabit-gesellschaft/>

Technologie	VDSL2 mit Vectoring	VDSL2 35b (SuperVectoring)	G.fast
Beschreibung	Verbessertes Übertragungsverfahren für die Nutzung des Telefonkabels bei Glasfaserausbau bis zum Kabelverzweiger (KVz). Einsatzort: FTTC	Weiterentwicklung der VDSL2-Technik, die ebenfalls mit Vectoring eine weitere Erhöhung der Bandbreite bringt. Einsatzort: FTTC Koexistent mit VDSL2	Ermöglicht hohe Datenraten auf kurzen Leitungslängen. Einsatzort: FTTB Koexistenz mit VDSL-Technologien erfordert Frequenztrennung. (Details zur Umsetzung in Deutschland sind noch in Diskussion)
Durchsatz	Typische Werte ⁶ (down/up): 100/40 Mbit/s bei ca. 300 m 90/35 Mbit/s bei ca. 450 m 50/10 Mbit/s bei ca. 600 m.	Typische Werte ⁶ (down/up): 250/40 Mbit/s bei ca. 300 m 200/35 Mbit/s bei ca. 450 m 100/10 Mbit/s bei ca. 600 m.	Typische Werte ⁶ (down/up): G.fast 106 MHz auf 100 m ca. 600 Mbit/s ⁷ bei Koexistenz mit VDSL2/Vectoring-Frequenzen (20–106 MHz). <u>G.fast 212 MHz</u> auf 100 m ca. 1,5 Gbit/s (down/up aggregiert) bei Koexistenz mit VDSL2 35b (40–212 MHz).
Reichweite	Diese Technologie findet Anwendung bis zu einer max. verbleibenden Kupferleitungslänge von ca. 1.200 m.	Diese Technologie findet Anwendung bis zu einer max. verbleibenden Kupferleitungslänge von ca. 1.200 m.	Diese Technologie findet Anwendung bis zu einer max. Leitungslänge von ca. 250 m
Einsatzfähigkeit	Standardisierte Technologie, millionenfach im Einsatz.	Standardisiert, Technologie verfügbar.	<u>106 MHz</u> Standardisiert, Technologie verfügbar. <u>212 MHz</u> in Standardisierung (erwartet für 2017).
Roll-Out	Ermöglicht eine Abdeckung von rund 90% der Haushalte mit mind. 50 Mbit/s.	Existierende FTTC-Abdeckung vollständig wiederverwertbar. Einsatz ab 2017 möglich.	Bestehende Kupfer-Inhouse-Verkabelung kann genutzt werden. Piloten/kommerzieller Ausbau mit FTTB ergänzend zu FTTH ab 2016.
Kostentreiber	Ausbau der Glasfaserinfrastruktur bis zum KVz. Die weitere Nutzbarkeit des Kupferkabels vom KVz bis zum Kunden reduziert Kosten.	Ausbau der Glasfaserinfrastruktur bis zum KVz. Bei bestehendem FTTC einfacher Techniktausch ohne Änderungen an der Kupferkabelinfrastruktur, daher verhältnismäßig günstig.	Glasfaserausbau bis zum Gebäude. Die Nutzung der bestehenden Kupfer Hausverkabelung ist möglich.
Gigabit-gesellschaft	Effizienter Mitteleinsatz für schrittweisen Glasfaserausbau zur schnellen Erreichung von Datenraten bis 100/40 Mbit/s und Verbreitung von Glasfaserinfrastruktur in der Fläche, für einen großen Teil der Bevölkerung.	Einfach umsetzbarer Beitrag zur schnellen Erhöhung der Abdeckung mit Bandbreiten bis zu 250/40 Mbit/s.	Angebot sehr hoher Bandbreiten (1 Gbit/s), ohne Eingriff in die Hausverkabelung. Bringt Glasfaser ans Gebäude. Fördert im Mischausbau FTTH/B die Wirtschaftlichkeit des Glasfaserausbaus (im Vergleich zu einem reinen FTTH-Ausbau).

⁶ Die angegebenen Datenraten werden in Abhängigkeit der Leitungslänge des Kupferkabels angegeben, da die Datenrate dämpfungsbedingt mit der Entfernung abnimmt, sind aber unabhängig von der Netzauslastung.

⁷ Technologien, die eine flexible Aufteilung zwischen Up- und Downstream-Datenraten zulassen, werden im Steckbrief in aggregierter Form dargestellt. Das zugehörige Backhaul-Netz muss dafür hinreichende Kapazität im Up- und Downstream bereitstellen.

Technologie	Next Generation G.fast	Ethernet
Technologie	z. B. XG-Fast Weitere Steigerung der Datenraten bei reduzierter Leitungslänge. Einsatzort: FTTB Koexistenz mit VDSL-Technologien erfordert Frequenztrennung.	Meistgenutzte kabelgebundene Technologie für strukturierte Verkabelung innerhalb von Gebäuden.
Durchsatz	In Versuchsanlagen ca. 11 Gbit/s auf < 50 m) bei Nutzung von zwei Doppeladern im Spektrum bis 500 MHz.	Ursprünglich 10 Mbit/s, aktuell 100 Mbit/s und 1 Gbit/s am stärksten verbreitet für Endsysteme. ferner 10 und 40 Gbit/s in Rechenzentren.
Reichweite	Diese Technologie findet Anwendung bis zu einer max. Leitungslänge von ca. 100 m.	Diese Technologie findet Anwendung bis 100 m über Kupferkabel und bis 10 km auf Glasfaserbasis.
Einsatzfähigkeit	Noch keine Standards verfügbar.	Diverse Standards unterhalb von IEEE 802.3. Neue Standards für 2,5 und 5 Gbit/s in Arbeit.
Roll-Out	Ab 2020.	1 Gbit/s Ethernet ist De-facto-Standard für die Vernetzung von Local Area Networks (LAN).
Kostentreiber	Glasfaserausbau bis zum Gebäude. Die Nutzung der bestehenden Kupfer- Hausverkabelung ist möglich. Bei bestehender FTTB/G.fast-Installation einfacher Techniktausch.	Bis 1 Gbit/s Schnittstellen, Switches und Router sehr günstig, darüber neue Geräte und ggf. auch Kabel notwendig, ab 10 Gbit/s Glasfasern.
Gigabitgesellschaft	Ermöglicht Multi-Gbit/s-Datenraten unter Nutzung bestehender Kupfer-Hausverkabelung.	Der De-facto-Standard für Inhaus-Vernetzung. Gigabit- und Multi-Gigabit-Geschwindigkeiten bereits heute im Massenmarkt verfügbar.

Technologie	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1	Full Duplex Technology
Technologie	Aktuell meistgenutzter Standard für HFC-Netze.	Gigabitfähige Weiterentwicklung des Standards für HFC-Netze; („Gigasphere“ ⁸).	(DOCSIS 3.1+) Weiterentwicklung innerhalb des Standards
Durchsatz	Maximal >1.000/150 Mbit/s pro Nutzer. Maximale Übertragungsraten werden bei zunehmender Penetration durch sukzessive Cluster-Splits sichergestellt. Aktuell im deutschen Markt vorhandene Angebote Mitte 2016 bis zu 400/20 Mbit/s pro Nutzer.	Maximal 10/1 Gbit/s pro Nutzer. Maximale Übertragungsraten werden bei zunehmender Penetration sukzessive durch Cluster-Splits sichergestellt. Erste Angebote erwartet für 2017/2018 bis zu 1.000/100 Mbit/s pro Nutzer.	Maximal >10/10 Gbit/s pro Nutzer.
Reichweite	Bei der HFC-Technik bestehen nur geringe Reichweitenbegrenzungen.	Bei der HFC-Technik bestehen nur geringe Reichweitenbegrenzungen.	Bei der HFC-Technik bestehen nur geringe Reichweitenbegrenzungen.
Einsatzfähigkeit	Standard in HFC-Netzen. In Deutschland basieren praktisch alle HFC-Netze auf diesem Standard.	Standard vorhanden, Hardware verfügbar und Technologie bereits im Einsatz.	Standardisierung startet 2016 und Einführung wird zwischen 2020 und 2025 erwartet.
Roll-Out	Ca. 70% Homes Passed ⁹ .	Abwärtskompatibel zu DOCSIS 3.0 und 2.0. Netzertüchtigung beginnt 2016 bei vielen Kabelnetz-betreibern. Aufrüstung wird mehrere Jahre in Anspruch nehmen.	Frühestens 2020.
Kostentreiber	Bei zunehmender Nutzung hoher Bandbreiten weiterer Glasfaserausbau für Cluster-Splits erforderlich.	Austausch/ Ertüchtigung einzelner aktiver und passiver Komponenten. Zur Ermöglichung der maximalen Datenraten Ausbau des Glasfaseranteils. Zusätzlich bei steigenden Nutzerzahlen Fortführung der Cluster-Splits.	Austausch/ Ertüchtigung einzelner aktiver Komponenten. Zur Ermöglichung der maximalen Datenraten Ausbau des Glasfaseranteils. Bei größeren Gebäuden Tendenz Richtung FTTB. Zusätzlich bei steigenden Nutzerzahlen: Fortführung der Cluster-Splits.
Gigabit-gesellschaft	Aufgrund der bereits bestehenden hohen Reichweite der HFC-Netze zunächst ein Haupttreiber der Breitband-versorgung für die Gigabitgesellschaft, wirtschaftliche und weitverbreitete Versorgung v. a. von Privathaushalten und Unternehmen mit hohen Bandbreiten. Aus historischen Gründen aber selten Anschluss von Gewerbegebieten mittels HFC.	Zeitnah entstehende Gbit/s-Infrastruktur, die die Versorgung von zukünftig mehr als 70% der privaten Haushalte und Gewerbetreibenden im Anschlussbereich der HFC-Netze mit Gbit/s-Anschlüssen ermöglicht.	Technologische Weiterentwicklung ermöglicht Up- und Downloads im zweistelligen Gbit/s-Bereich über HFC-Netze.

⁸ Einige Unternehmen und Verbände verwenden den Begriff Gigasphere als Synonym für den DOCSIS 3.1-Standard und darauf basierende Produkte und Dienstleistungen.

⁹ „Homes Passed“ umfasst alle Haushalte, die entweder direkt über die HFC-Struktur angeschlossen sind oder bei denen noch ein Hausanschluss realisiert werden muss.

Technologie	FTTH GPON (Gigabit Passive Optical Network)	FTTH GPON Nachfolgetechnologien: NG-PON, NG-PON2, 100G-PON	FTTH Point-to-Point (PTP)
Technologie	Passives Glasfasernetz bis in Wohnung/ Haus des Kunden. Bei der GPON-Technik werden die jeweiligen Glasfasern einzelner Kunden an einem Verteilpunkt durch Splitter zusammengefasst und auf einer gemeinsamen Glasfaser weitergeführt (Punkt-zu-Mehrpunkt-Architektur/PMP). Die Kunden an einem Splitter teilen sich die maximal verfügbare Bandbreite.	Weiterentwicklungen von GPON, die höhere Datenübertragungsraten ermöglichen. (NG-PON/Next Generation Passive Optical Network, NG-PON2/Next Generation Passive Optical Network 2, 100G-PON/100 Gigabit PON)	Aktives Glasfasernetz mit einem durchgehenden Glasfaseranschluss bis in die Wohnung / den Betriebsraum des Kunden. Jeder Kunde erhält eine eigene Glasfaser.
Durchsatz	Maximal (down/up): 2,5 / 1,25 Gbit/s Aufgrund der topologischen Eigenschaften teilen sich die Nutzer die Maximalkapazität des Shared Mediums. Grundsätzlich sind hohe Produktdatenraten, z. B. 1 Gbit/s Downstream für Endkunden möglich. Angebote im Markt Mitte 2016 (down/up): 500/100 Mbit/s ¹⁰ .	Maximal: aktuell 40–80 Gbit/s symmetrisch (NG-PON, NG-PON2) und 100/40 Gbit/s (down/up) bei 100G-PON. Aufgrund der topologischen Eigenschaften teilen sich die Nutzer die Maximalkapazität des Shared Mediums. Ermöglicht sehr hohe symmetrische Produktbandbreiten im Multi-Gbit/s-Bereich. Noch keine Produkte auf dem Markt, da Technik noch nicht im Einsatz.	Maximal: Aktuell 1 bis 10 Gbit/s symmetrisch; perspektivisch 100–1.000 Gbit/s. Angebote im Markt Mitte 2016 (down/up): 1 Gbit/s symmetrisch ¹⁰ .
Reichweite	Verwendung bis zu einer Leitungslänge von 20–30 km.	Verwendung typischerweise bis zu einer Leitungslänge von 20–30 km	Typische Verwendung bis zu einer Leitungslänge von 10 km aufgrund netzplanerischer Einschränkungen
Einsatzfähigkeit	Standardisierte Technologie (ITU-T G.984), einsatzfähig im gesamten Festnetzbereich.	Standardisierte Technologien, kompatibel zu GPON.	FTTH PTP bereits eingeführt, einsatzfähig im gesamten Festnetzbereich, aktuelle Endgeräte bis 1 Gbit/s symmetrisch.
Roll-Out	Aktuell größte Verbreitung im FTTH- Umfeld.	Noch nicht im Einsatz.	FTTH PTP-Netze kommen immer öfter zum Einsatz
Kostentreiber	Glasfaserausbau bis in die Wohnung, d. h., insbesondere Tiefbaukosten und Kosten für die Errichtung eines Glasfasernetzes in den Gebäuden, bei geringen Leerrohrkapazitäten besonders geeignet, da aufgrund der Punkt-zu-Mehrpunkt-Architektur nur eine geringe Anzahl an Glasfasern benötigt wird.	Prinzipiell gleiche Kostentreiber wie bei GPON. Bei Aufrüstung existierender GPON-Netze Austausch der Systemtechnik/Endgeräte, aber kein Tiefbau erforderlich.	Glasfaserausbau bis in Wohnung/ Betriebsraum, d. h., insbesondere Tiefbaukosten und Kosten für die Errichtung eines Glasfasernetzes in den Gebäuden. Wegen höherer Faserzahl im Hauptkabel u. U. höhere Infrastrukturkosten im Vergleich zu PON-Netzen.
Gigabitgesellschaft	Ermöglicht sehr hohe symmetrische Bandbreiten. Ermöglicht grundsätzlich alle (stationären) Use Cases der Gigabitgesellschaft. Steigende Nutzung hochbitratiger Produkte erfordert bedarfsgerechte Erhöhung der Kapazität bzw. ein Upgrade auf eine GPON-Nachfolgetechnologie.	Ermöglicht sehr hohe symmetrische Bandbreiten. Effiziente Aufrüstung von bestehen GPON-Netzen. Ermöglicht grundsätzlich alle (stationären) Use Cases der Gigabitgesellschaft.	Höchste symmetrische Bandbreiten im Gbit/s-Bereich. Datenübertragungsrate praktisch unbegrenzt skalierbar. Ermöglicht alle (stationären) Use Cases der Gigabitgesellschaft. Passiv entbündelbar, so dass Technologie- und Bandbreitenwettbewerb auf der Infrastruktur entstehen kann.

¹⁰ Bezogen auf Privatkundenprodukte. Für Geschäftskunden sind bereits Produkte mit höheren Bandbreiten verfügbar.

Technologie	LTE/4G	LTE-Advanced	LTE-Advanced Pro (4.5G)
Technologie	4. Generation, als erste vollständig auf dem Internetprotokoll (IP) basierende Technologie für den mobilen Internetzugang, IP-basierte Sprach- und (Unicast-/Broadcast) Multimedia-Dienste. 20 MHz Trägerbandbreite und 2x2 MIMO Antennensystem	Evolution von LTE mit 2-3x Trägerbündelung und 4-fach Sende- und Empfangsdiversität (4x4MIMO)	Evolution von LTE Advanced, die Datenraten im Gigabitbereich durch Frequenzbündelung und intelligente Antennentechnik erlaubt.
Durchsatz	Maximale Datenrate im Shared Medium (down/up) ¹¹ <150/75 Mbit/s bis 200 m Zellkapazität (down/up) ¹² 25/17 Mbit/s Typische Werte (down/up) ¹³ ~17 /~5 Mbit/s	Maximale Datenrate im Shared Medium (down/up) ¹¹ <300–600/150 Mbit/s bis 200 m Zellkapazität (down/up) ¹² 50–100/17 Mbit/s Typische Werte (down/up) ¹³ ~35-60/~10 Mbit/s	Maximale Datenrate im Shared Medium (down/up) ¹¹ <1.200/150 Mbit/s bis 200m Zellkapazität (down/up) ¹² 200/35 Mbit/s Typische Werte (down/up) ¹³ ~120/~10 Mbit/s
Reichweite	Zellradius abhängig von Spektrumlage, Szenario (Stadt/Land): 300 m – ca. 5.000 m	Zellradius abhängig von Spektrumlage, Szenario (Stadt/Land): 300 m – ca. 5.000 m	Zellradius abhängig von Spektrumlage: 300 m – 500 m in innerstädtischen Bereichen, bis zu 5 km mit Beamforming
Einsatzfähigkeit	Standardisierte Technologie, millionenfach im Einsatz.	Standard seit 2010	Standard seit 10/2015
Roll-Out	Seit 2010 eingeführt auf dem Spektrum aus Digitaler Dividende (800 MHz), Umwidmung GSM (1800 MHz), neues Spektrum (2600 MHz) ~95% Bevölkerungs-abdeckung (2016).	Bereits in einigen Großstädten eingeführt, weiterer Roll-out 2016–2018. Spektrum aus Digitaler Dividende I+II (800/700 MHz zukünftig), GSM- bzw. UMTS ((900)/1800/2100 MHz), LTE (2600 MHz).	Einführung ab 2016 möglich in städtischen Bereichen bzw. Bedarfsgebieten (z. B. als drahtlose Anschlusstechnologie für unterversorgte Gebiete) mit wirtschaftlicher Versorgung auf dem Spektrum 2600 MHz (TDD) bzw. im 3.5 GHz Band (TDD Nutzung)
Kosten-treiber	Spektrumlizenzen; Flächendeckung. Verwendung existierender 2G/3G Standorte reduziert Kosten für die LTE-Einführung. Richtfunk- oder Glasfaseranbindung von Funkstandorten.	Spektrumlizenzen; Standortaufrüstung (Antennen) und Systemtechnik. Die Aufrüstung bestehender 2G/3G/4G Standorte bzw. Parallelbetrieb 2G/3G/4G reduziert Einführungskosten. Glasfaseranbindung von Funkstandorten (teilweise noch Richtfunk).	Standortaufrüstung (Antennen) und Systemtechnik. Aufrüstung bestehender 2G/3G/4G Standorte bzw. Parallelbetrieb 2G/3G/4G reduziert Einführungskosten. Glasfaseranbindung von Funkstandorten (teilweise noch Richtfunk).
Gigabit-gesellschaft	Wirtschaftliche, weitgehend flächendeckende mobile Internetgrundversorgung. Bereits gute „außer Haus“ Versorgung.	Wirtschaftliche, städtische mobile Internetversorgung mit sehr guter, Endnutzerqualität für den mobilen „außer Haus“ Gebrauch. Ermöglicht generelle mobile HD-Video-Nutzung (nonlinear) (Konsument) bzw. industrielles Video in den Ausbaugebieten.	Ermöglicht Erweiterung auf Mobile 4K-Videoanutzung, Virtual bzw. Augmented Reality (Konsument/ industriell). Einschränkungen bei massenhafter Nutzung als Festnetz-Ersatz.

¹¹ Für einen alleinigen Nutzer einer Funkzelle in der Nähe der Sendestation zur Verfügung stehend.

¹² Summe der Datendurchsätze aller gleichzeitig aktiven, gleichmäßig über die Funkzelle verteilten Nutzer (gerundet).

¹³ Tatsächlich gemessene Werte, abhängig vom Netzausbauzustand und der Nutzungsintensität, www.opensignal.com in Q4/2015 (LTE, in Großstädten) bzw. sonst Schätzung.

Technologie	LTE-V	5G	NB-IoT (Narrowband Internet of Things)
Technologie	LTE-Erweiterung für die Bedürfnisse aus dem Bereich Fahrzeug-zu-Fahrzeug/x und Fahrzeug-zu-Netz-Kommunikation für die Bereiche Verkehrssicherheit bzw. automatisiertes Fahren.	Vereinheitlichte Mobilfunk-/ Drahtlos- Technologie der nächsten Generation mit höheren Datenraten, verbesserter Spektral-effizienz, geringerer Latenzzeit, höherer Energieeffizienz, steuerbarer Verfügbarkeit und auf Anwendungsfälle und -szenarien konfigurierbaren Netzarchitekturen („Slicing“).	3GPP Low Power, Wide Area Technology, mit Fokus auf das Internet der Dinge, Wesentliche Verbesserungen in Bezug auf Reichweite und Energieverbrauch für geringe Datenvolumina und preiswerte Sensorik.
Durchsatz	~10–30 Mbit/s Fahrzeug-zu-Fahrzeug	Maximale Datenrate im Shared Medium (down): ~1 Gbit/s pro Nutzer und ~10 Gbit/s Peak-Datenrate	Maximal 300 kbit/s –1,2 Mbit/s pro Verbindung.
Reichweite	In etwa klassische zellulare Reichweite.	Reichweite abhängig vom verwendeten Spektrum, von Technologie und Einsatzfall.	~2-3x GSM-Reichweite, insbesondere tiefe Inhouse-Versorgung
Einsatzfähigkeit	Standard 2017 erwartet.	Standard erwartet 2018–2020 (Phasenansatz).	Standard verfügbar seit 06/2016.
Roll-Out	~2018 Traditionelles LTE-Spektrum + zusätzliche Bänder (3.x und 5.9 GHz).	~2020–2025 Existierendes Mobilfunkspektrum, (Refarming) und neues Spektrum im cm/mm-Wellenlängenbereich.	~2017 Spektrum aus teilweiser Umwidmung der GSM- bzw. LTE-Frequenzen bzw. Koexistenz innerhalb der (800/900/1800/2100 MHz-Bänder.
Kostentreiber	Systemaufrüstung, Verkehrswegeabdeckung, neue Module für die V2X-Kommunikation, Glasfaseranbindung von Funkstandorten.	Spektrumlizenzen, neue Netz- Infrastruktur, Standortverdichtung mittels Kleinzellen („Small Cells“) und neuen Endgeräten, Glasfaseranbindung von Funkstandorten.	Systemtechnik, Sensoren. Die Aufrüstung bestehender 2G/3G/4G-Standorte bzw. Parallelbetrieb mit 2G/3G/4G reduziert Einführungskosten gegenüber einem separaten Netz.
Gigabitgesellschaft	Diese Technologie ermöglicht die gesicherte/ koordinierte Kommunikation für intelligente Transportsysteme, Wichtige Komponente der Digitalisierung Deutschlands.	Allgemein verwendbare Technologie für sämtliche mobile Anwendungsfälle und neu hinzukommende Vernetzungslösungen im Bereich Mobilität und Industrie (Stichwort: Industrie 4.0) und damit eine Grundlagentechnologie für die digitale Gesellschaft und die Gigabitgesellschaft.	Diese Technologie erschließt einen bisher nicht adressierbaren Bereich der Digitalisierung durch die massive Verbesserung der Erreichbarkeit. (Bspw. bisher sind Smart-Metering-Anwendungen bisher limitiert durch die fehlende GSM-Funkabdeckung für Kellerinstallationen.)

Technologie	WLAN IEEE 802.11n	WLAN IEEE 802.11ac	WLAN IEEE 802.11ad
Technologie	Optimiertes Übertragungsverfahren für die Nutzung der Luftschnittstelle im 2,4 und 5 GHz-Bereich. Einsatzort: lokal Koexistent mit älteren Standards wie 802.11a/b/g	Übertragungsverfahren für die Nutzung der Luftschnittstelle im 5 GHz-Bereich. Einsatzort: lokal Koexistent mit älteren Standards wie 802.11a	Übertragungsverfahren für die Nutzung der Luftschnittstelle im 60 GHz-Bereich. Einsatzort: persönlich
Durchsatz	Maximale Datenrate im Shared Medium (aggregiert): 150 bis 600 Mbit/s brutto, 60 bis 240 Mbit/s netto.	Maximale Datenrate im Shared Medium (aggregiert): 433 Mbit/s bis 6.936 Mbit/s brutto. Der Nettodurchsatz liegt deutlich unter der Bruttodatenrate. Annäherungsweise kann von einer Reduktion von mind. 50% ausgegangen werden.	Typische Werte (aggregiert): 7 Gbit/s brutto. Der Nettodurchsatz liegt deutlich unter der Bruttodatenrate. Annäherungsweise kann von einer Reduktion von mind. 50% ausgegangen werden.
Reichweite	Verwendung bis zu 70 m in Gebäuden. Bis zu 250 m im Freien.	Verwendung bis zu 50 m in Gebäuden.	Verwendung bis zu 10 m in Gebäuden.
Einsatzfähigkeit	2009 standardisierte Technologie, millionenfach im Einsatz. Viele Geräte beherrschen zumeist nur die 2,4 GHz Frequenz.	2013 standardisiert, kommerziell verfügbar. Im Handel sind zumeist Geräte mit einer Durchsatzrate von 433 bis max. 1.733 Mbit/s brutto.	2013 standardisiert, kaum kommerzielle Geräte verfügbar.
Roll-Out	Ein wesentlicher Teil der im Einsatz befindlichen Hotspots basiert auf dem Standard 11b/g, ein Rollout findet statt. Hervorzuheben ist ein direkter Rollout in Verkehrsmitteln wie Zügen, der derzeit stattfindet.	Endgeräte, die den ac-Standard beherrschen, sind bereits vorhanden. Zumeist handelt es sich um Highend-Geräte.	Erste Router und Smartphones wurden 2016 vorgestellt. Momentan wird der Standard z. B. für Anbindungen von Dockingstationen für Laptops genutzt.
Kostentreiber	Eine Vielzahl von Standorten ist notwendig, die Stromversorgung und eine ausreichende Internetanbindung muss gewährleistet werden.	Kostentreiber bei diesem WLAN-System ist die Internetanbindung. Um effizient Bandbreiten von mehreren Gbit/s übertragen zu können sollte eine hochleistungsfähige Anbindung wie FTTB/ FTTH verfügbar sein.	Durch die geringe Zellgröße ist eine Vielzahl von Zellen notwendig. In Kombination mit dem ac-Standard kann der Einsatz im öffentlichen Bereich optimiert werden.
Gigabitgesellschaft	Ein Aspekt der Gigabitgesellschaft ist der einfache Zugang zu hohen Bandbreiten, hierfür eignen sich WLAN-Systeme aufgrund der Verbreitung grundsätzlich.	Einfach umsetzbarer Beitrag zur schnellen Erhöhung der Datenraten von WLAN-Systemen über 1 Gbit/s.	Geeignet um punktuell sehr hohe Bandbreiten anbieten zu können. Einsatzszenarien im öffentlichen Raum sind denkbar, um andere Systeme zu entlasten.

Technologie	WLAN IEEE 802.11ah	Internet via Satellit für Endverbraucher	Internet via Satellit für B2B und als Backup-Lösung
Technologie	Übertragungsverfahren für die Nutzung der Luftschnittstelle im 900 MHz-Bereich. Einsatzort: lokal	Bidirektionale Satellitenverbindung, unabhängig von terrestrischen Infrastrukturen mit Einzelantenne pro Haushalt Einsatzort: Komplementär zu anderen Infrastrukturen	Bidirektionale Satellitenverbindung, unabhängig von terrestrischen Infrastrukturen Einsatzort: Komplementär zu anderen Infrastrukturen oder als Backup
Durchsatz	Der Durchsatz ist mit mindestens 115 kbit/s äußerst gering. Die Zielsetzung des Standards: IoT zu ermöglichen.	Typisches Angebot Mitte 2016 (down/up): 20/2 Mbit/s Ab 2019 können dem Endverbraucher durch neue Satellitengenerationen Bandbreiten von ca. 50 Mbit/s und mehr zur Verfügung gestellt werden.	Plattformabhängig, wird momentan auch als symmetrische- und/oder dedizierte Bandbreite mit bis zu 70 Mbit/s angeboten.
Reichweite	Sehr viel höhere Reichweite als andere WLAN-Standards. Laut IEEE wird eine Verdoppelung angestrebt.	Überall im Footprint des Satelliten verfügbar, Standort hat keinen Einfluss auf verfügbare Bandbreite.	Überall im Footprint des Satelliten verfügbar, Standort hat keinen Einfluss auf verfügbare Bandbreite.
Einsatzfähigkeit	Standard ab 2016 bekannt.	Standardisierte Technologie, weltweit im Einsatz.	Standardisierte Technologie, weltweit im Einsatz.
Roll-Out	Erste Geräte ab 2018.	Flächendeckend in ganz Deutschland verfügbar.	Flächendeckend in ganz Deutschland verfügbar.
Kostentreiber		Höhere Bandbreitenkosten im Vergleich zu terrestrischen Netzen. Dies ist bedingt durch hohe Einstiegsinvestitionen und die in der Satellitenkommunikation längere Dauer des Return-on-Investment. Höhere Hardwarekosten der Endgeräte bedingt durch niedrigere Kundenzahlen.	Höhere Bandbreitenkosten im Vergleich zu terrestrischen Netzen. Dies ist bedingt durch hohe Einstiegsinvestitionen und die in der Satellitenkommunikation längere Dauer des Return-on-Investment. Höhere Hardwarekosten der Endgeräte bedingt durch niedrigere Kundenzahlen.
Gigabitgesellschaft	Treiber für IoT und M2M-Kommunikation.	Flächendeckende sofortige Verfügbarkeit mit Bandbreiten von ca. 20 Mbit/s. Kann auch ergänzend zu anderen Infrastrukturen eingesetzt werden, wenn Teilbereiche sonst nicht kosteneffizient erschlossen werden können.	Flächendeckende Verfügbarkeit für Unternehmen um eine Grundversorgung herzustellen oder als Backup-Lösung, um unabhängig von anderen Infrastrukturen eine Anbindung sicherzustellen.

3.2 Technologiekombinationen

Wie bereits zu Beginn von Kapitel 3 skizziert, werden einige der genannten Netzzugangstechnologien im praktischen Einsatz zusammen verwendet. Das Ziel ist dabei zumeist eine Verbesserung von Verfügbarkeit oder Datenübertragungsrate des Netzzugangs. Die folgende Passage erläutert die Möglichkeiten für Technologiekombinatorik; sie ist in enger Zusammenarbeit des Fraunhofer-Instituts für Offene Kommunikationssysteme FOKUS und der Projektgruppe „Konvergente Netze als Infrastruktur für die Gigabitgesellschaft“ des nationalen IT-Gipfels entwickelt worden.

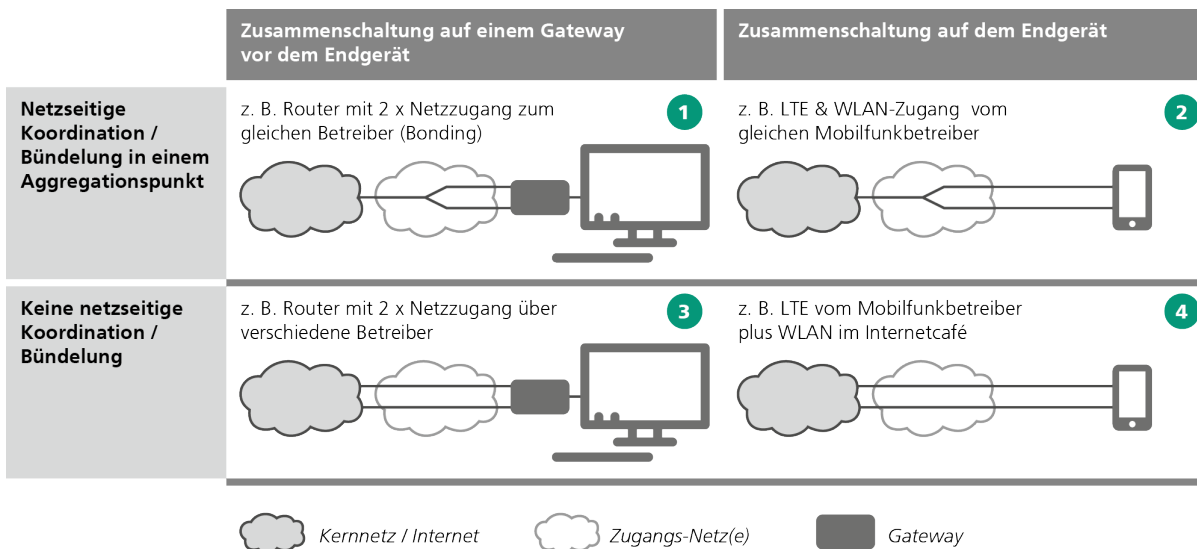
„Aufgrund der Struktur des Internetprotokolls und dessen zunehmender Verbreitung entstehen stark verknüpfte Netze, welche „Ersatzwege“ und „parallele Wege“ zur Datenübertragung ermöglichen. Dadurch ergeben sich verschiedene Kombinations- bzw. Bündelungsmöglichkeiten der zuvor beschriebenen einzelnen Zugangstechnologien. Sie zielen auf Leistungssteigerungen z. B. hinsichtlich Bandbreite, Reichweite oder Verfügbarkeit im Vergleich zur Einzelanwendung der jeweiligen Technologie ab.

Technisch können bei der Technologiekombinatorik grundsätzlich zwei Ausprägungen unterschieden werden:

- 1 Zusammenschaltung einer Technologiekombination nur im Endgerät oder nur auf einem Gateway,
- 2 zusätzlich zu 1. eine netzwerkseitige Unterstützung durch Koordinations- bzw. Bündelungsfunktionen (in einem Aggregationspunkt).

Somit lassen sich grundsätzlich, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, vier Kombinationsansätze unterscheiden. Die verschiedenen Ansätze haben unterschiedliche Auswirkungen auf die erzielbaren Leistungsverbesserungen. Dabei gibt es zudem in der Implementierung zwei unterschiedliche Herangehensweisen an die Standardisierung, welche beispielhaft verdeutlicht werden.

Abbildung 29: Systematisierung von Ansätzen zur Technologiekombination



Die endgeräteseitige Technologiebündelung ohne netzwerkseitige Unterstützung (siehe 4. in Abbildung 29) ist insbesondere bei der Smartphone-Nutzung bereits im Einsatz. Dabei wird der Einsatz von Mobilfunk- und WLAN-Technologien koordiniert, also beispielsweise Mobilfunk mit der Nutzung von WLAN. Dabei unterscheidet man die parallele Nutzung (Kombinatorik im Sinne dieses Kapitels) und die alternative Nutzung (z. B. WLAN statt Mobilfunk).

Bei den netzwerkunterstützten Kombinationsansätzen sind prinzipiell Kombinationen zwischen allen Zugangstechnologien realisierbar, einschließlich gleicher Einzeltechnologien untereinander. Die Kom-

bination innerhalb einer Einzeltechnologie ist stark von den Infrastrukturvoraussetzungen beeinflusst; Beispielsweise ist Kupfer-Bonding technisch nur dort möglich, wo mindestens ein zweites Kupferadernpaar in den gleichen Haushalt bzw. das gleiche Unternehmen führt, und es ermöglicht dann nahezu eine Verdoppelung der Datenrate.

Als beispielhaft für gekoppelte Einzeltechnologien mit netzwerkseitiger Unterstützung ist die gemeinsame Nutzung von LTE/LTE-A und xDSL oder grundsätzlich jeder anderen Festnetztechnologie zu nennen, bei der ein stationärer DSL-Anschluss durch gleichzeitige Nutzung der LTE-Technologie eine Leistungssteigerung erfährt. In diesem Fall werden die Technologien nicht auf dem Endgerät, sondern auf einem Zugangsrouter (z. B. Home Gateway) terminiert (siehe 1. in Abbildung 29). Der gewählte Ansatz erhöht die erreichbare maximale Datenrate für einen Anschluss oder alternativ die Reichweite für eine gegebene Datenrate sowie die prinzipielle Netzverfügbarkeit. Bei dieser Form von netzwerkseitiger Unterstützung addieren sich die Kapazitäten der Übertragungsmedien. Allgemein ist die Kombination von LTE mit allen Festnetz-Zugangstechnologien als eine Form der synergetischen Nutzung von Festnetz- und Mobilfunktechnologien möglich. Dies stellt eine Möglichkeit zur relativ kurzfristigen (ggf. übergangsweisen) und kostengünstigen Aufwertung der bestehenden stationären Breitbandversorgung dar (mit den Vor- und Nachteilen des Mobilfunknetzes). Diese Kombination ist ein Beispiel für die Kopplung standardisierter Einzeltechnologien, ohne die Kombination selbst (schon) in einem Standard zu hinterlegen. Bei dieser Art der hybriden Lösung werden die Datenströme im Netzwerk wieder in einem Aggregationspunkt zusammengeführt. Ein anderes Beispiel ist die Kombination von Satellit und DSL/LTE für unterversorgte Gebiete, bei der Dienste mit höheren Anforderungen an Latenz über den terrestrischen Anschluss geführt werden.

Ebenfalls im praktischen, meist professionellen Einsatz sind Lösungen für Lastverteilung und die Verbesserung der Verfügbarkeit. Hierbei werden zwei Netzzugänge (mit ggf. gleicher Technologie, z. B. Glasfaser + Glasfaser) am Zugangsrouter kombiniert, jedoch ohne Unterstützung innerhalb der Netzwerkinfrastruktur, d. h., ohne Aggregationspunkt im Netz (siehe 3. in Abbildung 29). In diesem Fall erhöht sich die insgesamt nutzbare Bandbreite, nicht jedoch die Datenrate für eine einzelne Netzverbindung, d. h., die maximale Down- und Upload-Rate für eine Datei ergibt sich aus dem schnelleren Übertragungsweg. Diese Kombination wird typischerweise von Firmen mit hohen Anforderungen an Bandbreite und Verfügbarkeit verwendet.

Neben den (noch) nicht standardisierten Kombinationen gibt es auch die gezielte Standardisierung von Zugangstechnologiekombinationen. In diesem Zusammenhang wird gegenwärtig zum Beispiel die Aggregation von LTE und WLAN („LTE Wireless LAN Aggregation“, LWA) diskutiert (siehe 2. in Abbildung 29). Im Einzelnen ergeben sich bei der Kombination von Mobilfunk mit WLAN Effizienzvorteile durch die koordinierte Nutzung lizenzierter und unlizenzierter Frequenzen. Dies betrifft sowohl die Dienstebereitstellung durch die verbesserten Performanceparameter als auch den Bereich der Frequenzökonomie durch die zusätzliche Verwendung von unlizenzierterem Spektrum. Zusammenfassend kommt es zu einer Verbesserung der prinzipiellen Netzverfügbarkeit durch die gleichzeitige (additive) oder die alternative Nutzung verschiedener Netzbereiche bei den einzelnen Netzbetreibern.

Beide dargestellten Herangehensweisen an die Standardisierung werden von der Industrie genutzt. Die gezielte Standardisierung von Zugangstechnologiekombinationen (Beispiel LWA, siehe 2. in Abbildung 29) entspricht dem etablierten Verfahren in der Industrie zur Befriedigung der Nachfrage nach Interoperabilität für Produkte auf globalen Märkten. Dem gegenüber steht der Ansatz der Kopplung von bereits standardisierten Einzeltechnologien (Beispiel LTE mit xDSL, siehe 1. in Abbildung 29) mit dem Ziel schnellerer Marktverfügbarkeit und stärkerer Angebotsdifferenzierung. Letztendlich mündet auch diese Herangehensweise im Erfolgsfall in einer konventionellen Technologiestandardisierung.“

3.3 Ausblick für die Technologieklassen

Durch ihre sehr unterschiedlichen Eigenschaften sind nicht alle Technologien gleichermaßen für die Anwendungen der Gigabitgesellschaft geeignet. Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft auf, welche **Technologieklassen** für verschiedene Orte der Gigabitgesellschaft im **Netzzugangsbereich** nutzbar sind. Für die **Kernnetze** sind bereits heute nahezu ausschließlich Glasfaserverbindungen im Einsatz.

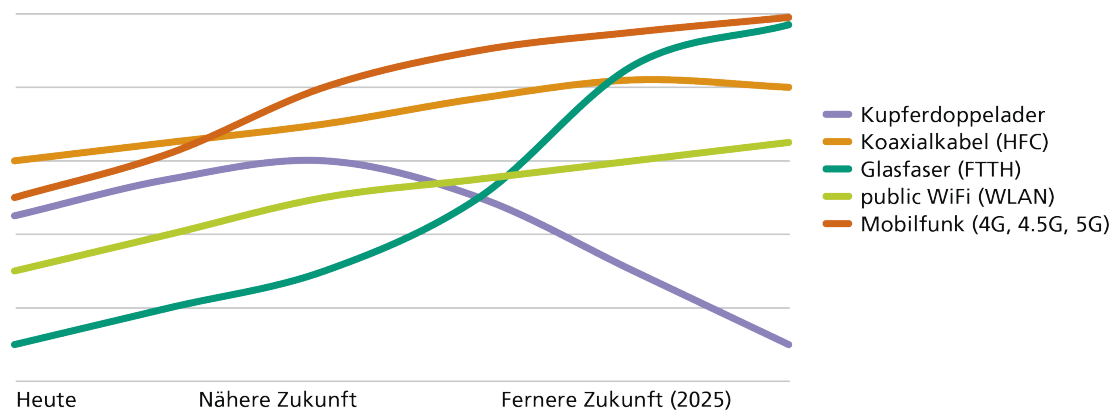
	Kupfertechnologien (VDSL, G.fast und Nachfolger)	Koaxialkabel- technologien (HFC- Netze auf DOCSIS- Basis)	Glasfaser- technologien (GPON und Punkt-zu-Punkt)	Funktechnologien (4G/4.5G/5G, WLAN, Satellit)
<i>Gigabit-tauglich</i>	Voraussichtlich ab G.fast 212 MHz.	Voraussichtlich ab DOCSIS3.1.	Mit allen aktuellen Punkt-zu-Punkt- Lösungen (PTP).	Voraussichtlich mit 5G.
Haushalte Kleingewerbe Praxen	+++	+++	+++	+
Industrie 4.0 Produktion Energiewirtschaft	+	++	+++	-/+ Standortanbindung
Verwaltung Bildungseinrichtungen Öffentliche Einrichtungen	++	+++	+++	+
Öffentlicher Raum Großveranstaltungen	+	++	+++	+++
Smart City Sensornetze	+++	+++	+++	+++ siehe LPWAN
Automotive	–	+++ als Backhaul für Mobilfunkbasis- stationen tauglich.	+++ als Backhaul für Mobilfunkbasis- stationen tauglich.	+++ für Car-to-Car und Car-to-Infrastructure.

[+ / ++ / +++]: Ja, wenn die Ausprägung der Technologie im konkreten Fall ausreichende Dienstgüte-Eigenschaften (Bandbreite, Latenz, etc.) bereitstellen kann; siehe dazu die Technologiesteckbriefe hinsichtlich möglicher Datenraten einzelner Technologien aus den Technologieklassen. [–]: nicht sinnvoll einsetzbar.

Die aufgezeigten vier Technologieklassen unterscheiden sich signifikant in ihren Eigenschaften und daher sowohl in ihrer Tauglichkeit für bestimmte Anwendungen als auch generell in ihrer Eignung als Basis nachhaltiger Infrastrukturen für die Gigabitgesellschaft. Als gesichert gilt, dass weltweit die Verbreitung von Netzzugängen in der Fläche sowie ihre Geschwindigkeiten und Nutzung weiter zunehmen werden, und damit die Datenvolumina (vgl. Kapitel 2). Auch die Verwendung von Glasfasertechnologie für alle Kernnetze und für Backhaul-Netze ist unumstritten. Im Bereich der Netzzugänge jedoch wird es in den kommenden Jahren – neben massiven Modernisierungen und Ausbau in der Fläche – voraussichtlich zu Umbrüchen kommen. Diese liegen begründet in den Begrenzungen einzelner Technologien (wie Reichweiten, Limitierung durch Shared Medium, Kosten) bei gleichzeitigem Kostenverfall von schnelleren Technologien, in erster Linie bei Glasfaseranschlüssen.

Die folgende Grafik zeigt abstrahiert, wie diese Studie die Entwicklungspotenziale der unterschiedlichen Technologieklassen in Hinblick auf die Gigabitgesellschaft im Jahr 2025 bewertet.

Abbildung 30: Erwartete Entwicklung der Verbreitung der Technologieklassen im Netzzugang



3.4 IKT-Enabler und intelligente Netzfunktionen

Trotz der technischen Weiterentwicklungen für die Netzzugangstechnologien auf der „letzten Meile“ zum Endkunden gibt es technische Begrenzungen (z. B. durch ein gemeinsam genutztes Übertragungsmedium oder durch die zu überbrückenden Entfernungen, wie etwa beim Satellit). Diese lassen sich nicht einfach durch die Nutzung einer „noch schnelleren“ Übertragungstechnologie und ebenso wenig durch die Kombination von Technologien auflösen.

Auch innerhalb der Datennetze lassen sich die vielfältigen Dienstgüteanforderungen der unterschiedlichen genutzten Anwendungen nur noch bedingt durch noch schnellere Netztechnologien befriedigen; ausreichende Bandbreiten sind jedoch eine Voraussetzung, um kontrollierte Dienstgüte anbieten zu können. Ein Grund für den Bedarf an garantierter Dienstgüte für einige Anwendungen (z. B. für VoIP-Sprachtelefonie) ist der Trend zu All-IP-Lösungen (alle Dienste werden über IP-Netze betrieben), wobei der Datenverkehr vieler verschiedenartiger Anwendungen über die gleichen Netzverbindungen übertragen wird. Ferner besteht seitens der Netzbetreiber das Bestreben nach einer effizienten, flexiblen Netzgestaltung und der dynamischen Anpassung von Netzeigenschaften bei Bedarf.

Zur Adressierung dieser und weiterer Anforderungen, bspw. einer sehr hohen Endgerätedichte, werden daher – aufbauend auf schnellen Übertragungstechniken – vermehrt zusätzliche Funktionen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit einzelner Übertragungstechniken oder ganzer Teilnetze eingesetzt. Diese zumeist softwarebasierten Technologien werden aus technischer Sicht als „Enabler“ (to enable: ermöglichen) bzw. intelligente Netzfunktionen bezeichnet und wie folgt definiert:

„Als Enabler (oder allgemeiner intelligente Netzfunktionen) wird/werden eine oder mehrere Systemkomponente/n zur Verbesserung oder Unterstützung der Leistungserbringung durch Hinzufügen von Funktionalität in der Netzinfrastuktur bezeichnet.“

Intelligente Netzfunktionen werden zusätzlich zu den Übertragungstechniken für Datennetze (im Zugang und auch im Kernnetz) eingesetzt, um diese zu erweitern und zu optimieren. Dabei werden mehrere Ziele angestrebt:

- Steigerung der Effizienz/ Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems,
- Virtualisierung/ Flexibilisierung der Netze,
- Verbesserung und Automatisierung des Netzwerkmanagements,
- Verbesserung der Mobilitätsunterstützung.

Unterschiedliche intelligente Netzfunktionen erfüllen eines oder mehrere dieser Ziele. Enabler sind meist auf einen Einsatzbereich abgestimmt (z. B. Funknetze, Netzzugang oder Kernnetze), einige haben jedoch auch eine große Bedeutung für die Verbesserung der gesamten Datenübertragung von Ende zu Ende.

Beispiele:

- Durch Mobile Edge Computing können Latenzen für bestimmte Dienste verringert werden.
- Network Slicing („Netzscheiben“) und Network Function Virtualization (NFV) erlauben eine Flexibilisierung der Transport-Netze, so dass diese für verschiedene Anwendungen bedarfsgerecht bereitgestellt und somit dynamisch genutzt werden können.
- Techniken wie Software-Defined Networking (SDN) und Radio Resource Management (RRM) optimieren Kontrolle und Nutzung der begrenzten Ressourcen in Mobilfunknetzen.

Für die Netze der Zukunft ist zum einen die Wahl einer geeigneten Übertragungstechnik bzw. Technologiemies ausschlaggebend. Zum anderen ist für die Erreichbarkeit der benötigten Netzeigenschaften entscheidend, mit welchen zusätzlichen Maßnahmen und Technologien, d. h., mit welchen intelligenten Netzfunktionen an welchen Orten im Netz diese Netze aufgebaut, betrieben, gesteuert und optimiert werden.

Für die Netze der Gigabitgesellschaft hat diese Studie, basierend auf kommerziellen Lösungen, aktuellen Entwicklungen und Forschungsaktivitäten, folgende hervorzuhebende intelligente Netzfunktionen identifiziert:

A - Funktechnologien

Funktionen speziell von Funknetzen, vor allem zur Optimierung der Eigenschaften einer Übertragungstechnik

Beamforming	Nutzung von Funksignalen mit Richtcharakteristik
Beamtracking	Gezielte Ausrichtung der Funksignale auf Empfänger
DSM	Dynamic Spectrum Management, Optimierung der Frequenznutzung
LAA/LTE-U	Licensed Assisted Access und LTE-Unlicensed
LPWAN	Low Power Wide Area Networks
(MU-)MIMO	(Multi-user) Multiple-Input and Multiple-Output
mmWave	Funk mit Millimeterwellen (Funkspektren ≥ 6 GHz und ≥ 10 GHz)
Ultra Dense Networks	Trend zu sehr dichten Funknetzen

B - Hybridtechniken

Funktionen in Bezug auf verschiedene Aspekte von Parallelbetrieb von Zugängen bzw. Netzen, ob innerhalb einer Technologie oder übergreifend über verschiedene Technologien

Handover	Kontinuität für Datenströme von Mobilgeräten beim Wechsel zwischen Zugangspunkten im Mobilfunknetz
Multipath	Mehrwegeübertragung
Bonding	Bündelung von Übertragungswegen
Offloading	Entlastung der Mobilfunknetze, zumeist durch lokales WLAN
HetNets	Mischung großer und kleiner Funkzellen
Small Cells	Trend zu kleinen und kleinsten Funkzellen
Fixed-Mobile Convergence (FMC)	Zusammenwachsen von Festnetz- und Mobilfunknetzen
VoIP over LTE (VoLTE)	Sprachübertragung über Datennetze (statt separater Sprachnetze)

C - Dienst- und Verteilplattformen

Funktionen auf der Anwendungsebene, weitgehend unabhängig von der genutzten Übertragungstechnik

Edge Computing	Rechenkapazität im Netz, näher zum Nutzer/ Endgerät
MEC	Mobile Edge Computing, Variante für Mobilfunknetze
Anwendungsmobilität	Anwendungen „folgen“ dem Nutzer; nutzt Edge Computing
CDN	Content Distribution Networks, Verteilplattformen

D - Dienstgüte / QoS

Funktionen vorrangig auf der Netzebene zur Ermöglichung ausdifferenzierter Transportdienste

SDN	Software-Defined Networking, Netzwerkflexibilisierung
Network Slicing	„Netzscheiben“; Netz dynamisch als Dienst, entsprechend spezieller Anforderungen

E - Netzmanagement

Komplementär zu den bisherigen Funktionsgruppen mit Schwerpunkt auf der Datenübertragung, finden sich hier Funktionen aus dem Bereich des Netzmanagements, also zu Betrieb, Verwaltung und Überwachung von Netzen.

SDN	Software-Defined Networking, flexibleres Netzmanagement
Virtualisierung	Bereitstellung vieler Funktionseinheiten auf einer Infrastruktur
NFV	Network Function Virtualization, Virtualisierung von Netzfunktionen
IDM	Identitätsmanagement, in Zukunft über Provider-Grenzen hinweg
DSM	Dynamic Spectrum Management, Management der Frequenznutzung
RRM	Radio Resource Management, lokales Management der Frequenzen
Cognitive Networks	Selbständiges Management von Netzen, incl. Optimierung
VNO Enablement	Ermöglichung des Konzepts „Virtual Network Operator“
IPv6	Internet Protocol Version 6 (Nachfolger von IPv4)
Network Analytics/ Monitoring	Kontinuierliche Überwachung des Funktionierens der Netze

Detailliertere Beschreibungen der genannten Enabler sind in Anhang I dieser Studie dokumentiert.

Je nach konkretem Einsatzgebiet wird es in der zukünftigen Gigabitgesellschaft zur Abdeckung der Anforderungen aus den unterschiedlichen Anwendungsdomänen unumgänglich sein, eine oder mehrere der o. g. Enabler in der Praxis einzusetzen. Damit dies effektiv und umfassend geschehen kann, sind bis dahin auf vielen Gebieten noch große Anstrengungen im Bereich der Forschung, Entwicklung und Standardisierung notwendig. So können die mit Enablern verbundenen Innovationen in interoperable Produkte und Dienste umgesetzt werden, Wertschöpfung sichergestellt und Wettbewerb ermöglicht werden.

Kapitel 4 definiert verschiedene Strukturräume, um eine dedizierte Einschätzung der Nutzbarkeit von Netztechnologien und intelligenten Netzfunktionen zu ermöglichen. Dabei wirft es in Abschnitt 4.2 einen Blick auf relevante Anwendungen der Gigabitgesellschaft und deren typische Nutzung in diesen Strukturräumen.

4 Technologiekoptionen in Strukturräumen

Die im Rahmen dieser Studie durch die Bitkom Research GmbH durchgeführte Befragung (siehe Anhang III dieser Studie) unter 754 Unternehmen in Deutschland hat gezeigt, dass 30% aller Unternehmen ihre Netzanbindung im Download zumindest für bestimmte Anwendungen als nicht ausreichend für ihre betrieblichen Zwecke betrachten. Hinsichtlich der Upload-Geschwindigkeit der Netzanbindung steigt der obengenannte Wert auf 36%. Fast 27% der befragten Unternehmen geben an, dass keine bessere als die vorhandene Internetanbindung für ihren Standort auf dem Markt verfügbar ist.

Die Anforderungen der Anwendungen an das Netz aus der Betrachtung in Kapitel 2 dieser Studie und die Ergebnisse der Bitkom-Unternehmensbefragung belegen damit, dass ein weitreichender Ausbau der Netzzugänge und mithin der Netze insgesamt (Zugang, Backhaul und Kernnetz) in Deutschland in den kommenden Jahren unumgänglich ist. Dieser Ausbau wird sich auch zukünftig als Mammutaufgabe darstellen, bei deren Umsetzung Milliardenbeträge in die Verlegung von Kabeltrassen, in Upgrades und Installation von Neugeräten sowie entsprechende Dienstleistungen zur Umsetzung investiert werden müssen.

Umso wichtiger ist es daher, die für den Ausbau notwendigen Investitionen effektiv und effizient einzusetzen, gezielt im Sinne der volkswirtschaftlichen Entwicklung sowie der Zukunftssicherheit der Netze und Zugänge als wesentlicher Basisinfrastruktur. Dabei muss insbesondere auf die Nachhaltigkeit von Förderung und Investitionen der öffentlichen Hand geachtet werden, um für die Gigabitgesellschaft internationalen Standards genügende, langfristig nutzbare Netze zu errichten.

Das folgende Kapitel vertieft die Analyse der zuvor aufgezeigten unterschiedlichen Anforderungen an die Netze und insbesondere an die Netzzugänge für die Gigabitgesellschaft. Dazu differenziert es neben den Anwendungsdomänen zwischen verschiedenen Strukturräumen, denn zum Beispiel besitzen Wohngebiete in Deutschland einen anderen Ausbau mit IKT-Netzinfrastuktur als Industriegebiete, und dieser unterscheidet sich wiederum signifikant vom Netzausbau entlang der großen Mobilitätsstrassen (Autobahn, Fernstraßen, Schienennetz). Dabei ist das Vorgehen in Kapitel 4, zunächst die zentralen Anwendungsdomänen pro Strukturräum auszuwählen. Anhand einer charakteristischen Leitanwendung sowie ggf. weiterer Anwendungen werden die Anforderungen identifiziert mit dem Ziel, daraus technologische Empfehlungen für den optimalen Ausbau in den unterschiedlichen Strukturräumen abzuleiten. Dabei wird auf die in Kapitel 2 herausgearbeiteten Anforderungen in den verschiedenen Anwendungsdomänen, auf die Beschreibung der einzelnen Technologien aus Kapitel 3 und die folgende Analyse der Besonderheiten der Strukturräume zurückgegriffen.

4.1 Charakteristik der Strukturräume

Verschiedene Regionen in Deutschland besitzen ganz unterschiedliche strukturelle Voraussetzungen. Dies trifft insbesondere für die dort vorhandene und für die zukünftig optimale IKT-Vernetzung bzw. deren Mix zu. In einer ländlichen Region kann es bspw. sinnvoll sein, Gemeinden mit oberirdisch verlegten Glasfaserleitungen an die Hochgeschwindigkeitsnetze der Internetprovider anzubinden, in der Großstadt hingegen ist dieses Vorgehen nicht zweckmäßig.

Im Folgenden werden fünf Strukturräume differenziert und beschrieben, damit auf dieser Grundlage nachfolgend zielgerichtete Ausbauoptionen vorgeschlagen werden können. Die identifizierten fünf Strukturräume sind:

Strukturraum	gekennzeichnet durch
Wohngebiete	Private Internetnutzung durch die Bürger und Bürgerinnen für Kommunikation, Internetnutzung und Medienkonsum, für typische Dienste wie Telefonie, E-Mail, Web und Video.
Industrie und Gewerbe	Kommerzielle Nutzung durch Industrie, Gewerbe, Dienstleister (incl. IKT-Dienstleister wie Rechenzentren), sowie KMU-Standorte innerhalb von Mischbebauung.
Öffentliche Einrichtungen und Bildungseinrichtungen	Öffentliche Verwaltung, E-Government, Krankenhäuser, mobile Bürgerbüros etc. sowie Bildungseinrichtungen wie Schulen, Universitäten, Forschungscampus und Kindertagesstätten.
Mobilitätstrassen	Private und gewerbliche Netznutzung entlang von Autobahnen, Landstraßen und Straßen innerorts; technische Verkehrssysteme zur Datenerfassung und zur Steuerung entlang der Straßen, des Bahn-Schiennetzes sowie entlang von Schifffahrtswegen.
Spezielle Orte	Netzzugang in stark beanspruchten Ballungsräumen wie Stadtzentren, Flughäfen, Bahnhöfen, Stadien etc. Diese sind oftmals gekennzeichnet durch eine hohe Dynamik der Anforderungen an die Infrastruktur im Zeitverlauf (z. B. Tag/Nacht) und/oder bei großen Ereignissen.

Jeder Strukturraum besitzt eine eigene, typische Qualität und Quantität an Infrastrukturen wie IKT-Netzinfrastrukturen (Telefon- und Datennetze), Versorgungsnetzen (Straßen, Bahnanlagen, Stromversorgung etc.) sowie an sozialen Infrastrukturen wie Verwaltungs-, Bildungs- und anderen öffentlichen Einrichtungen (Sportplätze, Theater etc.). Zentral für die betrachteten Strukturräume sind in erster Linie die oben genannten charakteristischen Eigenschaften und weniger die unterschiedliche Bebauungs- und Einwohnerdichte, wie sie in anderen Unterscheidungen für Regionen vorgenommen wird, siehe z. B. [BBSR2016]. Hinsichtlich des Wohnens wird dies besonders deutlich: Die Anforderungen für Internetanwendungen im privaten Bereich (z. B. Video-on-Demand) unterscheiden sich bei gering-, mittel- und dichtbesiedelten Wohnräumen nicht.

Speziell für die Breitbandnetze und -zugänge ergeben sich sehr unterschiedliche Anforderungen und Ausbaumöglichkeiten in den verschiedenen Strukturräumen. Nachfolgend werden zunächst die Strukturräume detaillierter beschrieben, um anschließend in Kapitel 4.2 pro Strukturraum Empfehlungen für einen möglichen technischen Ausbau zu geben. Die Empfehlung basiert auf allgemeinen und anwendungsspezifischen Anforderungen, die sich aus der Analyse einer für den jeweiligen Strukturraum prägenden Anwendungsdomäne mit einer zentralen Leitanwendung sowie ggf. zusätzlich relevanten Anwendungen ergeben.

Durch eine Betrachtung der Strukturräume und ihrer jeweils charakteristischen Leitanwendungen können die wesentlichen Anforderungen abgeleitet werden, auch wenn zukünftig weitere oder andere, nicht vorhersehbare Anwendungen eine wichtige Rolle spielen werden. So lässt sich im Folgenden ein ausgewogener Mix an Netztechnologien und intelligenten Netzfunktionen empfehlen, über den sich eine für die Gigabitgesellschaft adäquate Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und eine zukunftsfähige Daseinsvorsorge¹ in jedem Strukturraum sicherstellen lässt.

1 Wohngebiete

Der Strukturraum Wohnen ist zentral gekennzeichnet durch die privaten Kommunikations- und Medienkonsumbedürfnisse der Bürgerinnen und Bürger in Deutschland. Diese treten hier in erster Linie als Nutzer von Diensten im Internet wie Websurfen, E-Mail und Audio/Video-Dienste auf. Hinzu kommen

¹ Gemeint sind an dieser Stelle sowohl die Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse als auch z. B. die Standortsicherung im gewerblichen und industriellen Bereich durch adäquate Netzzugänge und Datennetze.

immer öfter erhöhte Anforderungen durch Nutzung von cloud-basierten Diensten, neue Arbeitsmodelle (Home Office) und Bildungsmöglichkeiten (E-Learning).

Die verfügbaren kabelgebundenen Technologien sind dazu im Prinzip gut bis sehr gut geeignet – vorausgesetzt, der konkrete Anschluss bietet in der Praxis eine ausreichende effektive Geschwindigkeit und Reserven für zukünftige Anwendungen, bspw. bandbreitenintensive Video- und Spieledownloads. Zu berücksichtigen ist ferner, dass mehrere Nutzer in einem Haushalt parallel aktiv sein können.

Wohngebiete zeichnen sich in der Praxis durch eine unterschiedlich hohe Dichte an Haushalten und Einwohnern pro Fläche aus, verbunden mit Unterschieden in der Leistungsfähigkeit der bereits verlegten Netzinfrastruktur. Der Zustand der Netzinfrastruktur ist zudem abhängig vom Zeitpunkt der letzten Modernisierung der lokalen Netzinfrastrukturen, das heißt, mit dem Stand der Technik zu diesem Zeitpunkt.

2 Industrie und Gewerbe

Dieser Strukturraum zeichnet sich durch hohe und vielgestaltige Anforderungen an die Netzinfrastrukturen aus (siehe dazu auch die Anwendungsdomäne Medien in Kapitel 2). Im Vergleich zum privaten Bereich sind die Anforderungen pro Netzanschluss im Allgemeinen höher und haben eine größere Spannbreite. Insbesondere werden im kommerziellen Bereich deutlich häufiger Anschlüsse mit symmetrischer Bandbreite für den Download und den Upload gefordert. Dies zeigt sich auch in den Ergebnissen der Unternehmensumfrage der Bitkom Research GmbH bei den aktuell von Unternehmen gebuchten Netzanschlüssen. Typisch für Industrie und Gewerbe ist, dass „hinter“ einem Netzanschluss (z. B. je Firmenstandort) zumeist deutlich mehr Endgeräte aktiv sind und mehr Menschen darüber Dienste nutzen als im privaten Bereich. Der Strukturraum Industrie und Gewerbe umfasst ferner einzelne, verteilte und ausschließlich von Maschinen genutzte Netzzugänge, bspw. für die Kontrolle und Steuerung von Windkraftwerken, Transformatoren oder Verkehrssteuerungsanlagen.

3 Öffentliche Einrichtungen und Bildungseinrichtungen

Die öffentlichen Einrichtungen in Deutschland sind je nach ihrer Zugehörigkeit (Kommune, Land, Bund) unterschiedlichen Verwaltungseinheiten unterstellt. Im Bereich der öffentlichen Verwaltung ergeben sich daraus verpflichtende Vorgaben für den Netzzugang, z. B. die Anbindung an ein Verwaltungsnetz für die Kommunikation zwischen den Behörden. Allerdings gilt es, zwischen den Szenarien (a) interne Nutzung von Diensten über ÖV-IKT-Infrastrukturen und (b) Anbieten von Diensten für die Bürger (E-Government) zu unterscheiden. Im ersten Fall geht es darum, die Rathäuser, Bürgerämter etc. an die Verwaltungsnetze anzubinden. Im zweiten Fall werden diese Dienste zumeist in den dafür verantwortlichen (Bundes-, Landes- und kommunalen) Rechenzentren betrieben, die entsprechend leistungsfähige Zugänge ins Internet nutzen.

Die verschiedenen Bildungseinrichtungen haben in Deutschland einen sehr hohen Stellenwert und benötigen einen ausreichenden Netzanschluss zum Zugriff auf relevante Inhalte und Dienste im Netz. Die Möglichkeiten des Internets und der kompetente Umgang damit können nur in der Praxis geschult werden, das heißt, wenn ein Netzzugang verfügbar und ausreichend performant ist. Die benötigte Leistungsfähigkeit steigt mit der Anzahl der Schüler, Auszubildenden bzw. Studierenden und mit der Art der Bildungseinrichtung.

4 Mobilitätstrassen

Dieser Strukturraum beinhaltet explizit die Flächen entlang von Autobahnen, Fernverkehrsstraßen und (Fern-)Bahntrassen, insbesondere außerhalb von Städten und geschlossenen Ortschaften. In diesen Gebieten besteht Bedarf an einer Netzinfrastruktur, die eine möglichst hohe Flächenabdeckung bietet. Eine große Herausforderung auf den Mobilitätstrassen ist die unterbrechungsfreie Kommunikation während mobiler Fortbewegung, auch bei hohen Geschwindigkeiten und/oder vielen Passagieren. Ein Großteil der Kommunikation auf und an den Mobilitätstrassen wird im Zugang über Mobilfunknetze abgewickelt. Die Infrastrukturen hierfür müssen in Zukunft deutlich leistungsfähiger werden, um sowohl

der wachsenden Menge an Reisenden als auch deren gesteigerten Erwartungen an Medienkonsum und Internetnutzung unterwegs gerecht zu werden. Zusätzlich wachsen die Anforderungen von M2M-Kommunikation in diesen Gebieten. Das wird bspw. durch Anforderungen aus dem Logistiksektor (z. B. intelligente Mobilität mit Konnektivität zu Fahrzeugflotten) für das kontinuierlich hochverfügbare Monitoring von Fahrzeugen wie Gütern getrieben und das echtzeitnahe, bedarfsgesteuerte Verteilen von neuen Informationen zu diesen. In diesem Strukturräum ist es notwendig, zwischen den einzelnen Kommunikationsarten deutlich zu unterscheiden, da bspw. Medienkonsum und Maschinensteuerung hinsichtlich der Netzanforderungen unterschiedliche Ansprüche stellen.

5 Spezielle Orte

Unter speziellen Orten verstehen wir in dieser Studie solche Areale, die sich durch eine besonders hohe Dichte an Endgeräten im – zumeist öffentlichen – Raum auszeichnen. Darunter fallen zentrale öffentliche Plätze in Metropolen Deutschlands, Flughäfen, Bahnhöfe sowie Orte, an denen nur zu bestimmten Ereignissen sehr viele Endgeräte aktiv sind wie Stadien und Messen. Allen gemein ist, dass die große Mehrheit der Endgeräte eine Drahtlostechnologie (Mobilfunk und/oder WLAN) zur Kommunikation verwendet und dass die Auslastung der Netze an diesen Orten von einer sehr hohen Dynamik geprägt ist (im Gegensatz zur statistischen Mittelung in anderen Strukturräumen).

In den Strukturräumen Wohnen sowie Industrie und Gewerbe gibt es Areale mit schwach ausgeprägter Nachfrage. Jedoch sind die durch Nutzer nachgefragten Netzeigenschaften für Anwendungen der Gigabitgesellschaft dort nicht geringer. Daher sind sie in der Betrachtung mit gleicher Aufmerksamkeit zu berücksichtigen. Wir betrachten daher solche Gebiete nicht separat, sondern als Teil von Wohnen bzw. Industrie und Gewerbe.

Im Folgenden werden wir die skizzierten Strukturräume und die in Kapitel 2 detailliert dargestellten Anwendungsdomänen in Beziehung zueinander setzen. Dabei wird erkennbar, wo und wofür in Deutschland die größten Bedarfe für eine Steigerung der Leistungsfähigkeit der Netze und der Netzzugänge vorliegen.

4.2 Strukturmaumbezogene Handlungsempfehlungen

In den unterschiedlichen Strukturräumen stehen jeweils andere Anwendungen, Nutzergruppen und Bedarfe im Vordergrund. Der Netzinfrastukturausbau und insbesondere die Auswahl der jeweiligen Technologiemixe sind auf diesen Sachverhalt ausgerichtet. Hieraus ergeben sich differenzierte Ausbaustrategien und Handlungsempfehlungen.

Im Folgenden werden die fünf identifizierten Strukturräume eingehender hinsichtlich ihrer Bedarfe analysiert. Ausgehend von den Eigenheiten des jeweiligen Strukturraumes wird unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 eingehend betrachteten Anwendungsdomänen eine Leitanwendung ermittelt. Diese Anwendungen stellen maßgebliche Treiber für Investitionen in den Netzausbau dar und sind gekennzeichnet durch eine herausragende wirtschaftliche und/oder gesellschaftliche Bedeutung. Die Leitanwendungen bestimmen repräsentativ die funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen an die Netzinfrastuktur im jeweiligen Strukturraum. Aus diesem Umfeld erschließen sich erforderliche Netztypen für ihre Realisierung, Anforderungen an Netzintelligenz und die damit benötigten Enabler, sowie die Technologien für den Zugang. Anwendungen, deren Anforderungen an die Infrastrukturen bereits vollumfänglich durch die ausgewählte Leitanwendungsdomäne abgedeckt sind, werden nicht näher betrachtet. Ergänzend wird jedoch teilweise auf weitere Anwendungen eingegangen, falls sie die Anforderungen im Strukturraum erweitern.

Aus den Ausprägungen der Infrastrukturen innerhalb des Strukturraumes ergeben sich differenziert typische Technologiemixe und damit Optionen für den Auf- und Ausbau. Glasfasertechnik dringt in immer mehr Einsatzgebiete vor, sei es direkt bis zum Endkunden (FTTH über PON oder P2P) oder in Kombination mit anderen Technologien (Glasfaser plus Kupferkabel/ Kabelnetze/ Mobilfunkstationen). Je nach Strukturraum, speziellem Einsatzort, Verwendungszweck und dem Endkunden ergeben sich bevorzugte Technologien für den Netzzugang.

Die je Strukturraum abgeleiteten detaillierten Handlungsempfehlungen sind in vier Bereiche unterteilt:

Informationen

Diese Handlungsempfehlungen beziehen sich sowohl auf die Gewinnung notwendiger Informationen für nachfolgende Entscheidungsprozesse als auch auf die Weitergabe und Bereitstellung von Informationen für andere Interessengruppen. Beispielsweise fallen hierunter Studien zu technologischen Entwicklungen wie auch entsprechendes Informationsmaterial für Unternehmen und Bürger. Insbesondere die periodische Erfassung des Zustands von Infrastrukturen und von Märkten etc. bildet die Grundlage zum Erkennen weitergehender Handlungsnotwendigkeiten.

Begleitende Maßnahmen

Unterstützung umfasst Handlungsempfehlungen, bei denen die beteiligten Interessengruppen vor allem selbst initiativ werden oder sich organisieren. Von staatlicher Seite werden sie begleitet oder ggf. unterstützt, bspw. durch die Schaffung oder Förderung von Gremien, Netzwerken oder Plattformen.

Regulierung

Aus der Koordination begrenzter Ressourcen oder der Informationen über den Zustand von Infrastrukturen und Märkten ergibt sich ggf., um Ziele des allgemeinen Interesses zu erreichen, die Notwendigkeit zu einem staatlichen Eingriff in Form von Regulierung. Beispiele sind hier die Frequenzregulierung, die Regulierung des Wettbewerbs beim Teilnehmeranschluss wie auch, als neues Thema, die Plattformregulierung.

Finanzierung

Lassen sich Ziele nicht auf dem Wege der Unterstützung oder Regulierung erreichen, so muss die öffentliche Hand selbst aktiv werden und bspw. über Förder- und Forschungsprogramme sich wettbewerbskonform an der Finanzierung beteiligen oder diese übernehmen. Nicht vergessen werden darf, dass der Staat selbst ein beträchtlicher IT-Anwender ist und über diese Nachfrage und seine Anforderungen das Angebot an Produkten und Diensten beeinflussen kann.

Strukturraum	Leitanwendungsdomäne(n)
Wohngebiete	Medien, Gesundheit
Industrie und Gewerbe	Industrie 4.0
Öffentliche Einrichtungen und Bildungseinrichtungen	Öffentliche Verwaltung, Gesundheit, Medien
Mobilitätstrassen	Automotive, Medien
Spezielle Orte	Medien

Der Strukturraum Wohnen ist durch private Internetnutzung geprägt. Hier stehen vor allem Angebote für Entertainment und damit für die Mediennutzung im Vordergrund. Diese bestimmen durch ihren hohen Bandbreitenbedarf maßgeblich die Ausbauziele für diesen Strukturraum. Dazu kommen zunehmend Smart Home-Technologien und E-Health-Anwendungen. Industrie- und Gewerbegebiete werden vor allem durch Neuerungen aus dem Umfeld von Industrie 4.0 bestimmt. Bei öffentlichen Einrichtungen und Bildungseinrichtungen ergibt sich der Bedarf aus der Überlagerung der Domänen Mediennutzung,

E-Government und Gesundheit mit ihren jeweils spezifischen Anforderungen. Für Mobilitätstrassen sind die Anforderungen aus der Domäne Automotive maßgeblich; zudem spielt die Mobilfunkvernetzung entlang der Bahntrassen eine tragende Rolle. Bei speziellen Orten dominiert Mediennutzung den spezifischen Bedarf, daneben treten Anwendungen aus dem Bereich IoT.

4.2.1 Strukturraum Wohnen

Der Strukturraum Wohnen ist aus Sicht der Netzinfrastrukturen vielfältig und reicht von Wohnanlagen in Großstädten bis zu einzeln stehenden Wohnhäusern in ländlichen Regionen. Dieser Strukturraum ist geprägt durch die Leitanwendungsdomäne Medien. Gerade bei medialen Inhalten (zur Unterhaltung wie auch für Lerninhalte) steigen die Datenraten kontinuierlich, getrieben durch Video mit hoher Bildrate und Ultra-HD/4K-Auflösungen, wobei sich dieser Trend mit 6K/8K-Video, Virtual-Reality (VR) und 360°-Inhalten noch fortsetzen wird.² Daneben wurden als relevante Anwendungen identifiziert: Telelearning und Home Office, Gaming, E-Health, Smart Metering und Cloud-Backup. Die vielfältigen Anwendungen treiben die Anforderungen an die Netzzugänge im privaten Bereich Jahr für Jahr nach oben. Dabei steigt sowohl die benötigte verfügbare Bandbreite, bspw. ca. 7 Mbit/s für einen HD-Video-Datenstrom zu 20–25 Mbit/s für 4K-Video³, als auch das übertragene Datenvolumen (z. Zt. ca. 37 Gigabyte/Monat für einen privaten Internetanschluss [StBB2016]).

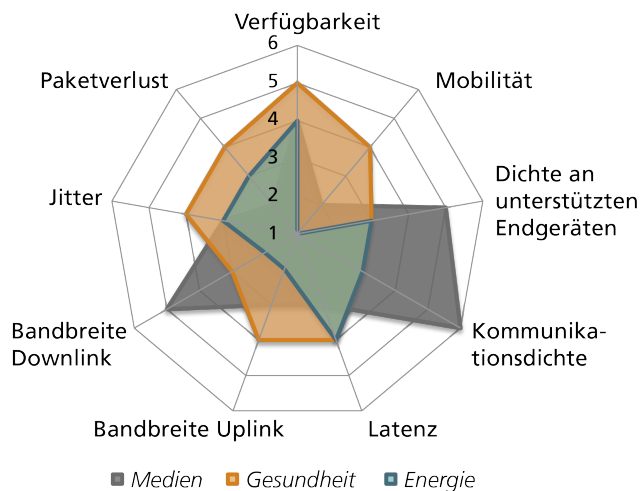
Neben den Anforderungen an höhere Bandbreiten spielen auch zunehmend geringe Latenzen eine Rolle. Treiber hierfür sind die verstärkte Nutzung von interaktiven Anwendungen wie Online-Gaming, Sprach- und Videotelefonie und die Nutzung von Home Office-Angeboten. E-Health-Anwendungen stellen zudem hohe Anforderungen an die Netzverfügbarkeit.

Die Netzanbindung der Privathaushalte stellt durch seine Größe einen Markt von beträchtlicher wirtschaftlicher Bedeutung dar und ist gleichzeitig von hoher gesellschaftlicher Relevanz, indem es gilt, eine Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse zu gewährleisten. Aktuell ist die Netzanbindung in den ländlichen Regionen im Durchschnitt noch nicht auf dem Geschwindigkeitsniveau der städtischen Wohngebiete, jedoch sind die durch Nutzer nachgefragten Netzeigenschaften für die Anwendungen der Gigabitgesellschaft dort nicht geringer als in den Städten. Überlegungen zum Ausbau der Netze mit Breitbandanschlüssen sind daher für das Wohnen in allen Regionen mit gleicher Aufmerksamkeit zu berücksichtigen.

² Siehe Abschnitt 2.4.2 in Kapitel 2 für einen Überblick der Anwendungsdomäne Medien.

³ In der Praxis sollte für unterbrechungsfreies Video-Streaming eine Bandbreitenreserve von einigen Mbit/s vorhanden sein, damit parallele Dienste auf dem Kommunikationskanal nicht sofort zu Beeinträchtigungen des Streamings führen.

Abbildung 31: Anforderungen durch Leitanwendungen im Strukturmaum Wohnen



Als Netztyp ist im Bereich Wohnen vor allem der Anschluss an das offene Internet zu finden. Lediglich Sprachtelefonie wird auf Grund der Qualitätsanforderungen für Telefonie und der fortschreitenden Umstellung der Telefonnetze auf All-IP-Technologie bereits jetzt qualitätsgesichert über denselben Internetzugang übertragen. Es ist denkbar, dass mittelfristig auch Spezialnetze und damit weitere qualitätsgesicherte Anwendungen zu Hause verfügbar sein werden, zusätzlich zum offenen Internet.

Als Netztechnologie für den privaten Internetzugang sind, in unterschiedlichen Anteilen, alle Technologieklassen vertreten. Wie in Kapitel 3 bereits ausgeführt, sind die Technologien aus den vier Technologieklassen unterschiedlich gut für die Anforderungen der Anwendungen der Gigabitgesellschaft geeignet. Für die je Anschluss nötige Bandbreite im Jahr 2025 sehen verschiedene Studien unterschiedliche Erwartungswerte voraus, wobei teilweise von einem Bedarf von bis zu 600 Mbit/s ausgegangen wird. Selbst ohne Betrachtung der genauen Zahl kann geschlossen werden, dass VDSL2 hierfür mittelfristig unterdimensioniert sein wird und Satellitenverbindungen potenziell unwirtschaftlich sind. Ohne Betrachtung der Besiedlungsdichte kann erst einmal konstatiert werden, dass mit Blick auf 2025 nur die folgenden Zugangstechnologien als ausreichend leistungsfähig angesehen werden können: FTTB + G.fast 106Mhz (oder besser), HFC mit DOCSIS 3.0 (oder besser), FTTH (Glasfaser bis zum Home Gateway) oder LTE Advanced bzw. sobald verfügbar 5G-Mobilfunk.

Zur weiteren Optimierung der Netzanschlüsse für den Strukturmaum Wohnen und zur Aufrechterhaltung der Dienstqualität und der Skalierbarkeit werden neben neuen Übertragungstechniken weitere intelligente Netzfunktionen benötigt werden, darunter Verteilplattformen für Videospeicherung und -ausgabe näher am Endkunden und verbesserte Funktechnologien, sowohl für den Internetzugang von allgegenwärtigen Mobilfunkgeräten als auch für verbesserte Abdeckung und Dienstgüte auf den Funkstrecken der o. g. Hybridlösungen⁴.

⁴ Zu Hybridtechniken siehe Kapitel 3, Abschnitt 3.2 Technologiekombinationen.

Informationen

Zur Förderung der Nutzung der Breitbandinfrastruktur und ihrer Möglichkeiten gilt es, Informationen für Bürgerinnen und Bürger bereitzustellen und bspw. den Breitbandatlas zu pflegen und auszubauen.

Im Bereich Medien ist der Zugang zum Internet mit seinen Innovationen und Inhalten wichtig. Der Zustand des Internets sollte erfasst werden und in einem periodischen Bericht veröffentlicht werden. Wichtig ist dabei neben der Leistungsfähigkeit des Zugangs auch die Leistungsfähigkeit der Netzübergänge im Kernnetz.

Für den Zugang von Inhalte- und Diensteanbietern zu (Verteil-)Plattformen wie auch für den Aufbau und Betriebsmodelle, um Wettbewerb sicherzustellen, sollten die Optionen und Effekte der Nutzung von Open Access-Modellen detailliert geprüft und bewertet werden.

Begleitende Maßnahmen

Die Verbraucher werden auch in der Gigabitgesellschaft darüber entscheiden, ob eine Innovation Erfolg hat und zu einem international konkurrenzfähigen Produkt wird oder auch nicht.

Zu empfehlen ist die Durchführung von Ideenwettbewerben für zukünftige Gigabitanwendungen, um lebensnahe und relevante Anwendungen auf den Weg zu bringen.

Notwendig ist die Förderung von offenen Standards bei Verteilplattformen und für neue Dienste/Anwendungen im Bereich AR/ VR. Mit seinem leistungsfähigen Medien- und Spielesektor könnte Deutschland in diesem Anwendungsbereich Einfluss ausüben.

Regulierung

Hier wird die Schaffung förderlicher Bedingungen für die Nutzung öffentlicher Infrastruktur zum Ausbau der Netzinfrastrukturen (bspw. Vereinfachung von Genehmigungsprozessen, harmonisierte EMVU-Grenzwerte, Wegerecht zur Errichtung der Netzinfrastruktur, zumutbare Entgelte für private Standorte bzw. besondere Bedingungen zur Nutzung öffentlicher Standorte) vorgeschlagen.

Die Verfügbarkeit von Frequenzspektrum zur lizenzfreien Nutzung hat starken Einfluss auf die ökonomische und technologische Entwicklung von Kommunikationstechnik (bspw. WLAN im ISM-Band). Durch die Technologiesprünge im Bereich der dynamischen Frequenznutzung (DSM) ergeben sich auch Möglichkeiten zur Entwicklung innovativer Punkt-zu-Punkt-Funksysteme zur Versorgung abgelegener Liegenschaften.

Finanzierung

Nachfrage und Markt sollen durch Finanzhilfen für den Aufbau unterstützt werden. In nachfragereduzierten Gebieten sollte der Breitbandausbau über strukturausbaufördernde Förderprogramme (z. B. Förderung des Ausbaus von 5G-Netzen, Anschluss von öffentlichen Einrichtungen) und die anschließende Mitnutzung der neu geschaffenen Infrastruktur ermöglicht werden. Dieses Vorgehen erlaubt Synergieeffekte und den bedarfsgerechten Ausbau bei wirtschaftlicher Mittelverwendung.

4.2.2 Strukturmaum Industrie und Gewerbe

Diesem Strukturmaum werden Betriebsstätten unterschiedlichster Art zugerechnet, darunter Verwaltungsgebäude, Industriegebiete mit Produktion, Mischgebiete mit Dienstleistern und KMUs. Prägende Leitanwendungsdomäne für diesen Bereich ist Industrie 4.0 mit ihrer tiefgreifenden Umgestaltung von Produktionsprozessen, der Dienstleistungsgesellschaft und mithin der Arbeitswelt.

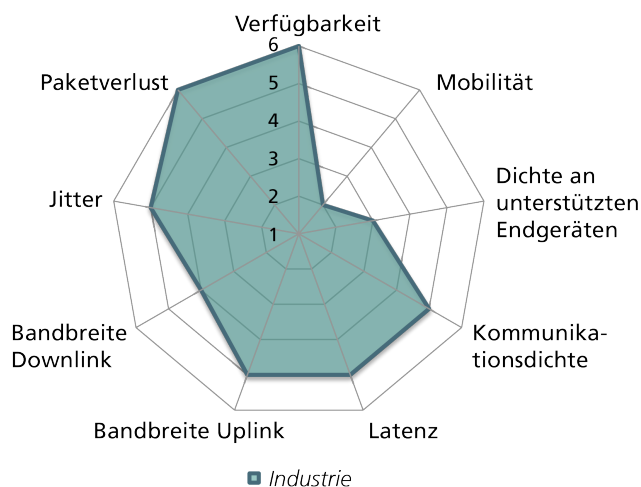
Durch seine Bedeutung für den Wirtschaftsstandort Deutschland nimmt dieser Strukturmaum eine sehr wichtige Rolle ein. Industrie 4.0-Technologien stellen ein entscheidendes Erfolgskriterium für die Produktion in Deutschland dar. Die erfolgreiche Erschließung dient der Zukunftssicherung bestehender Unternehmen, befähigt innovative Produkte und Dienstleistungen auch über Drittanbieter anzubieten, und ist somit Voraussetzung zum Erhalt und zur Erlangung von Technologieführerschaft.

Treibend für den Bedarf an Netzinfrastruktur ist die steigende Digitalisierung der Arbeitswelt. Die industriellen Anwendungen stellen besonders hohe Leistungsanforderungen an die Netzinfrastrukturen. Dies erfolgt zunächst primär über lokale, private Netzinfrastrukturen an den unterschiedlichen Produktionsstandorten, doch zunehmend auch über dynamische weiträumige Nutzung öffentlicher Netzinfrastrukturen (offenes Internet und Spezialnetze).

Die industriellen Anwendungen zusammengefasst erfordern niederlatente, hochperformante Netze mit höchsten Ausprägungen an Verfügbarkeit und Sicherheit.

Das weitreichende Anforderungsspektrum bedarf ebenso eines breiten Spektrums an Netztypen: geschlossene Netze, branchenspezifische Spezialnetze und den Zugang zum offenen Internet.

Abbildung 32: Anforderungen durch Leitanwendung im Strukturmaum Industrie und Gewerbe



Hieraus lassen sich technologische Folgerungen für den Netzanschluss der Standorte ableiten: Am Standort einer modernen Industrie wird tendenziell Glasfaser bis zu jedem Gebäude zwingend erforderlich sein (FTTB). Je nach Organisation der beteiligten Firmen kann dies ggf. mit einem zentralen, mehrfach redundanten Glasfaseranschluss des lokalen Industrie- und Gewerbegebietes geschehen. Auch für den Standort Gewerbepark gilt es, das Gebiet mit Glasfaser anzuschließen, ebenfalls redundant, um es gegen Ausfälle abzusichern. Vom zentralen Anschlusspunkt sind verschiedene Übertragungstechnologien zu den einzelnen Firmenstandorten möglich. Je nach Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und den Kostenrahmen sind für einzelne KMUs bzw. Dienstleister Retail-Produkte basierend auf DSL-Technologien oder HFC-Technologie ausreichend. Als Alternative bei hohem Bandbreitenbedarf ergäbe sich auch hier die Forderung nach einem FTTB-Glasfaseranschluss. Für KMU und Dienstleister mit Sitz in städtischer

Mischbebauung sind o. g. technische Lösungen ebenfalls realisierbar, bei sehr hohen Anforderungen ggf. FTTH-Glasfaser im Einzelauftrag.

Die Energieversorgung gehört in Deutschland zweifelsohne zu den kritischen Infrastrukturen. Im Zuge der Dezentralisierung der Energieerzeugung durch die schrittweise Umstellung auf erneuerbare Energien ist eine immer feinere Kontrolle und Steuerung der Energielieferanten und der Energieabnehmer unerlässlich. Dazu bilden die digitalen Datennetze die Grundlage. Der Energiesektor hat bereits heute extrem hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit der Datennetze, die über Aussagen, wie „99% verfügbar“ hinausgehen. Zum Beispiel gibt es strikte Vorgaben darüber, wie lange ein Ausfall maximal „an einem Stück“ dauern darf, um die angeschlossenen Systeme nicht zu gefährden oder abschalten zu müssen. Dies spiegelt sich auch in Service Level Agreements (SLA) wider, die bspw. konkret „90% Verfügbarkeit pro Stunde“ fordern können, d. h., eine maximal 6 Minuten durchgehende Nichtverfügbarkeit. Forschung und Entwicklung im Bereich virtueller Netzscheiben und von intelligenten Netzfunktionen ist hier gefordert, um für die Zukunft belastbare Produkte zu entwickeln, die die o. g. sehr hohen Anforderungen wie gefordert garantieren können.

Bei nichtstationärer Produktion und mobilem Maschineneinsatz wie bspw. in der Landwirtschaft, werden Mobilfunkanbindungen benötigt. Hierzu können zunächst, bis zur flächendeckenden Verfügbarkeit von 5G, LTE und Nachfolgetechnologien zum Einsatz kommen. Für hohe Bandbreiten können ggf. LTE-U/LAA Unterstützung bieten. Weiträumige Sensorik erfordert mitunter eigenes LPWAN-Netz mit großer Reichweite. Die Erschließung dieser dünnbesiedelten Regionen ist auch nutzbar für privaten Netzzugang (Strukturraum Wohnen in nachfragereduzierten Gebieten), sowie auch für in ländlichen Bereichen angesiedelte Unternehmen einschließlich Home Office-Szenarien. Es ermöglicht den Einsatz von autonomen Fahrzeugen und Maschinen, z. B. autonome Erntemaschinen, und unterstützt Kommunikation für in der Fläche verteilte Sensoren zur Umweltüberwachung (Boden, Luft etc.).

Die hohen funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen in der Leitanwendungsdomäne Industrie 4.0 erfordern für ihre Realisierung intelligente Netzfunktionen, bspw. für die Sicherung der Dienstgüte und eines effizienten Netzmanagements. Für die Abdeckung weiträumiger Gebiete und großer Zellen werden insbesondere Enabler für Funktechnologien benötigt.

Aus der dargestellten Charakteristik des Strukturraums Gewerbegebiete ergeben sich als Handlungsempfehlungen:

Informationen

Die Netzinfrastrukturen für den Strukturraum Gewerbegebiete erfordert eine regelmäßige Erfassung und Berichterstattung über den Zustand der Leistungsfähigkeit und Sicherheit (vgl. IT-Sicherheitsgesetz) hochperformanter geschlossener Netze (fest und mobil).

Machbarkeitsstudien zu derzeit unterstützbaren Industrie 4.0-Anwendungen können frühzeitige Umsetzungen unterstützen. Hierzu dienen auch Informations- und Diskussionsforen, um die Möglichkeiten und Vorteile schnell aufzugreifen.

Es bedarf der Erweiterung der Angebote von Infrastrukturatlas und Breitbandatlas, um den Aufbau im Strukturraum Gewerbegebiete zu unterstützen. Insbesondere die Verfügbarkeit von Qualitätsparametern von Netzen kann bei der Planung anspruchsvoller Anwendungen helfen.

Begleitende Maßnahmen

Zu empfehlen ist die Förderung von offenen Industrie 4.0-Experimentierräumen (Testumgebungen, Anwendungsbeispiele), was die Entwicklung neuer Anwendungen unterstützt und der Umsetzung von Innovationen in der Produktion dient.

Die Anwendungen profitieren von der Verfügbarkeit verteilter Datacenter, insbesondere Edge Cloud-Infrastrukturen. Dies sollte Unterstützung beim Aufbau und Ausbau finden sowie bezüglich deren Zertifizierung in puncto Sicherheitsstandards und offener Schnittstellen.

Zukünftig wird es bei der professionellen Nutzung wichtiger, dass konkrete Servicegarantien (SLA) gegeben werden. Stehen verschiedene Dienste des Netzes zur Verfügung, so sollten diese im Laufe der Entwicklung neuer Angebote weitgehend standardisiert werden, um den Wechsel des Anbieters zu ermöglichen.

Standardisierung ist von herausragender Bedeutung und betrifft Komponenten und Kommunikationsprotokolle für Industrie 4.0, robuste Drahtloskommunikationstechnologien (Industrial Wireless), Wireless Mobile Backhaul (MBH), Offloading sowie Edge Computing-Infrastrukturen (für latenzarme AR- und Analytics-Anwendungen) incl. offener Schnittstellen zur Dienstintegration.

Regulierung

Hier werden insbesondere Frequenzbänder für industrielle Drahtloskommunikation benötigt, die die besonderen Vorgaben der jeweiligen Umgebung erfüllen können, wie z. B. gute Durchdringung von Gebäuden, Unempfindlichkeit gegenüber Störungsquellen, Abdeckung im Außenbereich.

Finanzierung

Es herrscht ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf für den Einsatz aufkommender Technologien aus den Bereichen Software-Defined Networking (Network Slicing, Managementschnittstellen), Edge Computing (Sicherstellung geringer Latenzzeiten), taktile Internettechnologien (Robotik, Maschinensteuerung).

Finanzielle Förderung von Unternehmen (insb. KMUs), die in ihre Informationstechnik zum Anschluss an besonders leistungsfähige Netze investieren. Aufgrund der kurzen Innovationszyklen sollte die Förderung technologie-neutral und bedarfsgerecht erfolgen, dazu bietet sich die Förderung von leistungsfähigen Netzanschlüssen auf der Nachfrageseite an („Sonder-AfA“).

4.2.3 Strukturmaum öffentliche Einrichtungen und Bildungseinrichtungen

Der Strukturmaum öffentliche Einrichtungen und Bildungseinrichtungen besteht aus den Liegenschaften, entsprechend der föderalen Verwaltungsgliederung in Deutschland, sowie Bildungseinrichtungen wie Kindertagesstätten, Schulen oder Universitäten. Außerdem werden in diese Strukturmaumbetrachtung Krankenhäuser und regionale Gesundheitszentren einbezogen. Der Strukturmaum ist geprägt durch die weitgehende flächendeckende Verteilung von Einrichtungen bzw. Liegenschaften.

Für den Strukturmaum sollen für den Bereich öffentliche Einrichtungen als Leitanwendungsdomänen öffentliche Verwaltung und Gesundheit betrachtet werden und für den Bereich Bildungseinrichtungen die Leitanwendungsdomäne Medien. Anwendungen des E-Governments in der öffentlichen Verwaltung sowie Big Data-Anwendungen im Gesundheitswesen stehen für Möglichkeiten der Digitalisierung, die bisher in Deutschland noch nicht voll ausgeschöpft wurden. Bildung mit seinen neuartigen Anwendungen zur

Nutzung hochwertiger, online verfügbarer Ressourcen steht dabei für die Möglichkeit, das Lernen zu unterstützen – und eine kommende Generation auch in der Schule mit der Nutzung aktueller Informationstechnologie vertraut zu machen.

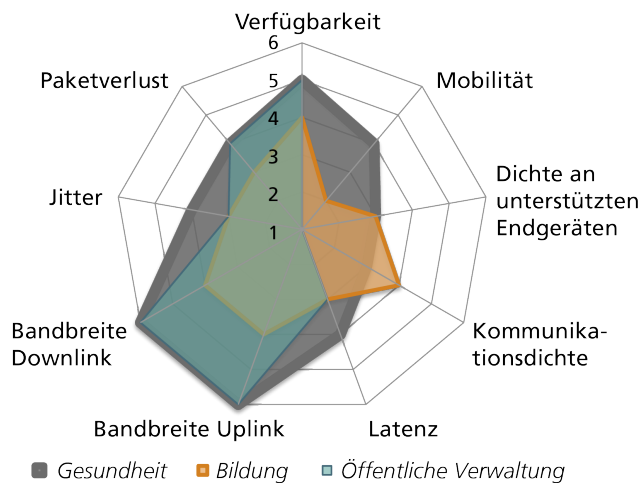
Treiber für die Netzinfrastruktur in diesem Strukturraum sind die steigenden Anforderungen an Bandbreiten und IT-Sicherheit. Im Bereich der Verwaltung werden im Rahmen des E-Governments Fachverfahren und übergreifende Anwendungen zunehmend mittels Auslagerung in Bundes-, Landes- oder kommunale Dienstleistungszentren (z. B. Beschaffungssysteme, CRM-Systeme, E-Akte-Lösungen, Fachverfahren) überführt. Der zentralisierte effizientere Betrieb in modernen Sicherheitsrechenzentren führt dazu, dass alle angebundenen Mitarbeiterarbeitsplätze gleichzeitig ohne Leistungsverlust auf die zentralen Ressourcen zugreifen. Strukturell und funktional ähnliche Anwendungen aus dem Bereich Gesundheit stellen schon jetzt den Bandbreitenbedarf in diesem Strukturraum dar.

Für die Zukunft des deutschen Bildungssystems stellt die netzinfrastrukturelle Unterstützung sowohl im Präsenz- als auch im Fernunterricht ein zunehmend wichtiges Kriterium dar, da sie einen barrierefreien Zugang zu Lerninhalten, unabhängig vom Standort des Lernenden erlaubt. Abhängig von den zukünftig zu unterstützenden medialen Lerninhalten und Anwendungen (Dokumente/ Webseiten, Lernvideos mit niedriger/ hoher Auflösung [HD, 4K, 8K], Virtual Reality/ 360°-Inhalte, virtuelles Klassenzimmer/ Videokonferenzen) werden steigende Anforderungen an die Netzinfrastruktur gestellt, insbesondere auch zur Bereitstellung der Inhalte in der Fläche.

Die Bedeutung dieses Strukturraums liegt in seiner direkten Ausprägung als gesellschaftliche Infrastruktur. Die flächendeckende Verfügbarkeit leistungsfähiger öffentlicher Einrichtungen ist ein Merkmal für die Leistungs- und Handlungsfähigkeit der öffentlichen Hand und soll allen Bürgern gleichermaßen zugutekommen (Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse). Die Bereiche öffentliche Verwaltung, Gesundheit und Bildung sind daher von herausragender gesellschaftlicher Relevanz.

Die Anwendungen stellen insbesondere Sicherheitsanforderungen an die Netzinfrastrukturen. Weiterhin ist die Zusammenarbeit und Interoperabilität zur Hebung von Optimierungspotenzialen (beim E-Government auch über den engeren Bereich der öffentlichen Verwaltung hinaus) sehr wichtig. Zur Umsetzung dieser Anforderungen sind sowohl geschlossene Netze als auch das offene Internet notwendig. Die interne, besonders zu schützende Kommunikation erfolgt (teilweise gesetzlich vorgeschrieben) über geschlossene Netze; gleichzeitig wird eine tiefgreifende, domänenübergreifende Optimierung nur erfolgreich sein können, wenn ein ungehinderter Austausch mit Wirtschaft und Zivilgesellschaft über das offene Internet erfolgen kann. Für Medienanwendungen und bei der gleichzeitigen Nutzung verschiedenster Anwendungen an einem Ort sind auch hohe Anforderungen an die Bandbreite gegeben. Insbesondere ist der Bildungssektor auf das offene Internet mit dem Zugang zu allen Inhalten und innovativen Angeboten angewiesen.

Abbildung 33: Anforderungen durch Leitanwendungen im Strukturmaum öffentliche Einrichtungen und Bildungseinrichtungen



Als Zugangstechnologie werden in diesem Strukturmaum v. a. Glasfaseranbindungen benötigt. Größere Einrichtungen der öffentlichen Verwaltung, Schulen und Krankenhäuser haben einen Bedarf an sehr hohen Bandbreiten, auch im Upload. Hier kommt in der Regel FTTB in Betracht. Für kritische Infrastrukturen werden darüber hinaus redundante Anschlüsse für Ausfallsicherheit benötigt. Für kleinere Einrichtungen, bspw. Kitas, oder Außenstellen können auch Retail-Produkte, ähnlich wie im Strukturmaum Wohnen, ausreichend sein. Für mobile Einrichtungen wie bspw. ein mobiles Bürgeramt oder für den Außendienst wird eine breitbandige und sichere Mobilanbindung benötigt.

Die Infrastrukturen der Anwendungsdomänen öffentliche Verwaltung und Gesundheit nutzen die Infrastruktur als Transportnetz und werden aufgrund des hohen Schutzbedarfs der verarbeiteten Informationen eigene oder dedizierte Rechenzentren betreiben. Daher sind in dieser Sicht auf den Strukturmaum intelligente Netzfunktionen nicht von besonderer Bedeutung. Es sei aber darauf hingewiesen, dass durch ein automatisiertes Netzwerkmanagement die IT-Sicherheit verbessert wird, so bspw. durch die automatisierte Überprüfung von Konfigurationen und die vollständige Umsetzung von Netzwerk-Policies.

Informationen

In den Bereichen öffentliche Verwaltung und Gesundheit stehen oftmals nicht technische, sondern organisatorische bzw. regulatorische Hindernisse der Digitalisierung entgegen. Zu fördern ist eine breite und informierte Diskussion über neue Möglichkeiten durch die Digitalisierung und deren gesellschaftliche Kontrolle auf Basis bestehender und neuer Mechanismen. Das erlaubt die verantwortliche Entwicklung neuer Anwendungen für die Gigabitgesellschaft.

Notwendig ist die Erfassung des Zustands kritischer Infrastrukturen (Verwaltungsnetze, Netze des Gesundheitswesens). Aufgrund der langen Planungsphasen im Bereich der öffentlichen Verwaltung und des Gesundheitswesens ist die Vorschau auf die zukünftige Entwicklung von Anwendungen und die Prognose des Verkehrswachstums besonders wichtig.

Begleitende Maßnahmen

Die öffentliche Verwaltung ist ein bedeutender Nutzer von Informationstechnik. Insbesondere im Bereich von Datenformaten und sicherem Datentransport sollte die öffentliche Verwaltung ihre Lösungen (Best Practices, Softwarebibliotheken, Überprüfungen von [Open Source-]Drittanbietersoftware) dokumentieren und innerhalb der Gliederungen der Verwaltung und mit Unternehmen teilen. Darunter fällt die Bereitstellung von Informationen zu den XÖV-Standards (Schnittstellen, Prozesse).

Es empfiehlt sich, (offene) Daten zur übergreifenden Nutzung bereitzustellen. Die öffentliche Verwaltung (und auch teilweise das Gesundheitswesen) verfügt über umfangreiches Datenmaterial (bspw. Geodaten, Messwerte von Umweltsensoren, Messdaten verschiedener Verkehrssysteme), das zur Steuerung und Optimierung verschiedener Anwendungsbereiche eingesetzt werden kann (Smart City-Ansatz).

Der Nutzen vieler IT-Lösungen im Gesundheitswesen beruht auf Netzwerkeffekten, dazu sind aus technischer Sicht Interoperabilität und offene Schnittstellen notwendig. Die Standardisierung in diesem Bereich sollte gefördert werden.

Zur Entwicklung neuer, vernetzter Anwendungen sind Experimentierräume hilfreich, in denen – zeitlich und inhaltlich begrenzt – vereinfachte Vorschriften und Regularien gelten. In diesen Experimentierräumen können Nutzen und Auswirkungen neuer, auch sektorenübergreifender Anwendungen beurteilt werden.

Regulierung

Augenblicklich geschieht die Umsetzung des IT-Netzgesetzes in allen Gliederungen der Verwaltung, zur Nutzung geschlossener Netze zur verwaltungsinternen Kommunikation.

Zu empfehlen ist die Erweiterung des IT-Sicherheitsgesetzes auf weitere Sektoren (wie geplant) und die Anwendung des IT-Sicherheitsgesetzes zur Verbesserung der IT-Sicherheit von Infrastrukturen.

Die Nutzung des offenen Internets ist sicherzustellen und jene von Plattformen zu ermöglichen. Zur Kommunikation mit Bürgern und Wirtschaft ist die öffentliche Verwaltung auf die Nutzung des offenen Internets ohne die zwingende Notwendigkeit der Nutzung von Spezialdiensten angewiesen. Auch Plattformen können nur umfassend genutzt werden, wenn sie als sicherer und neutraler digitaler öffentlicher Raum gestaltet werden.

Sowohl der Staat als auch das Gesundheitswesen verfügen über Identitätslösungen, die in anderen Anwendungsbereichen eingesetzt werden könnten und dort die Sicherheit oder den Komfort erhöhen. Es sollte geprüft werden, inwieweit Identitätsmanagement auch sektorenübergreifend genutzt werden kann.

Finanzierung

Zur Konsolidierung der meist sehr heterogenen öffentlichen IT-Landschaft ist die Fusion von öffentlichen IT-Dienstleistern zu Dienstleistungszentren gefragt, der Aufbau effizienter, hochverfügbarer Daten- und Rechenzentren für die Anwender der ÖV und die sichere Bereitstellung von Bürger- und Unternehmensdiensten.

Es bedarf der Förderung im Bereich Kommunikationstechnik für Forschung und Entwicklung sowie begleitend die Mitarbeit an der Standardisierung von leistungsfähigen und sicheren Internettransport- sowie Anwendungsprotokollen, Datenformaten und Schnittstellen der Anwendungsdomänen E-Government und Gesundheit.

Notwendig ist die Anbindung der Liegenschaften der öffentlichen Verwaltung und von Bildungseinrichtungen an ein Glasfasernetz. Aufgrund der Flächendeckung öffentlicher Einrichtungen werden auch abgelegene Gebiete erreicht und profitieren dabei besonders vom bereits geleisteten Aufwand zur initialen Schaffung der Anbindung, da sie durch die Mitnutzung geringere Einstiegshürden zu überwinden haben.

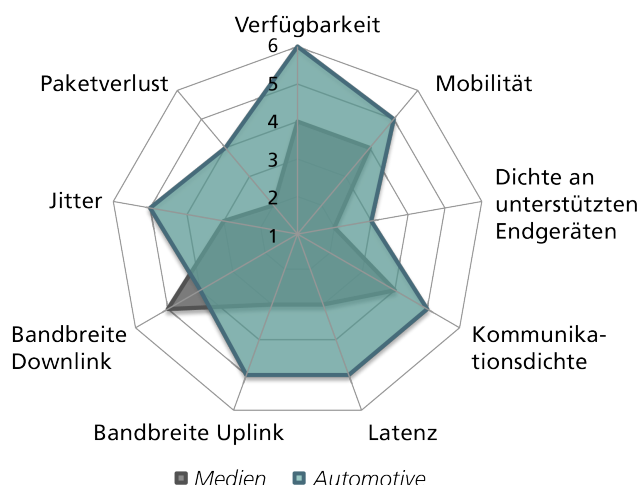
4.2.4 Strukturmaum Mobilitätstrassen

Mobilitätstrassen umfassen Straßen-, Schienen- und Wasserwege. Autobahnen und Hochgeschwindigkeitsstrecken als Haupttrassen des Straßen- und Schienennetzes stellen die größten technologischen Anforderungen. Grund dafür sind die hohe Fahrgeschwindigkeit, das Verkehrs- bzw. Passagieraufkommen bzw. hohe Passagierdichte auf dem Schienennetz, mit dadurch lokal sehr hohen Anforderungen an die Datenraten.

Der Strukturmaum Mobilitätstrassen ist geprägt von der Leitanwendung Automotive. Hierfür ergeben sich naturgemäß ein durchgängig mobiler Zugang zur Infrastruktur und eine enge Kopplung an die technologische Fortentwicklung der 3G/4G-Mobilfunknetze hin zu 5G-Netzen. So taucht Automotive auch als meistgenannter Anwendungsfall für 5G in der aktuellen Studie der EU-Kommission zur Einführung von 5G in Europa auf [EuCo2016c]. Die Leitanwendung Automotive umfasst dabei mehrere zentrale Szenarien, vom automatisierten und vernetzten Fahren, der Car-to-Car-Kommunikation untereinander, über Karten- und Routenupdates unterwegs bis zur mobilen Mediennutzung (Audio, Video).

Die Mobilitätstrassen durchziehen alle anderen aufgezeigten Strukturräume, dabei außerhalb der Städte zumeist dünn besiedelte Regionen. Sie erfordern auf den Trassen die flächendeckende Verfügbarkeit des Zugangs zu den Gigabitinfrastrukturen. Mobilitätstrassen sind dadurch die Pioniere für den Ausbau von bisher unterdurchschnittlich mit mobilem Breitbandzugang versorgten Gebieten. Durch die notwendige Verbindung der Mobilfunk-Basisstationen mit Backhaul-Netzen und darüber hinaus mit Kernnetzen wird ein Ausbau von Glasfaserverbindungen in der Fläche forciert, insbesondere in den dünn besiedelten Regionen. Dadurch ergeben sich neue Optionen zur Mitnutzung von Glasfaserinfrastrukturen für nachfragereduzierte Gebiete.

Abbildung 34: Anforderungen durch Leitanwendungen im Strukturmaum Mobilitätstrassen



Die Anforderungen, die sich im Bereich Automotive für die Mobilitätstrassen stellen, ergeben eine weitreichende Abdeckung des in Kapitel 2 der Studie aufgestellten funktionalen Anforderungsraumes. Neben die primären Automotive-Anwendungen treten hier zusätzlich Infotainment-Angebote, die auch in Fahrzeugen verfügbar sein sollten. Diese Anwendungen sind zwar nicht sicherheitskritisch, so dass in diesen

Fällen geringere Anforderungen an Verfügbarkeit und Sicherheit in den Netzen auftreten, sie erfordern jedoch sehr hohe Download-Datenraten.

Die Bedeutung dieses Strukturraums ergibt sich aus dem hohen gesellschaftlichen Bedarf nach Mobilität, sowohl bei den Bürgern als auch vonseiten der Wirtschaft. Diese Ausrichtung der Gesellschaft auf Mobilität hat jedoch erhebliche Auswirkungen auf unsere Umwelt, insofern gibt es die Notwendigkeit zur bedarfsgerechten und nachhaltigen Gestaltung dieses Anwendungsbereiches. Informationstechnik kann dabei einen erheblichen Beitrag zur effizienten Steuerung und Optimierung aller Verkehrsträger, sowohl innerhalb einzelner Verkehrssysteme als auch übergreifend, sowie in der Folge zur Verringerung der mobilitätsbedingten Umweltbelastung leisten. Der dafür benötigte Datenaustausch bedarf einer leistungsfähigen, standardisierten und offenen Infrastruktur.

Die sicherheitskritischen Anteile des Kommunikationsbedarfs der Fahrzeuge können Spezialnetze erfordern⁵; daneben tritt das offene Internet als wichtiger Netztyp für innovative Anwendungen im Zusammenhang mit dem Anwendungsgebiet Mobilität und für Infotainment-Angebote auf. Hieraus ergibt sich eine Netzinfrastruktur, die leistungsfähige und flächendeckende mobile Breitbandnetze erfordert, die eine Vielzahl von Anwendungsklassen parallel unterstützen können. Für kritische Nachrichten an bewegte Fahrzeuge bedarf es höchster Sicherheitsanforderungen und sehr geringer Latenzzeiten. Zum Aufbau einer derartigen Infrastruktur braucht es den offenen Wettbewerb auf Seiten der Netzinfrastrukturbetreiber in Bezug auf Dienste und Anwendungen. Auch notwendig ist ein hochflexibles Netzmanagement, mit Unterstützung und Einbindung von dezentralen Car-2-x Infrastrukturen.

Grundsätzlich ergeben sich für alle Ausprägungen des Strukturraums Mobilitätstrassen die gleichen Technologieziele: Einsatz von Mobilfunk, unter Beachtung der Weiterwicklung der Mobilfunktechnologien, mit dem Ziel, 5G mittelfristig flächendeckend verfügbar zu machen. Zur Anbindung der Mobilfunkstation wird überwiegend Glasfaser verwendet. LTE-Advanced und dessen Fortführung LTE-Advanced Pro liefern bereits hohe Datenraten im Download und verringerte Latenzzeiten (gegenüber 3G/ UMTS), jedoch werden langfristig die besseren Leistungsparameter von 5G erforderlich sein.

Der Automotive-Bereich erfordert durch seine hohen Anforderungen bzgl. aller funktionalen und nichtfunktionalen Parameter Netzintelligenz aus allen in Kapitel 3 genannten Enabler-Klassen, mit einem hohen Maß an Netzintelligenz in den Zugangsnetzen.

Darüber hinaus erfordern die Technologien und Dienste grenzüberschreitende, zumindest europaweit einheitliche technische Lösungen und Regelungen (z. B. Harmonisierung der genutzten Frequenzen), und können nicht auf den nationalen Raum beschränkt bleiben.

Für den Diffusionsprozess zur Ablösung älterer Technologien durch 5G werden sich ähnliche Muster abzeichnen wie bei bisherigen Mobilfunktechnologien, beginnend in den Verdichtungsräumen und entlang der Hauptmobilitätstrassen, d. h., Autobahnen und Hauptschienennetz, und weiter zu Landstraßen, dem Nebenschienennetz und entlang von Schifffahrtskanälen. Insbesondere das Schienennetz stellt wichtige Trassen zur Mitnutzung bestehender Infrastrukturen bereit.

Aus der dargestellten Charakteristik des Strukturraums Mobilitätstrassen ergeben sich als Handlungsempfehlungen:

⁵ Diese Studie blickt auf die Netze aus einer Infrastruktursicht, daher ist hier bspw. Car-2-Car-Kommunikation von untergeordneter Bedeutung, gleichwohl derartige Aspekte sehr wohl Auswirkungen auf die Gestaltung der Infrastruktur haben können.

Informationen

Wichtig für die Förderung eines zügigen Ausbaus der Gigabitnetzinfrastrukturen entlang der Mobilitätstrassen ist es, eine Wettbewerbssituation zu gewährleisten, sowohl beim Aufbau der Infrastruktur wie auch auf der Ebene der Dienstplattformen, um so Innovation und starke Beteiligung zu erzielen.

Ebenso kann eine Erweiterung der Angebote des Infrastrukturatlases helfen, Angebote und eine Mitnutzung von Infrastrukturelementen für den Aufbau der Gigabitinfrastrukturen entlang der Mobilitätstrassen zu verbessern.

Die Teilnehmer der gewerblichen Transportdienstleister (Lkw/ Transport, Logistik, Bus, Taxi etc.), sollten durch Informationskampagnen frühzeitig auf diese Technologien vorbereitet werden, um Nachfrage und Nutzung der Infrastrukturen zu fördern.

Begleitende Maßnahmen

Die enge Verknüpfung der Leitanwendung Automotive mit Mobilfunktechnologien bedingt die Einbettung dieser Domäne in eine übergreifende europäische 4G/5G-Mobilfunkstrategie.

Hauptmobilitätstrassen und Mobilitätstrassen in verdichteten Räumen stellen bedeutende Anwendungsfelder für Testbeds und Experimentierräume für Forschung, Entwicklung und Innovation dar, wie bereits aktuell mit dem Testfeld A9 und weiteren im Aufbau befindlichen innerstädtischen Automotive-Testfeldern.

Aus den sicherheitskritischen Anforderungen einiger Anwendungsszenarien der Leitanwendung Automotive ergibt sich ein Bedarf an Spezialnetzen, um Sicherheit und QoS gewährleisten zu können.

Des Weiteren erfordert die notwendige Datensicherheit die Entwicklung von zwischen Netzbetreibern und Automobilherstellern harmonisierten Techniken für ein Identitätsmanagement und den Aufbau von PKI-Infrastrukturen für automobiler Kommunikationsdienste.

Darüber hinaus wird der Aus- und Aufbau von Datenplattformen für die offene Verteilung von sicherheitsrelevanten Mobilitätsdaten (z. B. lokale Verkehrsinformationen wie Stau, Unfall etc.) benötigt.

Die Leitanwendung Automotive besitzt ein hohes Potential für viele neuartige Anwendungen. Ideenwettbewerbe für Start-ups und KMUs und anderen Akteure der Gigabit-Wertschöpfungskette können hier Anreize schaffen und dazu dienen, Innovation zu fördern.

Durch die Forderung nach grenzüberschreitenden, internationalen Lösungen spielt Standardisierung eine herausragende Rolle. Wesentliche Elemente betreffen hier den Bereich niederlatenter Drahtloskommunikationstechnologien (Beamforming, MIMO etc.), Mobile Edge Computing (MEC), Software-Defined Networking (SDN) und Netzmanagement (Orchestrierung).

Regulierung

Für den zügigen flächendeckenden Ausbau der Gigabitinfrastrukturen entlang der Mobilitätstrassen bedarf es eines Regulierungsrahmens, der Wettbewerb sowohl auf Seiten der Netzanbieter als auch darauf aufbauender Dienste sicherstellt. Dies sollte Over-the-Top-Dienste (OTT) einbeziehen.

Automotive-Anwendungen bedürfen einer Klärung von Haftungsfragen, die bei Schäden/ Unfällen z. B. durch Ausfall von Mobilkommunikation entstehen.

Finanzierung

Zur Förderung des Aufbaus empfiehlt sich die Subventionierung von Connected Car-Technologien für automatisiertes und vernetztes Fahren, die in der Betaphase als (Test-)Datenquellen dienen.

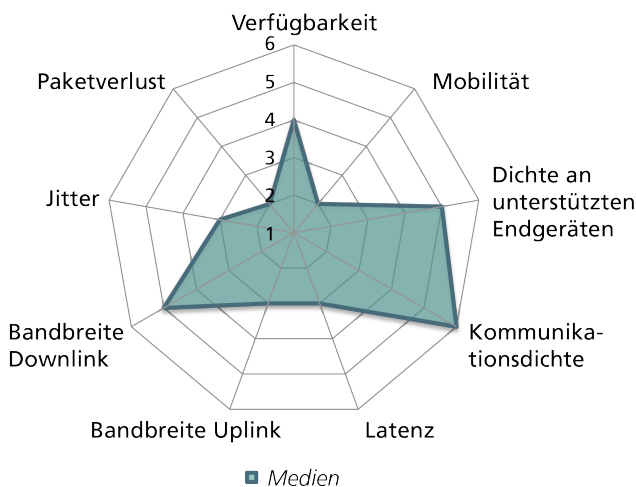
4.2.5 Strukturmaum spezielle Orte

Der Strukturmaum spezielle Orte erfasst Orte vor allem im öffentlichen Bereich, die sich durch ein allgemein hohes Personenaufkommen auszeichnen wie bspw. Flughäfen, Bahnhöfe und Innenstadträume. Er umfasst ebenfalls Orte, die nur zu speziellen Zeitpunkten ein hohes Personenaufkommen verzeichnen wie Stadien, Messen und bestimmte öffentliche Plätze oder Orte, an denen Public Viewing-Events stattfinden.

Die dominierende Leitanwendungsdomäne im Strukturmaum spezielle Orte sind Medien. Die Nutzung an speziellen Orten als Mobilitätsdrehscheiben steht paradigmatisch für die fortgeschrittene Digitalisierung der Gesellschaft und setzt einen mobilen Always-connected-Zugang voraus. Spezielle Orte zeichnen sich durch sehr hohe Endgerätedichte und Mobilität der Nutzer aus. Die interaktive mobile Mediennutzung umfasst sowohl den allgemeinen Zugriff zu Inhalten des Internets, aber vor allem auch orts- und kontextspezifische Multimedia-Inhalte wie erweiterte Realität (Augmented Reality, AR).

Darüber hinaus erfordern spezielle Orte eine kontinuierliche Datenerfassung mittels Sensorik und Videoüberwachung für die Sicherheit und zur Nutzung für weitere besondere Dienste.

Abbildung 35: Anforderungen durch Leitanwendung im Strukturmaum spezielle Orte



Der dominierende Netztyp für spezielle Orte ist das offene Internet. Als Zugangstechnologien kommen hier Mobilfunktechnologien wie Weiterentwicklungen von LTE und zukünftig 5G zum Einsatz, aber auch Offloading über WLAN und Hybridtechnologien wie LTE-U/LAA. Zur Bereitstellung der Übertragungskapazitäten werden kleine und sehr kleine Zellen benötigt. Die verschiedenen Zugangspunkte benötigen leistungsfähige Anbindungen verteilt im Zugangsbereich, teilweise werden bestehende Netzzugänge mitgenutzt bzw. mehrfach genutzt (WLAN-Hotspots). Zur Anbindung von niederbandbreitiger Sensorik eignen sich unterschiedliche LPWAN Technologien.

Informationen

Erforderlich ist die Erfassung und die Berichterstattung über den Zustand des Peerings im Kernnetz und die Nutzung von CDN/ Cloud und ähnlichen Verteilplattformen („Intelligenz im Netz“). Das bildet die Grundlage für unterstützende Maßnahmen oder eine notwendig werdende Regulierung.

Begleitende Maßnahmen

Hinsichtlich Standardisierung stehen in Bezug auf den Strukturraum spezielle Orte vor allem Handover/ Offloading/ Multipath-Protokolle und Mobile Edge Computing (für latenzarme AR/VR-Anwendungen) im Vordergrund, neben dem Bedarf an offenen CDN-Infrastrukturen mit standardisierten Schnittstellen und Multicast-Infrastrukturen für Live-Streaming.

Offene Testfelder im Smart City-Umfeld helfen in der Entwicklung und Pilotierung innovativer Anwendungen sowie in der Entwicklung von Technologien für Handover- und Offloading-Funktionen und Software-Defined Networking (Network Slicing, Management-Schnittstellen) und Mobile Edge Computing.

Ideenwettbewerbe für Start-ups und KMUs unterstützen die Entwicklung innovativer Anwendungen.

Regulierung

Zur Deckung des hohen Bandbreitenbedarfs im mobilen Zugang muss ausreichend Frequenzspektrum verfügbar sein. Hierzu bedarf es geeigneter Frequenzregulierung. Ein Einstieg in das Dynamic Spectrum Managemenet (DSM) scheint geboten, um weitere Optimierungspotenziale bei der Nutzung des Frequenzspektrums zu gewinnen.

Die Bereitstellung drahtloser öffentlicher Netzzugänge (WLAN-Hotspots) wurde zugunsten öffentlicher WLAN-Anbieter gesetzlich geregelt. Es ist zu prüfen, ob die bisherigen Maßnahmen ausreichen, die Anzahl öffentlicher WLAN-Netze deutlich zu erhöhen.

Finanzierung

Zu empfehlen ist die Förderung der Forschung in den Bereichen Handover- und Offloading-Funktionen, Software-Defined Networking (Network Slicing, Management-Schnittstellen, autonomes Netzwerkmanagement) und resiliente Netze.

5 Handlungsempfehlungen

Die zukünftige Gigabitgesellschaft stellt eine fortgeschrittene Informationsgesellschaft dar, die vollständig von Informations- und Kommunikationstechnik durchdrungen ist. Menschen, Maschinen, Dinge und Prozesse werden nahtlos miteinander vernetzt sein. Bürger und Unternehmen werden in ihrem Alltag unabhängig vom Ort vielfältige, aus heutiger Sicht zum Teil noch futuristisch anmutende Anwendungen nutzen.

Die Netzinfrastrukturen der Gigabitgesellschaft, die bis zum Jahr 2025 entstehen, schaffen hierfür die Grundlage. Sie müssen den Transport der massiv anwachsenden Datenmengen ermöglichen und darüber hinaus intelligente Funktionen und Dienste bereitstellen, um divergierende Anforderungen zukünftiger Anwendungen optimal zu unterstützen. So erfordern Anwendungsbereiche wie bspw. Industrie 4.0 und automatisiertes und vernetztes Fahren vor allem einen zuverlässigen Datenaustausch zwischen Maschinen in Echtzeit, während bspw. bei Anwendungen im Medien- und Bildungsbereich oftmals zeittolerantes UHD-Videostreaming, und 360° Virtual Reality-Anwendungen im Vordergrund stehen.

Dabei sind sowohl der Wettbewerb beim nachhaltigen Aufbau und wirtschaftlichen Betrieb als auch die Offenheit bei der Nutzbarkeit aller Teile der Infrastruktur, inklusive der Netzintelligenz, wesentliche Voraussetzungen für zukünftige Innovationen und die Wertschöpfung in Deutschland. Dies zeigt ein vergleichender Blick auf das offene Internet und die historisch geschlossene Telekommunikationsinfrastruktur unmissverständlich auf.

In der vorliegenden Studie wurden die unterschiedlichen Anwendungsdomänen in Hinblick auf Strukturräume analysiert und Anforderungen für den Aufbau der jeweiligen Gigabitinfrastruktur identifiziert. So können durch die Infrastruktur strukturräumsspezifisch Anwendungen gezielt unterstützt werden. Es wurde jedoch keine grundsätzliche Priorisierung einzelner Anwendungsdomänen angenommen. Aus den Einzelanalysen lassen sich gemeinsame Handlungsempfehlungen ableiten. Auch wenn sich für den einzelnen Strukturräum ein eigener spezifischer Technologiemark ergibt, sollte er nachhaltig und in Abstimmung mit anderen Strukturräumen entwickelt werden. Mittels der in Zukunft realisierten intelligenten Netzfunktionen können die strukturräumsspezifischen Ausprägungen dann von den jeweiligen Anwendungen optimal genutzt werden.

Virtualisierung auf mehreren Ebenen wird zum bestimmenden Kennzeichen zukünftiger Netzinfrastrukturen. Sie führt zu einer engen Verschmelzung von Informations- und Kommunikationstechnik. Anforderungen wie geringe Latenzzeit und optimierte Mobilressourcennutzung benötigen die datenquellnahe Speicherung, Aufbereitung und Analyse von Daten mittels Edge Cloud-Techniken. Intelligente Netzfunktionen ermöglichen die flexible und effiziente Erstellung dedizierter Netze und Netzscheiben zur Bereitstellung von Spezialnetzen, wie sie in bestimmten Anwendungsfeldern benötigt werden. Sie sorgen darüber hinaus für die schnelle Einführung und Bereitstellung neuer Anwendungen, wie bspw. kontextbezogene Dienste auf der Basis aktueller Informationen aus Mobilfunknetzen. Und sie unterstützen die Forderungen nach Datensouveränität und -sicherheit, da die Daten näher am Nutzer und Anwender verarbeitet werden. Aufgrund der Bedeutung der Daten sind fortlaufend Anstrengungen zur Absicherung der digitalen Infrastrukturen notwendig. Das betrifft sowohl den Schutz gegen Cyber-Angriffe als auch Maßnahmen zur Sicherstellung der Stabilität und Verfügbarkeit, da insbesondere die Abhängigkeiten zwischen vernetzten Systemen zunehmen werden.

Technologischer Fortschritt in den existierenden Anwendungsfeldern sowie in neuen Anwendungsbereichen wird in den kommenden Jahren zu einer weiteren Aufwertung der Netze führen. Innerhalb der digitalen Transformation von Gesellschaft und Wirtschaft werden die digitalen Infrastrukturen zum entscheidenden strategischen Standortfaktor. Sie ermöglichen Innovation, Wettbewerb, Beschäftigung und nachhaltiges Wirtschaftswachstum in Deutschland und Europa.

Die Herausbildung einer umfassenden, abgestimmten Strategie zum forcierten und zielgerichteten Ausbau und zur Weiterentwicklung der digitalen Infrastrukturen bleibt für die Politik daher von herausragender Bedeutung.

Nach sorgfältiger Analyse der Anforderungen verschiedener potenzieller Gigabit-Anwendungen, der Untersuchung der Leistungsfähigkeit und Nachhaltigkeit verschiedener Breitbandnetztechnologien, sowie der Identifikation von Handlungsempfehlungen hinsichtlich möglicher Technologiemixe in dedizierten Strukturräumen auf Basis der identifizierten Leit-Anwendungen, sowie einer flankierenden Unternehmensbefragung und der Analyse weiterer Studien zum Themenfeld, sprechen wir uns – unter Beachtung von Nachhaltigkeit der zu tätigen Investitionen und Wettbewerb auf allen Ebenen – für den flächendeckenden, technologie-neutralen Aufbau einer leistungsfähigen Gigabit-Infrastruktur aus.

Die Handlungsempfehlungen der Studie lassen sich in vier Handlungsfelder untergliedern:

- 1 Bewusstsein für die Gigabit-Gesellschaft schaffen
- 2 Intelligente Netzfunktionen der Gigabit-Infrastrukturen vorbereiten
- 3 Intelligente Gigabit-Infrastrukturen aufbauen, Wettbewerb sicherstellen, Innovationen ermöglichen
- 4 5G als Katalysator für den nachhaltigen Aufbau der zukünftigen Gigabit-Infrastrukturen nutzen

5.1 Bewusstsein für die Gigabit-Gesellschaft schaffen

Als Folge der zunehmenden Digitalisierung stehen Gesellschaft und Wirtschaft heute global vor einem dramatischen Wandel, der in seiner beschleunigten Dynamik und in seinen Auswirkungen auf internationaler, nationaler und regionaler Ebene kaum vorhersehbar ist; zahlreiche etablierte Wertschöpfungsketten entfallen, während völlig neuartige entstehen.

Für den erfolgreichen Übergang zur Gigabit-Gesellschaft ist es daher von elementarer Bedeutung, schon frühzeitig ein breites Verständnis für die gesellschaftlichen und ökonomischen Chancen zu schaffen, die sich aus Gigabit-Infrastrukturen eröffnen, und gleichzeitig die Risiken zu erkennen, die sich durch ein verspätetes Aufgreifen der Möglichkeiten ergeben. Nur so kann die digitale Transformation erfolgreich gestaltet werden.

Die Empfehlungen in diesem Handlungsfeld ergeben sich vor allem aus den Ergebnissen der Bitkom-Research-Unternehmensbefragung, aus denen sich ein Informationsbedarf ableiten lässt. Durch Bewusstseinsbildung und Information können sinnvolle Investitionsentscheidungen in innovative Gigabit-Infrastrukturen und -Anwendungen von Seiten der Nutzer und Bereitsteller motiviert und vermittelt werden und somit der Infrastrukturwettbewerb stimuliert werden.

Wir empfehlen zur Bewusstseinsbildung für die zukünftige Gigabit-Gesellschaft:

- 1.1 initiale Informationskampagnen zur Gigabit-Gesellschaft für Unternehmen und Gewerbe in Deutschland anzustoßen, die die Bedeutung der digitalen Transformation für die Lebensqualität und das Arbeitsleben verdeutlichen, um so eine breite Teilhabe und rechtzeitige Auseinandersetzung zu fördern;
- 1.2 darauf aufbauend durch Dialogkreise und Foren mit allen beteiligten Interessengruppen die Potenziale der Gigabit-Infrastrukturen und ihre Auswirkung auf zukünftige Wertschöpfungsketten zu diskutieren und Leitpositionen diesbezüglich zu identifizieren. Hierzu bedarf es eines regen Informations- und Erfahrungsaustauschs und der Vernetzung von regionaler, nationaler und EU-Ebene. Insbesondere sind Gigabit-Infrastrukturen als Förderhebel für bestehende und insbesondere zukünftige Schlüsselindustrien in Deutschland zu verstehen.

5.2 Intelligente Netzfunktionen der Gigabitinfrastrukturen vorbereiten

Die Anforderungen der diversen Anwendungen der Gigabitgesellschaft an die Netz- und Dienstinfrastruktur sind nicht gleichartig und unterscheiden sich oftmals in ihrem Bedarf an Bandbreite, Latenz, Mobilität, Verfügbarkeit, Sicherheit und Kommunikationsverhalten. Dennoch benötigen die unterschiedlichen Anwendungsbereiche eine vergleichbare Unterstützung durch intelligente Netzfunktionen. Darüber hinaus werden durch die Verfügbarkeit dieser intelligenten Funktionen weitere – teilweise heute noch unbekannte – Anwendungen erst ermöglicht.

Technologien zu intelligenten Netzfunktionen als Merkmal der Gigabitinfrastrukturen nehmen eine Schlüsselposition ein. Als strategischer Ansatzpunkt bilden sie ein wichtiges Themenfeld des nationalen Innovationssystems und für die Transferleistung der Wissenschaft in die Wirtschaft. Es gilt, diese intelligenten Netzfunktionen umfassend zu verstehen und konsequent und entschlossen einzusetzen.

Die Handlungsempfehlungen ergeben sich aus der Analyse der Leitanwendungen in den unterschiedlichen Strukturräumen:

- 2.1 Wir raten zur Definition eines Forschungsprogramms »Netzintelligenz 2025« mit den Schwerpunkten Netzscheiben (network slicing) und erweitertes Netzmanagement, Netzvirtualisierung, sicherer Parallelbetrieb mehrerer kritischer Netzscheiben, (Mobile) Edge Computing, Verteilplattformen und heterogene Mobilfunknetze (HetNets) unter Berücksichtigung von Funktionalitäten wie bspw. einheitlichem Identity Management für Nutzer, Geräte und Maschinen. Ferner muss der zunehmenden Bedeutung von Open Source-Software im Kommunikationsnetzbereich Rechnung getragen werden. Dabei sollte in Ergänzung zu aktuellen primär anwendungsspezifischen Programmen der Schwerpunkt auf der Etablierung von hochflexiblen Gigabitinfrastrukturen für diverse Anwendungsdomänen über verschiedene Zugangstechnologiemixe liegen. Ferner ist die internationale Standardisierung zu berücksichtigen und aktiv mitzugestalten. Die enge Kooperation zwischen Forschung und Wirtschaft soll zur Entwicklung innovativer Lösungsansätze führen, aus denen international konkurrenzfähige Produkte und Unternehmensgründungen erwachsen können.
- 2.2 Es sollen nachhaltige und aufeinander abgestimmte offene Gigabitexperimentierräume auf der Basis der identifizierten Strukturräume eingerichtet werden. Im Gegensatz zu bisher oft singulär anwendungsspezifischen Testfeldern schafft dieser Ansatz Kosten- und Nutzungssynergien, fördert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit über Anwendungsbereichsgrenzen hinweg und stärkt die kreative Innovationskraft. Der praxisorientierte Ansatz eignet sich besonders, um neue Marktsegmente zu entdecken, die bei einer rein branchenorientierten Sichtweise unerkannt bleiben würden. So wird man in Wohngebieten und Innenstädten Smart City-Technologien und -Anwendungen in ihren Wechselbeziehungen erproben können, im Strukturräum spezielle Orte, beispielsweise Stadien oder Flughäfen und Bahnhöfe, vor allem verschiedene Mobilitäts-, Sicherheits- und Medienanwendungen. Dabei raten wir zum koordinierten Aufbau von offenen Experimentierräumen für alle Arten von Strukturräumen, die einerseits technologieorientiert zur Validierung der Leistungsfähigkeit und Erprobung neuer virtueller Netzarchitekturen und Gigabitanwendungen dienen und auch anwendungsorientierte Experimentierumgebungen zur Erprobung von Branchenlösungen (bspw. Automotive, Industrie 4.0, Logistik) darstellen. Hierbei sollte insbesondere die Beteiligung von Start-ups und KMUs gezielt motiviert und unterstützt werden.
- 2.3 Die Gigabitgesellschaft befindet sich erst im Aufbau. Neben den heute als treibend angesehenen Anwendungen wird die flexible und intelligente Gigabitinfrastruktur viele weitere neuartige Anwendungen hervorbringen. Wir raten unter Einbezug der o. g. Testfelder zu Gigabitideenwettbewerben für Start-ups und KMUs und andere Akteure der Gigabitzwertschöpfungskette, um neue Potenziale zu erfassen. Für die Preisträger sollten Möglichkeiten der Anschubfinanzierung für ihre innovativen Ideen geschaffen werden.

5.3 Intelligente Gigabitinfrastrukturen bereitstellen, Wettbewerb sicherstellen, Innovationen ermöglichen

Die Ergebnisse der Studie motivieren den zeitnahen, flächendeckenden Ausbau gigabitfähiger Breitbandinfrastrukturen in allen betrachteten Strukturräumen. Wie sich aus den verschiedenen betrachteten Anwendungsdomänen folgern lässt, bedingt dies zum einen eine flächendeckende Gigabitnetzinfrastruktur, die je nach Strukturraum durch geeignete Technologiemixe mit Blick auf die Nachhaltigkeit der zu tätigen Investitionen und der primär zu unterstützenden Anwendungen erfolgen sollte: Kostspielige Technologiemigrationen sind zu vermeiden und ein fairer Wettbewerb auf allen Ebenen, d. h. in den Bereichen Infrastruktur, intelligente Netzfunktionen sowie Dienste und Plattformen, muss gewährleistet sein.

Zum anderen beinhaltet die Infrastruktur den frühzeitigen Aufbau einer zugänglichen »Netzintelligenz«-Plattform, um insbesondere auch weniger bandbreitenhungrige, aber niedriglatenzbehaftete Gigabitanwendungen realisieren zu können und somit von Innovationspotenzialen durch den Zugang zur Netzintelligenz zu profitieren.

Sehr wichtig erscheint uns, hervorzuheben, dass es in den Gigabitinfrastrukturen unterschiedliche, nebeneinander stehende Netztypen für verschiedene Anwendungsdomänen zu unterstützen gilt. Spezialnetze sind dabei aufgrund ihrer elementaren Steuerfunktionen für volkswirtschaftlich kritische Anwendungsdomänen und der damit verbundenen zu gewährleistenden Verfügbarkeit, Ausfallssicherheit und Datensicherheit klar vom offenen Internet zu unterscheiden. Dennoch muss das offene Internet grundsätzlich als Motor für nachhaltige Innovationen, insbesondere für Gigabitanwendungen angesehen und unterstützt werden.

Flexible Gigabitinfrastrukturen bilden eine dynamische, verlässliche und vor allem sichere Basis für die verschiedenartigen Gigabitanwendungen. Für deren zügige, bedarfsgerechte Bereitstellung sind von Anbeginn die Einbeziehung und die aktive Beteiligung aller relevanten Interessengruppen unabdingbar.

Insbesondere ist ein fairer Wettbewerb und offener Zugang zu den neu entstehenden intelligenten Netz- und Plattformfunktionalitäten zu gewährleisten. Dazu müssen klare Rahmenbedingungen vorliegen, die die unterschiedlichen Interessen auf Anbieter- und Nutzerseite berücksichtigen. Dies gilt sowohl für die Etablierung von Spezialnetzen für unterschiedlichste Gigabitanwendungen (z. B. Industrielles Internet/ Internet 4.0, Autonomes Fahren, E-Health, Logistikdienste, Sicherheitsdienste etc.) als auch für den Zugang zum Internet.

Ziel ist es, gleichzeitig mit dem Auf- und Ausbau ein reichhaltiges, kooperatives Ökosystem aller Beteiligten zu schaffen und neue Wertschöpfungsketten zu erschließen. Die Ausgestaltung soll Innovationen »Made for Germany« und »Made in Germany« fördern. Hierzu sollen sich insbesondere KMUs einbringen können – sowohl in der Rolle als Nutzer und Anbieter innovativer Dienste als auch als Entwickler von technologischen Lösungen.

Als unterstützende Maßnahmen ergeben sich als Handlungsempfehlung:

- 3.1 Flankierend zu bestehenden Programmen zum Anschluss von Industriegebieten und geplanten Programmen zum Aufbau der Infrastruktur von 5G-Basisstationen sollte die Durchführbarkeit eines Investitionsprogramms zur Anbindung öffentlicher Einrichtungen und Liegenschaften mittels nachhaltiger gigabitfähiger Infrastrukturen geprüft und angestoßen werden. Dieses sollte durch Mitnutzungsmöglichkeiten für weitere Anbieter und Anwender Mehrwert im Sinne des DigiNetz-

Gesetzes generieren. Insbesondere in nachfragereduzierten Gebieten¹ erzielt dies eine Verbesserung der Flächendeckung und dient der Wettbewerbsintensivierung. Initiativen wie »Öffentliche Gebäude ans Netz« können so einen erweiterten Beitrag zur Förderung strukturschwacher Regionen leisten.

- 3.2 Weiterentwicklung der Angebote von Infrastruktur- und Breitbandatlas. Der Infrastrukturatlas sollte es in Zukunft den Unternehmen, die die Netze aufbauen bzw. betreiben, erlauben, weitere Informationen zu den Zugangsnetzen zu hinterlegen, z. B. zur örtlichen Verfügbarkeit intelligenter Netzfunktionen oder zu Dienstangeboten. Dies kann Nutzern des Infrastrukturatlas bei ihren Planungen helfen, insbes. Firmen, welche neben verfügbaren Bandbreiten noch weitere Netzeigenschaften berücksichtigen müssen. Der Breitbandatlas sollte um weitere Informationen, bspw. zu gemessenen Bandbreiten, ergänzt und im Sinne der Ideen von Open Data weiterentwickelt werden. Bestehende und erweiterte Datenbestände würden durch eine weitere Öffnung der Datenbestände neue Wege zur Abfrage und Aufbereitung ermöglichen und damit neue, innovative Dienste auf Basis der Datenbestände schaffen.
- 3.3 Schaffung und Ausbau von investitionsfördernden Rahmenbedingungen. Besonderes Augenmerk sollte auf die Förderung von Start-ups und KMUs gerichtet werden, z. B. durch KfW-Programme oder eine Sonder-AfA für den Aufbau und die Nutzung neuer intelligenter Netzinfrastrukturen durch Start-ups und KMUs. Ebenso sollten Best Practice-Erfahrungen aus kommunalen ÖPP-Modellen genutzt werden.
- 3.4 Der hochwertige Zugang zum offenen Internet und der freie Zugang zu Informationen im Netz ist zu gewährleisten. Er stellt einen unverzichtbaren Bestandteil der digitalen Netzkultur dar und ermöglicht neue Innovationen und eine Vielfalt von darauf aufbauenden Diensten. Die aktuelle EU-weite Regulierung zur Netzneutralität ist hierfür ausreichend geeignet. Zur zielgerechten Umsetzung ist die kontinuierliche Beobachtung des Zustands und der Leistungsfähigkeit des offenen Internets erforderlich, sowohl im Zugang als auch in den Kernnetzen.
- 3.5 Spezifische Anwendungsdomänen erfordern ein erhöhtes Sicherheits- oder Qualitätsniveau. Insbesondere bei der Vernetzung kritischer Infrastrukturen und Maschinen wird die Bereitstellung zusätzlicher, ausdifferenzierter, spezialisierter Netzzugänge wichtiger. Eine Standardisierung von Transport- und Netzzugangsdiensten hilft den Anwendern bei Vergleich und Wechsel von Angeboten. Auch Spezialnetze benötigen daher ein entsprechend angepasstes, kontinuierliches Monitoring und Reporting zur Validierung der zugesicherten Leistungsfähigkeit.
- 3.6 Beim Zugang zu Plattformen und zu intelligenten Netzfunktionen muss der Wettbewerb sichergestellt werden. Intelligente Netzfunktionen bilden die Grundlage für die Realisierung von Schlüsselanwendungen in Bereichen wie Automotive, Industrie 4.0, E-Health und Medien. Für die Umsetzung von Innovation ist daher ein offener Zugang zu intelligenten Netzfunktionen, bspw. zu Verteilplattformen und Netzscheiben, notwendig. Kontinuierliches Monitoring und Reporting der Leistungsfähigkeit ist auch auf Plattformebene nötig.

¹ Der Begriff »nachfragereduziertes Gebiet« umfasst Areale, in denen ohne weiteren Netzausbau aktuell keine für Anwendungen der Gigabitesellschaft ausreichend dimensionierten Netzanbindungen für Endkunden zur Verfügung stehen.

5.4 5G als Katalysator für den nachhaltigen Aufbau der zukünftigen Gigabitinfrastrukturen nutzen

Der weltweite Wettbewerb um technologische Führungspositionen im Bereich 5G ist deutlich erkennbar. Wie schon frühere Mobilfunktechnologien mit ihren Auswirkungen auf Gesellschaft und Wirtschaft sollte auch 5G als Chance verstanden und genutzt werden, insbesondere da sich viele Gigabitanwendungen durch hohe Mobilitätsanforderungen auszeichnen.

In der gegenwärtigen öffentlichen Wahrnehmung werden 5G-Infrastrukturen oftmals auf den Teilbereich der drahtlosen Zugangsnetze reduziert. 5G umfasst jedoch auch die Konvergenz von Mobilfunk- und Breitbandnetzen und insbesondere eine softwarebasierte Gesamtnetzarchitektur. 5G-Technologien und Gigabitinfrastrukturen müssen daher in engem Zusammenhang und in ihren Wechselbeziehungen betrachtet werden. Es existiert sowohl eine große Schnittmenge auf Anwendungsseite als auch Übereinstimmung zwischen den gigabitfähigen Infrastrukturen, sowohl in Hinblick auf den Netzzugang als auch auf die intelligenten Netztechnologien. Intelligente Netzfunktionen bilden dabei die gemeinsame Basis zur effizienten Realisierung flexibler, spezialisierter Anwendungsnetze und unterstützen sowohl bestehende als auch völlig neuartige intelligente Ende-zu-Ende-Steuerungs- und Dienstplattformen.

Die Handlungsempfehlungen ergeben sich aus dem identifizierten Bedarf an Mobilitätsunterstützung von Menschen und Maschinen im Rahmen der betrachteten Leitanwendungen und berücksichtigen Empfehlungen, die auf nationaler wie auch auf EU-Ebene im September 2016 publiziert wurden.

Daraus ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen:

- 4.1 Zur Steigerung der Wirksamkeit der 5G-Förderung und von Infrastrukturmaßnahmen empfehlen wir deshalb die Entwicklung einer umfassenden 5G-Strategie und die Einbettung in die nationale Breitbandstrategie. Hierdurch kommen Maßnahmen zum Aufbau der Gigabitinfrastrukturen (sowohl der Ausbau von nachhaltigen gigabitfähigen Infrastrukturen für den Mobilfunk als auch der Netzintelligenz) auch dem 5G-Infrastrukturaufbau zugute. Dadurch könnte Deutschland im internationalen Vergleich eine 5G-Führungsposition einnehmen.
- 4.2 Mit Blick auf den bereits im Handlungsfeld 2 empfohlenen Aufbau von Gigabittestfeldern auf Basis der Strukturräume wird hier die Etablierung einer »5G-Hauptstadt« oder ggf. mehrerer »5G-Leitstädte« in Deutschland angeraten, in denen nicht nur 5G, sondern auch andere Gigabittechnologien und -Anwendungen praktisch im Feld erprobt werden können.
- 4.3 Die Verfügbarkeit neuer, flexiblerer Nutzungsmodelle für Frequenzspektren hat einen sehr starken Einfluss auf die ökonomische und technologische Entwicklung von Kommunikationstechniken (bspw. WLAN und LTE im ISM-Band, Nutzung neuer Frequenzbänder). Mit der weltweiten Harmonisierung des 5G-Frequenzspektrums und den derzeitigen Technologiesprüngen im Bereich der dynamischen Frequenznutzung ergeben sich auch neue Möglichkeiten zur Entwicklung innovativer Funksysteme. Deshalb empfehlen wir – zusätzlich zu den im 5G-Aktionsplan definierten Maßnahmen zur 5G-Frequenzfreigabe – frühzeitig die Frequenzregulierung auf den Einstieg in aktuelle DSM-Techniken wie Spectrum Sensing, dynamischer Frequenzvergabe und Co-Nutzung auszurichten.

Literaturverzeichnis

- [5GAss2015] Members of the 5G Infrastructure Association. (2015). "5G Vision." Electronic Publishing. Elektronisch verfügbar unter: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>
- [Adlittle2015] Arthur D. Little. (2015). "Wachstumschancen Energiedienstleistungen". Arthur D. Little, elektronisch verfügbar unter: http://www.adlittle.de/uploads/tx_extthoughtleadership/ADL_Energiedienstleistungsstudie_2015.pdf
- [AKDB2016a] Anstalt für Kommunale Datenverarbeitung in Bayern (AKDB). (2016). "Bürgerservice-Portal, eGovernment-Plattform – eine Fülle an Online-Diensten", elektronisch verfügbar unter: <https://www.akdb.de/loesungen/okegov/buergerservice-portal/uebersicht/>
- [AKDB2016b] Anstalt für Kommunale Datenverarbeitung in Bayern (AKDB). (2016). "Bürgerservice-App, Überblick", elektronisch verfügbar unter: <https://www.akdb.de/loesungen/okegov/buergerservice-app/ueberblick/>
- [Alam2015] Alam, Mahbulul. (2015). "The Software Defined Car is Here: Are you ready for it?". Movimiento, elektronisch verfügbar unter: <http://movimentogroup.com/blog/the-software-defined-car-is-here-are-you-ready-for-it/>
- [ANBr2016] ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e.V. (2016): „Das deutsche Breitbandkabel 2016“, elektronisch verfügbar unter: http://www.anga.de/media/file/937.Anga_Factsheets-BB-online.pdf
- [ÄrzteZeitung2014] Ärzte Zeitung online. (2014). "Googles Kontaktlinse für Diabetiker", elektronisch verfügbar unter: <http://www.aerztezeitung.de/medizin/krankheiten/diabetes/article/853384/high-tech-auge-googles-kontaktlinse-diabetiker.html>
- [Atlis2011] Atlis et al.. (2011). "Entwicklung der Beschäftigung im öffentlichen Dienst", elektronisch verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/FinanzenSteuern/EntwicklungBeschaeftigte122011.pdf?__blob=publicationFile
- [Back2014] Backasch, F. (2014): G.now, G.fast, ... , G.übermorgen. Hybrid-FTTH. Was es ist. Wofür es gut ist. Wie es weitergeht", elektronisch verfügbar unter: http://net-im-web.de/freedocs/1410_s34_Backasch_Hybrid_FTTH.pdf
- [Bauer2014] Bauer, W., Schlund, S., Ganschar, O., & Marrenbach, D. (2014). "Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland". BITKOM, elektronisch verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Publikationen/2014/Studien/Studie-Industrie-4-0-Volkswirtschaftliches-Potenzial-fuer-Deutschland/Studie-Industrie-40.pdf>
- [BBSR2016] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2016): „Städtische und ländliche Regionen in Europa“, Referat I 3 - Europäische Raum- und Stadtbeobachtung, elektronisch verfügbar unter: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Home/Topthemen/staedtische_laendliche_regionen_europas.html
- [BDEW2015] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. (2015). "Digitalisierung in der Energiewirtschaft". Elektronisch verfügbar unter: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/B62300F1678E91A9C1257E7B00509CBA/\\$file/Energie_Info_Digitalisierung_09_06_2015_clean_oe.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/B62300F1678E91A9C1257E7B00509CBA/$file/Energie_Info_Digitalisierung_09_06_2015_clean_oe.pdf)
- [Bekker2016] Bekker, Henk. (2016). "Best Selling Cars". Elektronisch verfügbar unter: <http://www.best-selling-cars.com/germany/2015-full-year-germany-best-selling-car-brands>
- [Bild2016] Bild. (2016). "Japanisches Hightech-WC bestimmt Urinwerte", elektronisch verfügbar unter: <http://www.bild.de/ratgeber/gesundheit/kann-arztbesuch-ersetzen-urinwerte-13820148.bild.html>
- [BMG2016] Bundesministerium für Gesundheit. (2016). "Chancen und Risiken von Gesundheits-Apps (CHARISMHA)". Medizinische Hochschule Hannover, elektronisch verfügbar unter: http://www.bmg.bund.de/fileadmin/dateien/Downloads/A/App-Studie/CHARISMHA_gesamt_V.01.3-20160424.pdf
- [BMGb2016] Bundesministerium für Gesundheit (BMG). (2016). "E-Health-Gesetz und elektronische Gesundheitskarte". Elektronisch verfügbar unter: <http://www.bmg.bund.de/themen/krankenversicherung/e-health-gesetz.html>
- [BMJV2016] Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz. (2016). "Nachfolgend abgedruckt das Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) vom 7. Juli 2005", elektronisch verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Methoden/Rechtsgrundlagen/Statistikbereiche/Inhalte/251_EnWG.pdf?__blob=publicationFile
- [BMVI2015] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). (2015). "Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren: Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten", elektronisch verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StB/broschuere-strategie-automatisiertes-vernetztes-fahren.pdf>

- [BMWi2016a] BMWi. (2016). "Gesamtwirtschaftliche Bedeutung des verarbeitenden Gewerbes", elektronisch verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Industriention-Deutschland/gesamtwirtschaftliche-bedeutung.html>
- [BMWi2016b] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2016). "Die Digitalisierung der Energiewende". Elektronisch verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Netze-und-Netzausbau/digitalisierung-der-energiewende.html>
- [BMWi2016c] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2016). "Energie Zahlen und Fakten", elektronisch verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Strommarkt-der-Zukunft/zahlen-fakten.html>
- [BMWiBra2016] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2016). "Branchenfokus". Elektronisch verfügbar: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Wirtschaft/branchenfokus,did=195924.html>
- [Boehringer2016] Boehringer Ingelheim Pharma GmbH. (2016). "Telemedizin Bayern". Bayern gegen den Schlaganfall, elektronisch verfügbar unter: http://www.bayern-schlaganfall.de/index.php?id=telemedizin_bayern
- [Brandon2016] Brandon Hall Research. (2016). Summary Learning Technology 2016, elektronisch verfügbar unter: go.brandonhall.com/l/8262/2016-04-25/5brswr
- [Brüchler2002] Brüchler, Heide; Gisler, Michael. (2002). "E-Government – von den Grundlagen zur Anwendung" Meier, Andreas (editor): EGovernment. Dpunkt Verlag, Heidelberg 2002.
- [Bundesärztekammer2015] Bundesärztekammer. (2015). "Hinweise und Erläuterungen zu § 7 Absatz 4 MBO-A (Fernbehandlung)", elektronisch verfügbar unter: http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/pdf-Ordner/Recht/2015-12-11_Hinweise_und_Erlaeuterungen_zur_Fernbehandlung.pdf
- [Bundesregierung2014] Bundesregierung. (2014). "Digitale Agenda 2014 – 2017", elektronisch verfügbar unter: https://www.digitale-agenda.de/Content/DE/_Anlagen/2014/08/2014-08-20-digitale-agenda.pdf?_blob=publicationFile&v=6
- [BVA2016] Bundesverwaltungsamt. (2016). "Verbindungsnetz DOI", elektronisch verfügbar unter: https://www.bva.bund.de/DE/Organisation/Abteilungen/Abteilung_BIT/Leistungen/IT_Produkte/VerbindungsnetzDOI/verbindungsnetzdoi_node.html
- [BVITG2014] Bundesverband Gesundheit IT. (2014). "Branchenbericht IT-Lösungen im Gesundheitswesen 2014"
- [BWE2016a] Bundesverband Windenergie. (2016). "Anzahl der Windenergieanlagen in Deutschland", elektronisch verfügbar unter: <https://www.wind-energie.de/infocenter/statistiken/deutschland/windenergieanlagen-deutschland>
- [BWE2016b] Bundesverband Windenergie. (2016). "Offshore". Elektronisch verfügbar unter: <https://www.wind-energie.de/themen/offshore>
- [Cacilo2015] Cacilo et al.. (2015). "Hochautomatisiertes Fahren Auf Autobahnen Industriepolitische Schlussfolgerungen". Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), elektronisch verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/H/hochautomatisiertes-fahren-auf-autobahnen,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- [Carson2015] Carson, Erin. (2015). "9 industries using virtual reality". TechRepublic, elektronisch verfügbar unter: <http://www.techrepublic.com/article/9-industries-using-virtual-reality/>
- [Caumanns2016] Caumanns J, et al.. (2016). "Plug&Play-Integration und Analyse von Lifestyle- und Medizin-Daten über eine IoT-Plattform. Erfahrungen mit der Umsetzung eines Demonstrators zur Überwachung von Herzpatienten an den Ruppiner Kliniken". conhIT 2016.
- [Cedefop2001] Cedefop Reference series; 26. (2001). "E-learning and training in Europe"
- [Charité2016] Charité. (2016). "Gesundheitsregion der Zukunft Nordbrandenburg - Fontane", elektronisch verfügbar unter: <https://telemedizin.charite.de/forschung/fontane/>
- [Cisc2015] Cisco (2015), The Zettabyte Era: Trends and Analysis, White paper, Cisco VNI: Forecast and Methodology 2014 – 2019, elektronisch verfügbar unter: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-ngn-ip-next-generation-network/white_paper_c11-481360.html
- [Cisco2004] Cisco. (2004). "Quality of Service Design Overview", elektronisch verfügbar unter: <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=357102&seqNum=2>
- [CISCO2016] CISCO. (2016). "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2015-2020, white paper". Elektronisch verfügbar unter: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html>
- [CISCOVNI2016] CISCO. (2016). "Global mobile traffic forecast update", elektronisch verfügbar unter: http://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights.html#

- [CrSc2015] Crawford, S., Scott, B. (2015): Be Careful What You Wish For: Why Europe Should Avoid the Mistakes of US Internet Access Policy, in: stiftung neue verantwortung, Policy Brief, Juni 2015, elektronisch verfügbar unter: http://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/broadband.eu_usa_0.pdf
- [Dena2014] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). (2014). "dena-Smart-Meter-Studie", elektronisch verfügbar unter: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Energiesysteme/Dokumente/140709_dena-Smart-Meter-Studie_Endbericht_final.pdf
- [Destatis2016a] Statistisches Bundesamt. (2016). "Öffentliche Finanzen & Steuern, Ausgaben und Einnahmen", elektronisch verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/OeffentlicheFinanzenSteuern/OeffentlicheFinanzen/AusgabenEinnahmen/Tabellen/Ausgaben.html>
- [Destatis2016b] Statistisches Bundesamt. (2016). "Energie- und Wasserversorgung", elektronisch verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/BeschaeftigteUmsatzInvestitionen/Tabellen/KSEDaten.html>
- [Destatis2016c] Statistisches Bundesamt. (2016). "Bevölkerung und Erwerbstätigkeit – Entwicklung der Privathaushalte bis 2030, Ergebnisse der Haushalts voraus berechnung", elektronisch verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/HaushalteMikrozensus/EntwicklungPrivathaushalte5124001109004.pdf>
- [Deutschland2014] Deutschland.de. (2014). "Trends im E-Learning", elektronisch verfügbar unter: <https://www.deutschland.de/de/topic/wissen/bildung-lernen/trends-im-e-learning>
- [Dujin2014] Dujin, A., Geissler, C., & Horstkötter, D. (2014). "Industry 4.0 The new industrial revolution. How Europe will succeed". Roland Berger Strategy Consultants GmbH, elektronisch verfügbar unter: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_tab_industry_4_0_20140403.pdf
- [Elearning2016] E-Learning Journal. (2016). "Digitalisiertes Bildungsmanagement – Imperativ für Industrie 4.0". Elektronisch verfügbar unter: <http://www.elearning-journal.de/index.php?id=1872>
- [Energiewende2016] BMWi Energiewende. (2016). "Energiewende, ein neues Kapitel der Energiewende", elektronisch verfügbar unter: <http://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/14/Video/topthema.html>
- [Eteaching2016] e-teaching. (2016). "MOOCs – Hintergründe und Didaktik", elektronisch verfügbar unter: <https://www.e-teaching.org/lehrszenarien/mooc>
- [EU2016] EU Commission. (2016). "Länderbericht Deutschland 2016, EU Commission, Brussels 2016", elektronisch verfügbar unter: http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/csr2016/cr2016_germany_de.pdf
- [EuCo2016a] EC: Connectivity for a Competitive Digital Single Market - Towards a European Gigabit Society, European Commission, Directorate-General for Communications, COM/2016/0587 final, CELEX number: 52016DC0587, 14/09/2016, elektronisch verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-connectivity-competitive-digital-single-market-towards-european-gigabit-society>
- [EuCo2016b] EC: 5G for Europe: An Action Plan, European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, COM/2016/0588 CELEX number: 52016DC0588 14/09/2016, elektronisch verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/5g-europe-action-plan>
- [EuCo2016c] EC: Identification and quantification of key socio-economic data to support strategic planning for the introduction of 5G in Europe, Final Report, A study prepared for the European Commission DG Communications Networks, Content & Technology, Sep 2016, elektronisch verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/5g-deployment-could-bring-millions-jobs-and-billions-euros-benefits-study-finds>
- [EY2013] Ernst & Young. (2013). "Cost-Benefit analysis for the comprehensive use of smart metering", elektronisch verfügbar unter: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Kosten-Nutzen-Analyse-Roll-out-Smart-Meter-Eng/\\$FILE/EY-BMWI-Endbericht-KNA-Smart-Metering-2013-ENG.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Kosten-Nutzen-Analyse-Roll-out-Smart-Meter-Eng/$FILE/EY-BMWI-Endbericht-KNA-Smart-Metering-2013-ENG.pdf)
- [Finus2013] Finus, Frauke. (2013). "Stent mit integriertem Diagnosesystem", elektronisch verfügbar unter: <http://www.devicemed.de/stent-mit-integriertem-diagnosesystem-a-413626/>
- [FOKUS2013] Fraunhofer FOKUS. (2013). "MyRehab". ESPRI, elektronisch verfügbar unter: <https://www.fokus.fraunhofer.de/go/myrehab>
- [Fromm2015] Fromm et al.. (2015). "Bürokratieabbau durch Digitalisierung: Kosten und Nutzen Von E-Government für Bürger und Verwaltung, Gutachten für den Nationalen Normenkontrollrat". Fraunhofer FOKUS, Kompetenzzentrum OFFENTLICHE IT, elektronisch verfügbar unter: https://www.normenkontrollrat.bund.de/Web/NKR/Content/DE/Download/2015_11_12_gutachten_eqov_2015_dokumentation.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- [Frost2011] Frost & Sullivan. (2014). "Global Smart Grid Market N856-14"

- [Frost2016] Frost & Sullivan. (2016). "Future of the Smart Grid Industry". MC2E Energy & Power Systems.
- [Frost2016b] Frost & Sullivan. (2016). "Insight on Digital Learning and Secondary Education in North America", Market Insights, Report Nr. 9849/50. Information & Communication Tech.
- [Garber2014] Garber et al. (2014). "Innovation In U.S. Health Care, Options to Decrease Spending and Increase Value". Rand Corporation. Elektronisch verfügbar unter: http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR300/RR308/RAND_RR308.pdf
- [Gasser2015] Gasser, T. M. & Schmidt. (2015). "Bericht zum Forschungsbedarf: Runder Tisch Automatisiertes Fahren – AG Forschung: Bundesanstalt für Straßenwesen", elektronisch verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bericht-zum-forschungsbedarf-runder-tisch-automatisiertes-fahren.pdf?__blob=publicationFile
- [Geissbauer2014] Geissbauer, Reinhard, et al. (2014). "Industrie 4.0." Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution." Hg. v. PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter: <http://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industrie-4-0.pdf>
- [Gianna2014] Giannakouris, Konstantinos, Smihily, Maria. (2014) "Cloud Computing—Statistics on the Use by Enterprises." European Commission, elektronisch verfügbar unter: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Cloud_computing_-_statistics_on_the_use_by_enterprises
- [Gigerenzer2016] Gigerenzer et al.. (2015). "eHealth und mHealth –Chancen und Risiken der Digitalisierung im Gesundheitsbereich". Sachverständigenrat für Verbraucherfragen, elektronisch verfügbar unter: https://www.bmjv.de/SharedDocs/Downloads/DE/Artikel/01192016_Digitale_Welt_und_Gesundheit.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [GoldmanSachs2016] The Goldman Sachs Group. (2016). "Virtual and Augmented Reality Report", elektronisch verfügbar unter: <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/technology-driving-innovation-folder/virtual-and-augmented-reality/report.pdf>
- [Grätzel2015] Grätzel von Grätz, Phillip. (2015). "HIMSS Europe: Insights Vol 3 No 4, 2015", elektronisch verfügbar unter: http://www.nuance.de/ucmprod/groups/healthcare/@web-de/documents/collateral/hc_042224.pdf
- [Grossman2016] Grossman et al.. (2016). "Deterministic Networking Use Cases", IETF Draft, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ietf.org/draft-ietf-detnet-use-cases-11.txt>
- [H.264] Wikipedia. (2016). "H.264/MPEG-4 AVC". Elektronisch verfügbar unter: https://en.wikipedia.org/wiki/H.264/MPEG-4_AVC
- [Hertz2014] 50Hertz, Amprion, TenneT, Transnet BW. (2014). Informationsschrift „Mindestanforderungen an die Informationstechnik des Anbieters für die Erbringung von Sekundärregelleistung (SRL)". Fassung vom 28.11.2014. Elektronisch verfügbar unter: <https://www.regelleistung.net/ext/download/minAnforderungInformationstechnikSrl>
- [IAO2016] Fraunhofer IAO and Horvath & Partners. (2016). "The value of time, Nutzerbezogene Service-Potenziale durch autonomes Fahren", elektronisch verfügbar unter: https://blog.iao.fraunhofer.de/images/blog/studie-value_of_time.pdf
- [Ibeo2010] Ibeo. (2010). "IBEO Lux Datenblatt". Ibeo Automotive. Elektronisch verfügbar unter: <http://abott-mf.com/images/pdf/IbeoLUX2010.pdf>
- [John2016] John, Isabel et al.. (2016). "Das Bürgerkonto Möglichkeiten und Potentiale Studie". Institut Design und Informationssysteme (IDIS), elektronisch verfügbar unter: http://www.bay-innovationsstiftung.de/fileadmin/docs/studie_buergerkonto.pdf
- [Jurran2015] Jurran, Nico. (2015). "Microsoft Band: Neues Aktivitätstracker-Armband mit noch mehr Sensoren". Heise Online, elektronisch verfügbar unter: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Microsoft-Band-Neues-Aktivitaetstracker-Armband-mit-noch-mehr-Sensoren-2839026.html>
- [KBA2016] Kraftfahrtbundesamt, Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2016, elektronisch verfügbar unter: http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html
- [Klapproth2016] Klapproth, Jorge. (2016). "Der Tag X - Vorbereitung Auf Den Ernstfall: Handbuch Für Krisenmanagement Und Krisenkommunikation". Books on demand.
- [Lafuente2016] Lafuente, Leticia. (2016). "Virtual Reality And Augmented Reality In Education". eLearning Industry, elektronisch verfügbar unter: <https://elearningindustry.com/virtual-reality-augmented-reality-education>
- [LeiKA2016] Leistungs Katalog (LeiKA). (2016). Online-LeiKa, elektronisch verfügbar unter: <http://www.gk-leika.de/startseite/leika/online-leika/>
- [LiDAR2010] Velodyne LiDAR. (2010). "HDL 64E High Definition LiDAR Datasheet", elektronisch verfügbar unter: http://velodynelidar.com/lidar/products/brochure/HDL-64E%20S2%20datasheet_2010_lowres.pdf
- [LiDAR2015] Velodyne LiDAR. (2015). "Velodyne LiDAR PUCK datasheet", elektronisch verfügbar unter: http://velodynelidar.com/docs/datasheet/63-9229_VLP16_Datasheet_Rev-A_Web.pdf

- [Liikanen2001] Liikanen, Erkki. (2001). "e-Learning in the Knowledge Society", elektronisch verfügbar unter: http://europa.eu/rapid/press-release_SPEECH-01-214_en.pdf
- [Lucke2000] Lucke, J., & Reiner mann, H.. (2000). "Speyerer Definition von Electronic Government. Forschungsinstitut Für Öffentliche Verwaltung (Hrsg.)", elektronisch verfügbar unter: <http://192.124.238.248/ruvii/SP-EGov.pdf>
- [Lutter2015] Lutter, Timm, Angelika Pentsi, und Michael Poguntke. (2015). "Zukunft der Consumer Electronics – 2015. Marktentwicklung, Schlüsseltrends, Mediennutzung. Konsumentenverhalten, Neue Technologien". BITKOM, elektronisch verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Publikationen/2015/Studien/CE-Studie-2015/150901-CE-Studie-2015-online.pdf>
- [Mbb2014] mmb Institut – Gesellschaft für Medien- und Kompetenzforschung mbH. (2014). "MMB Branchen monitor 2015", elektronisch verfügbar unter: http://www.mmb-institut.de/mmb-monitor/branchenmonitor/MMB-Branchenmonitor_2014_I.pdf
- [Mbb2015] mmb Institut – Gesellschaft für Medien- und Kompetenzforschung mbH. (2015). "MMB Branchen monitor 2015", elektronisch verfügbar unter: www.mmb-institut.de/mmb.../MMB-Branchenmonitor_2015_I.pdf
- [Mearian2015] Mearian, Lucas. (2015). "Brief: Tesla boosts 0-60 acceleration with over-the-air software upgrade". Computer World, elektronisch verfügbar unter: <http://www.computerworld.com/article/2877911/brief-tesla-boosts-0-60-acceleration-with-over-the-air-software-upgrade.html>
- [Mechatronik2016] Mechatronik. (2016). "Software & IT"
- [MED2015] Die Medienanstalten. (2015). "Digitalisierungsbericht 2015, Digitale Weiten, analoge Inseln – Die Vermessung der Medienwelt", elektronisch verfügbar unter: http://www.die-medienanstalten.de/fileadmin/Download/Publikationen/Digitalisierungsbericht/2015/Digitalisierungsbericht_2015_deutsch.pdf
- [Meedia2016] Meedia. (2016). "Marktanteile der Streaming-Portale: Amazon weit vor Netflix, Sky und Maxdome", elektronisch verfügbar unter: <http://meedia.de/2016/07/06/marktanteile-der-streaming-portale-amazon-weit-vor-netflix-sky-und-maxdome/>
- [Mooc2013] MOOC Maker Course. (2013). "WAS IST EIN MOOC?", elektronisch verfügbar unter: <http://howtomooc.org/uber-mmc13/was-ist-ein-mooc/>
- [MUG2016] Medizinische Universität Graz. (2016). "Hautkrebs: Impuls Telemedizin". Elektronisch verfügbar unter: <https://www.medunigraz.at/gesundheits Themen/detail/news/hautkrebs-impuls-telemedizin/>
- [Panasonic2015] Panasonic. (2015). "AVC-ULTRA Overview rev. 2.0", elektronisch verfügbar unter: http://pro-av.panasonic.net/en/sales_o/p2/AVC-ULTRAoverview.pdf
- [Pentsi2013] Pentsi, Angelika. (2013). "Öffentliche Hand gibt über 20 Milliarden Euro für ITK aus". BITKOM, elektronisch verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Oeffentliche-Hand-gibt-ueber-20-Milliarden-Euro-fuer-ITK-aus.html>
- [pharmaSuisse2014] pharmaSuisse. (2014). "NetCare", elektronisch verfügbar unter: <http://www.pharmasuisse.org/de/dienstleistungen/Themen/Seiten/netCare.aspx>
- [Pino2016] Pino, Nick. (2016). "4K TV and UHD: Everything you need to know about Ultra HD". TechRadarIndia, elektronisch verfügbar unter: <http://www.in.techradar.com/news/television/4K-TV-and-UHD-Everything-you-need-to-know-about-Ultra-HD/articleshow/40693789.cms>
- [PLENK2010] PLENK2010. (2010). "Personal Learning Environments and Knowledge Networks Online Course", elektronisch verfügbar unter: <http://connect.downes.ca>
- [PWC2013] Price Waterhouse Coopers. (2013). "German Entertainment and Media Outlook 2013-2017", elektronisch verfügbar unter: <http://www.pwc.de/de/technologie-medien-und-telekommunikation/unterhaltungs-und-medien-branchen-in-deutschland-die-digitalen-medien-bestimmen-das-wachstum.html>
- [PWC2016] Price Waterhouse Coopers. (2016). "German Entertainment and Media Outlook", elektronisch verfügbar unter: <https://outlook.pwc.de>
- [RFC 3234] Carpenter, B., Brim, S. (2002): Middleboxes: Taxonomy and Issues, RFC 3234, elektronisch verfügbar unter: <https://tools.ietf.org/html/rfc3234>
- [RFC2460] S. Deering, R. Hinden: Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification, RFC2460, Dezember 1998, elektronisch verfügbar unter: <https://tools.ietf.org/html/rfc2460>
- [RM2016] Research and Markets. (2016). "E-learning Market in Europe 2016-2020, Marktanalyse"
- [Robbes2012] Robbes. (2012). "Massive Open Online Courses: Das Potenzial des offenen und vernetzten Lernens", elektronisch verfügbar unter: http://www.weiterbildungsblog.de/wp-content/uploads/2012/06/massive_open_online_courses_robbs.pdf

- [Roland2015] Roland Berger Strategy Consultants GmbH. (2015). "Aktuelle Diagnose und Therapie der wirtschaftlichen Misere deutscher Krankenhäuser". Roland Berger Strategy Consultants GmbH.
- [Roland2016] Roland Berger Strategy Consultants GmbH. (2015). "The Industrie 4.0 transition quantified – How the fourth industrial revolution is reshuffling the economic, social and industrial model", elektronisch verfügbar unter: http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Industrie_40_20160609.pdf
- [SANDVINE2016] Sandvine Inc.. (2015). "Global Internet Phenomena Latin America & North America", elektronisch verfügbar unter: <https://www.sandvine.com/downloads/general/global-internet-phenomena/2015/global-internet-phenomena-report-latin-america-and-north-america.pdf>
- [Schulze2016] Schulze, Karsten. (2016). "Enabling the Connected Highly Automated Vehicle". BITKOM, elektronisch verfügbar unter: <https://www.bitkom-bigdata.de/sites/default/files/1000-1030%20KSchulze%20IAV.pdf>
- [SevenOne2016] SevenOne Media GmbH. (2016). "Media Activity Guide 2016". Elektronisch verfügbar unter: http://www.mediaactivityguide.de/download/MediaActivityGuide_2016.pdf
- [Siemens2015] Siemens. (2015). "Vehicle-to-X (V2X) communication technology". Siemens, elektronisch verfügbar unter: <https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/en/road-solutions/urban/trends/siemens-vehicle-to-x-communication-technology-infographic.pdf>
- [Stanley2013] Stanley, Morgan. (2013). "Self-Driving the New Auto Industry Paradigm", elektronisch verfügbar unter: <http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/PDFs/Nov2013MORGAN-STANLEY-BLUE-PAPER-AUTONOMOUS-CARS:-SELF-DRIVING-THE-NEW-AUTO-INDUSTRY-PARADIGM.pdf>
- [Statista2015] Statista GmbH. (2015). "Anteil der Wirtschaftssektoren an der Bruttowertschöpfung in Deutschland im Jahr 2015", elektronisch verfügbar unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/36846/umfrage/anteil-der-wirtschaftsbereiche-am-bruttoinlandsprodukt>
- [Statista2016a] Statista GmbH. (2016). "Daten und Fakten zu Medien und zur Mediennutzung in Deutschland", elektronisch verfügbar unter: <https://de.statista.com/themen/101/medien/>
- [Statista2016b] Statista GmbH. (2016). "Umsätze in den einzelnen Marktsegmenten der Unterhaltungs- und Medienbranche in Deutschland im Jahr 2014 (in Millionen Euro)", elektronisch verfügbar unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/6325/umfrage/umsaetze-der-unterhaltungs--medienbranche-nach-segmenten/>
- [Statista2016c] Statista GmbH. (2016). "Erlöse der Stromanbieter in Deutschland in den Jahren 1972 bis 2014 (in Millionen Euro)", elektronisch verfügbar unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/7029/umfrage/erloese-der-stromanbieter-in-deutschland-seit-1972/>
- [Statista2016d] Statista GmbH. (2016). "Stromerzeugung der vier größten Stromversorger in Deutschland im Jahresvergleich 2010 und 2014 (in Terawattstunden)", elektronisch verfügbar unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/186645/umfrage/anteil-der-groessten-stromerzeuger-an-der-stromerzeugung-in-deutschland/>
- [Statista2016e] Statista GmbH. (2016). "Anzahl der Unternehmen am Energiemarkt in Deutschland nach Bereichen im April 2016", elektronisch verfügbar unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/173884/umfrage/zahl-der-unternehmen-in-den-einzelnen-marktbereichen-des-energiemarktes/>
- [Statista2016f] Statista GmbH. (2016). "Anzahl der Stromnetzbetreiber in Deutschland in den Jahren 2006 bis 2015", elektronisch verfügbar unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/152937/umfrage/anzahl-der-stromnetzbetreiber-in-deutschland-seit-2006/>
- [Statista2016g] Statista GmbH. (2016). "Anzahl der Kunden von Stromanbietern in Deutschland in den Jahren 1991 bis 2015 (in Millionen)", elektronisch verfügbar unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/164153/umfrage/anzahl-der-kunden-von-stromanbietern-seit-1999/>
- [Statista2016h] Statista GmbH. (2016). "Installierte Leistung der Offshore-Windparks weltweit nach Ländern im Jahr 2016* (in Megawatt)", elektronisch verfügbar unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/30137/umfrage/leistung-der-offshore-windkraftanlagen-weltweit-nach-stand-2010/>
- [Statista2016i] Statista GmbH. (2016). "Prognose zum Umsatz im Markt für Videogames weltweit von 2013 bis 2017 nach Segment (in Milliarden Euro)". Elektronisch verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/160518/umfrage/prognostizierter-umsatz-in-der-weltweiten-videogames-branche/>
- [StBB2016] Statistik für durchschnittliches Datenvolumen pro stationärem Breitbandanschluss und Monat in Deutschland von 2001 bis 2016 (in Gigabyte), elektronisch verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3564/umfrage/durchschnittliches-datenvolumen-pro-anschluss-seit-2001/>

- [STMFLH2016] Bayerisches Staatsministerium der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat. (2016). "Das bayerische Förderprogramm im Überblick". Elektronisch verfügbar unter: <http://www.schnelles-internet-in-bayern.de/foerderung/ueberblick.html>
- [SVR2016] Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen. (2016). "Epidemiologie und Kosten chronischer Krankheiten", elektronisch verfügbar unter: <http://www.svr-gesundheit.de/index.php?id=307>
- [TI2016] Texas Instruments. (2016). "Low-latency design considerations for video-enabled drones", elektronisch verfügbar unter: <http://www.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?baseLiteratureNumber=spry301&fileType=pdf>
- [TiGo2015] J. Tiemann, G. Goldacker: Vernetzung als Infrastruktur – ein Internet-Modell, Fraunhofer FOKUS, Kompetenzzentrum Öffentliche IT, Oktober 2015, elektronisch verfügbar unter: <http://www.oeffentliche-it.de/publikationen?doc=38677&title=Vernetzung+als+Infrastruktur+-+Ein+Internet-Modell>
- [TomTom2016] TomTom. (2016). "Autonomous Driving and ADAS", elektronisch verfügbar unter: <http://automotive.tomtom.com/en/highly-automated-driving>
- [Trueconf2016] Trueconf. (2016). "Bandwidth Requirements For Video Conferencing", elektronisch verfügbar unter: <http://trueconf.com/support/communication-channels.html>
- [TÜVR2015] TÜV Rheinland (2015): Bericht zum Breitbandatlas Mitte 2015 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), elektronisch verfügbar unter: http://www.zukunft-breitband.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bericht-zum-breitbandatlas-mitte-2015-ergebnisse.pdf?__blob=publicationFile
- [TÜVR2016] TÜV Rheinland (2016): Bericht zum Breitbandatlas Mitte 2016 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), elektronisch verfügbar unter: http://www.zukunft-breitband.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/breitbandatlas-mitte-2016-ergebnisse.pdf?__blob=publicationFile
- [VDA2016] Verband der Automobilindustrie eV. (2016). "Daten zur Automobilwirtschaft, Ausgabe 2016"
- [Venkoparao2009] V. G. Venkoparao, R. N. Hota, V. S. Rao and M. K. Gellaboina. (2009). "Flare monitoring for petroleum refineries". 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications.
- [Viereckl2015] Viereckl, R., et al. (2015). "Connected Car Study 2015: Racing ahead with autonomous cars and digital innovation". Elektronisch verfügbar unter: <http://www.strategyand.pwc.com/reports/connected-car-2015-study>
- [Visio2015] Visiongain Market Report. (2015). "Industrial Internet Market Report 2015-2025: The Future for Machine to Machine (M2M), Smart Connected Devices, Big Data Analytics & Internet of Things (IoT)"
- [Volkszaehler2016] Volkszaehler. (2016). "Volkszaehler- the open smartmeter platform", elektronisch verfügbar unter: <http://www.volkszaehler.org>
- [Wojc2015] Maik Wojcieszak: Internet-Protokolle, Teil 2: Anwendungsprotokolle im Vergleich, heise Developer, Mai 2015, elektronisch verfügbar unter: <https://www.heise.de/developer/artikel/Internet-Protokolle-Teil-2-Anwendungsprotokolle-im-Vergleich-2632571.html>
- [Ziesing2014] Ziesing et al.. (2014). "IT-Konsolidierung in der öffentlichen Verwaltung". Fraunhofer FOKUS, elektronisch verfügbar unter: https://cdn3.scrvt.com/fokus/fadf7695f2b14840/bc4d40a0cf42acf0c8c972a120d5b13d/it-konsolidierung_de_2014.pdf
- [Zimlich2014] Zimlich, Rachael. (2014). "ONC must decertify closed-platform EHR systems, Congress demands". Medical Economics.

ANHANG

Anhang I – Beschreibung der IKT-Enabler

Anwendungsmobilität im Kernnetzwerk

Anwendungsmobilität bezeichnet Techniken, um genutzte Dienste oder ganze Anwendungen im Kernnetzwerk zwischen verschiedenen Rechenzentren oder Clouds (Inter-Cloud-Plattform) zu verschieben. Das Ziel ist die Optimierung von Verfügbarkeit, Qualität und Wirtschaftlichkeit genutzter Dienste und Anwendungen. Ein genutzter Dienst kann durch Anwendungsmobilität zum Beispiel dann „umziehen“, wenn an einer Lokation nur noch zu wenige Ressourcen zur Verfügung stehen. Oder die (Cloud-)Anwendung folgt einem Nutzer, der sich räumlich bewegt (z. B. auf einer Zugfahrt) und hält damit die Kommunikationswege über den gesamten Zeitraum möglichst kurz. Lösungen für Anwendungsmobilität sind in Rechenzentren, Edge Clouds oder Mobile Edge Computing-Systemen zu verorten.

Beamforming

Es handelt sich hierbei um eine Technik, mit der sich die Sende- und Empfangscharakteristik von Antennenanlagen dynamisch beeinflussen lässt. Für Funkwellen wird Beamforming zumeist realisiert durch ein Array von Antennen, deren Signale durch entsprechende Signalverarbeitung so aufbereitet werden, dass sich eine gerichtete Sende- bzw. Empfangscharakteristik ergibt. Diese Ausrichtung lässt sich durch Parameter in der Signalverarbeitung dynamisch anpassen, zum Beispiel an die Anzahl und Verteilung verbundener Funknetzteilnehmer.

Beamtracking

Beamtracking beschreibt Techniken, die es unter Verwendung von Beamforming erlauben, Mobilfunkempfänger durch eine Kombination aus Messungen und Prognosen der Bewegung mit dem ausgerichteten Funksignal zu „verfolgen“. Dabei haben die Entfernung, Bewegungsrichtung, Bewegungsgeschwindigkeit und die Winkelgeschwindigkeit (aus Sicht des Senders) signifikanten Einfluss auf die Effektivität des Beamtrackings. Im Effekt ermöglicht es eine bessere Signalqualität und damit höhere Datenraten für den Empfänger, z. B. für einen mit LTE-Empfang ausgestatteten Pkw, welcher „im Vorbeifahren“ aktuelle Stauinformationen erhält.

Bonding

Bonding bezeichnet die Technik, mehrere parallele Datenverbindungen zu kombinieren, um einen höheren Gesamtdatendurchsatz zu erreichen. Zum Beispiel kann ein Server im Rechenzentrum mit zwei (oder mehr) Ethernet-Verbindungen angebunden werden, welche dann eine doppelt so schnelle Netzwerkschnittstelle bilden. Im Fall von VDSL-Bonding kann durch Nutzung von zwei VDSL-Anschlüssen (zwei parallelen Kupferdoppeladern) die effektive Datenrate nahezu verdoppelt werden. Diese Art von Bonding erfordert Traffic Management im Netz und auf Netzzugangsgeräten (auf dem Access Router). Für professionelle Nutzer können bei VDSL theoretisch bis zu zwölf Leitungen durch Bonding verknüpft werden. VDSL-Bonding kann zusammen mit Vectoring verwendet werden, um die Datenrate noch weiter zu steigern. Ferner gibt es Möglichkeiten, verschiedene Techniken zu verbinden: Beim Hybrid-Bonding werden verschiedene Techniken wie DSL und LTE zu einem gemeinsamen Datenkanal zusammengeschaltet.

Cloud Computing

Beim Cloud Computing werden angemietete IT-Ressourcen und Dienste in Rechenzentren externer, oft internationaler Anbieter genutzt. Oftmals hat ein solcher Cloud-Anbieter nur ein

oder zwei sehr große Rechenzentren pro Kontinent. Durch die räumliche Entfernung entstehen Latenzen bei der Nutzung von Diensten in der Cloud. Für die meisten Dienste ist dies akzeptabel – falls nicht, können Dienste durch Edge Cloud-Lösungen näher am Verbraucher betrieben werden. Eine Edge Cloud kann zum Beispiel aus vielen relativ kleinen Rechenzentren oder Servern in den Netzen der Internet Service Provider (ISP) bestehen. Für die Nutzer ist dadurch der Zugang direkter (kürzere Latenzen), zudem können durch den verteilten Abruf von Daten (bspw. Videos) die Ressourcen effizienter genutzt werden.

Cognitive Network (CN)/ Cognitive Radio (CR)

Cognitive Network bezeichnet einen Ansatz, bei dem verschiedene Techniken – u. a. aus den Bereichen Datenanalyse, Wissensrepräsentation, maschinelles Lernen (machine learning) und Selbstorganisation – im Bereich von Netzen eingesetzt werden. Hauptziele dieses Ansatzes sind die adaptive Steuerung von Netzen (bspw. durch die Automatisierung von Aufgaben des Netzmanagements) und die effiziente Nutzung von Ressourcen (bspw. Optimierung von Übertragungsparametern). Ein verwandter, eigenständiger Bereich wird als Cognitive Radio (CR) bezeichnet. Bei CR steht die Organisation und Steuerung von Funksystemen auf den unteren Protokollschichten im Mittelpunkt, bspw. die dynamische Nutzung freier Frequenzbereiche, basierend auf der Analyse des genutzten Funkspektrums in der Umgebung.

Content Distribution Network (CDN)

Ein CDN ist eine Verteilplattform, die durch geeignete technische Maßnahmen die Verteilung von Daten (z. B. Video-Streams) optimiert, indem diese Daten verteilt an mehreren Orten im Netz (in mehreren Datenzentren) vorgehalten und bei Bedarf vom jeweils nächsten Ort an einen Kunden übertragen werden. Die Kernfunktionen von CDN bestehen dabei aus einer intelligenten Verteilung der vorgehaltenen Daten sowie aus der orts- und lastabhängigen Verteilung der Anfragen auf die Datenzentren, die zusammen ein CDN bilden. CDN werden vor allem für große Downloads (z. B. von Computerspieleherstellern), für Bilddaten (Medien- und Werbeindustrie) und für die skalierbare Verteilung von hochau aufgelösten (on-Demand) Video-Datenströmen genutzt.

Dienstgüte, Quality of Service (QoS)

Quality of Service bezeichnet im Bereich der digitalen Datenübertragung die Möglichkeit, einzelne Verkehrsströme oder Verkehrstypen von Datenverkehr technisch zu unterscheiden. So ist es zum Beispiel notwendig und üblich, in All-IP-Netzen Datenströme von Sprachdiensten (VoIP, VoLTE) zu priorisieren. Bei VoIP über DSL geschieht dies z. B. auf der DSL-Verbindung zwischen dem Zugangsroutern beim Kunden und dem DSL-Modem des Providers. QoS-Mechanismen können von Internet Providern auch innerhalb ihrer Netze verwendet werden, z. B., um Kunden Netzverbindungen mit garantierten Eigenschaften anbieten zu können. Es existieren verschiedene Ansätze zur Unterstützung von Dienstgüte in Netzen (DiffServ, IntServ, Traffic Management); ein Provider-übergreifendes QoS-Management existiert in der Praxis im offenen Internet jedoch noch nicht.

Dynamic Spectrum Management (DSM)

DSM (in Verbindung mit DSA, Dynamic Spectrum Access) umfasst eine Vielzahl von Techniken, welche gemeinsam darauf abzielen, die Leistungsfähigkeit der Datenübertragung auf einer einzelnen Netzwerkverbindung oder in einem Netzwerk zu maximieren. Durch DSM wird die physikalische Übertragung den Gegebenheiten des Mediums und ggf. der Umgebung dynamisch angepasst, um die Signalqualität und damit die Datenraten zu optimieren. Im Bereich des

Festnetzes wird DSM für DSL-basierte Datenkommunikation genutzt, um die Nutzsignale an Dämpfung und Störungen anzupassen. In Funknetzen (Shared Medium) optimiert DSM die Übertragungsqualität und hilft, die verschiedenen Kommunikationsteilnehmer zu koordinieren, wodurch der erreichbare Gesamtdurchsatz gesteigert werden kann. Zu den Techniken von DSM gehören: Link-Anpassungen (Wahl von Bändern, Signalstärken, Kodierungen), Bandbreitenmanagement, Multi-User MIMO, Echounterdrückung und Bonding.

Im Zuge der Entwicklungen im Bereich der Mobilfunknetze und bei 5G kommt DSM/DSA eine deutlich dynamischere Rolle zu: Um die Effizienz der Funknetze weiter zu steigern, können freie Frequenzbänder und -kanäle dynamisch zwischen Anbietern ausgetauscht oder gemeinsam genutzt werden [5GSp2016]. Relevante Techniken in diesem Bereich sind Spectrum Sensing, Cognitive Network, dynamische Frequenzvergabe und Co-Nutzung.

Edge Computing

Edge Computing bezeichnet Techniken, mittels derer technische Ressourcen und Dienste näher zum Endkunden gebracht werden, um sie dadurch mit geringerer Latenz und weniger Datenverkehr im Kernnetz bereitzustellen. Siehe auch „Mobile Edge Computing“ und „Content Distribution Network“.

Fixed-Mobile Convergence (FMC)

FMC bezeichnet den in der Telekommunikationsbranche bestehenden Trend, dass Festnetz- und Mobilfunknetz immer enger zusammenwachsen bzw. stärker integriert werden. Dabei lassen sich die für die Nutzer gewohnten (Telefonie-)Dienste in beiden Netzen auf gleiche Art und Weise nutzen. Hauptmerkmale von FMC sind: Endgerätemobilität, Dienstmobilität und persönliche Mobilität.

Handover

Im Bereich der Mobilfunknetze bezeichnet ein Handover den Prozess der Übergabe eines aktiven Gesprächs bzw. von Datenverbindungen von einem mit dem Kernnetz (logisch) verbundenen „Kanal“ auf einen anderen „Kanal“. Dabei kann es sich z. B. um den Wechsel auf einen anderen Funkkanal oder den Wechsel der zugewiesenen Basisstation handeln (horizontal handover), oder auch beides. Ebenso kann ein Wechsel zwischen verschiedenen Funktechniken (z. B. Mobilfunk und WLAN) erfolgen (vertical handover). Ein Handover kann vom Netzwerk oder vom Endgerät initiiert werden.

Heterogeneous Network (HetNet)

HetNets sind Funknetzwerke, in denen mehrere, verschiedenartige Funknetzwerke logisch zusammen verwendet werden. Zumeist werden dabei größere Funknetze mit höherer Abdeckung plus kleine Funkzellen mit weniger Abdeckung an relevanten Standorten kombiniert.

Identitätsmanagement (IDM)/ Identity and Access Management (IAM)

Identitätsmanagement beschreibt Aspekte aus den Bereichen IT-Sicherheit und -Organisation für den Zugriff von Nutzern auf Ressourcen. Das Management von Nutzeridentitäten erlaubt deren Authentisierung und Autorisierung, zum Beispiel für das Einbuchen in ein Mobilfunknetz. Dabei wird die Identität verwendet, um die Berechtigungen und die Rolle(n) des Nutzers zu prüfen und ihn/sie für das Netz freizuschalten oder den Zugang abzulehnen. Ein IDM-System stellt dafür die Funktionen zur Speicherung, Verwaltung, Abfrage und zum Schutz der Identitätsinformationen

zur Verfügung. Provider nutzen IDM-Systeme nicht für zur Verwaltung ihrer eigenen Kunden: Zur Realisierung von Roaming in Mobilfunknetzen werden über vertrauenswürdige Verbindungen auch IDM-Systeme von kooperierenden Netzbetreibern abgefragt. Diese sind dann als Drittanbietersysteme (3rd party identity providers) in das System eines Netzbetreibers eingebunden.

IPv6

Das Internetprotokoll in der Version 6 (IPv6) bietet als Nachfolger von Version 4 (IPv4) erweiterte Fähigkeiten, die zum einen die Datenübertragung effizienter machen und zum anderen neue Funktionen ermöglichen, z. B. zur Autokonfiguration und Unterstützung von Mobilität. Zudem bietet IPv6 mit dem enorm erweiterten Adressraum einen Ausweg aus der Adressknappheit von IPv4 (Hintergrund: wachsende Zahl von mobilen Endgeräten und IoT-Geräten). Diese Knappheit zu umgehen, ist besonders dringlich für Provider, welche nicht mehr genügend IPv4-Adressen zur Verfügung haben. IPv6 wird aktuell vorrangig im offenen Internet und den kabelgebundenen Zugangsnetzen ausgerollt und zunehmend auch in den mobilen Datennetzen ermöglicht.

Low Power Wide Area Network (LPWAN)

LPWAN ist ein Funknetztyp, der speziell für die Datenkommunikation zwischen vernetzten Objekten des Internets der Dinge (IoT) entwickelt wurde. Das Ziel ist, bei relativ geringen Datenraten und mit wenig Energie größere Entfernungen (mehrere Kilometer) zu überbrücken.

LTE-Unlicensed (LTE-U), auch in Verbindung mit Licensed Assisted Access (LAA)

LTE-U beschreibt die Koordination von „license-exempt“-Bändern aus dem ISM-Spektrum, wobei man ein lizenziertes (LTE-)Band nutzt, um die LTE-U-Mobilfunkgeräte untereinander zu koordinieren. Die Hauptanwendung ist Offloading und die Koordination der Mobilfunkgeräte zur Interferenzvermeidung, bei gleichzeitiger Koexistenz mit lizenzfreien (WLAN-)Geräten auf Funkbändern im 5-GHz-Bereich, welcher zurzeit von WLAN-Standards wie 802.11ac verwendet wird. Hierbei werden neben den exklusiv für den Mobilfunk nutzbaren Frequenzbereichen weitere Bereiche aus dem ISM-Band für LTE-Endgeräte nutzbar gemacht.

LTE-U kann helfen, die stark genutzten LTE-Frequenzen zu entlasten. LTE-U hat jedoch den Nachteil, dass Kollisionen mit vorhandenen, lizenzfrei nutzbaren WLAN-Sendern und -Empfängern auftreten können. Die Verbreitung des sehr erfolgreichen, schnellen WLANs im 5-GHz-Band könnte dadurch behindert werden. Auch das neuere LAA nutzt einen lizenzierten Kanal im LTE-Band, um Bänder für ein erweitertes Netz (LTE- oder WLAN-basiert) im ISM-Band auf den Mobilfunkgeräten zu koordinieren. Allerdings kann LAA an einem Standort jeweils nur von einem Provider verwendet werden.

mmWave (Millimeter Wave)

Ein Ansatz, um für zukünftige Funknetze (oder Richtfunkverbindungen) noch höhere Trägerfrequenzen (6, 10 und > 10 GHz) als bisher zusätzlich zur Kommunikation zu nutzen. Zusätzliche Antennen und weitere, neue Sende- und Empfangstechnik in Basisstationen und in den Endgeräten sind hierfür notwendig, insbesondere, weil die verschiedenen, zur Übertragung nutzbaren Frequenzbänder unterschiedliche physikalische Eigenschaften haben (bspw. in Bezug auf die räumliche Ausbreitung und Dämpfung).

Mobile Edge Computing (MEC)

Mobile Edge Computing ist die Bezeichnung für Edge Cloud-Techniken im Bereich der Mobilfunknetze. Es umfasst die Nutzung von technischen Ressourcen und Diensten, die näher am mobilen Endkunden angesiedelt werden, anstatt diese Dienste nur zentral (und weiter entfernt) bereitzustellen. Hierdurch können mobile Anwendungen unterstützt werden und die Reaktionen werden durch verringerte Latenzen, Vor-Ort-Verarbeitung von Daten und Einsparung von Netzwerkverkehr beschleunigt. Zur Umsetzung von MEC müssen Anbieter neue Ressourcen im Bereich ihrer Zugangsnetze (Radio Access Networks, RAN) bereitstellen und ggf. für Dritte öffnen. Standardisierungsarbeiten hierzu haben in Europa bereits begonnen, MEC-Lösungen sind jedoch noch in der Pilotphase.

Multihoming

Multihoming bezeichnet das Vorgehen, einzelne Computer (Host) oder ganze Netze (Site) an mehr als ein übergeordnetes Netz anzuschließen. Ziel ist es dabei, die Verfügbarkeit der Anbindung (z. B. an das Internet) und/oder die zur Verfügung stehende Bandbreite zu erhöhen. Beim Ausfall einer der beiden Anschlussleitungen kann durch entsprechende Umschaltung der Datenverkehr des Netzes mit Multihoming auf den funktionierenden Anschluss umgeschaltet werden. Für Host/ Site Multihoming stehen eine Vielzahl von Techniken mit verschiedenen Vor- und Nachteilen zur Verfügung. Je nach Technik lassen sich auch beide Netzzugänge parallel nutzen (Bonding), um die verfügbare Bandbreite zu steigern.

Multipath

Multipath-Übertragung meint ganz allgemein eine Datenübertragung über mehrere Wege. Dabei können sowohl gleichartige wie auch unterschiedliche Technologien für die verschiedenen Pfade verwendet werden (siehe dazu „Bonding“, sowie Kapitel 3.2 Technologiekombinationen). Multipath-Übertragung kann genutzt werden, um die Verfügbarkeit oder die Datenrate einer Verbindung zu optimieren. Im Bereich der Funknetze bezeichnet Multipath ferner die Übertragung eines Funksignals auf verschiedenen Wegen zwischen Sender und Empfänger, ausgelöst durch Signalreflektionen in der Umgebung (z. B. an Gebäuden). Das Zusammenführen der Signalanteile führt beim Empfänger (z. B. bei DVB-T) zu einer besseren Signal- und damit Empfangsqualität.

(Multi-User) Multiple-Input and Multiple-Output ([MU-] MIMO)

Erhöhung der effektiv nutzbaren Bandbreite einer Funkverbindung von/zu einem Endgerät durch gleichzeitige Datenübertragung über mehrere Antennen und Datenkodierungen. MIMO wird verwendet für einige Arten von WLAN, 3G- und 4G-Netze, WiMax und voraussichtlich in 5G-Netzen. Multi-User MIMO betrachtet im Gegensatz zu Single-User MIMO zusätzlich die gleichzeitige Aktivität von mehreren Nutzern bzw. Endgeräten, für eine übergreifende Optimierung der aktiven Übertragungswege zu den Nutzern/Endgeräten.

Network Analytics

Network Analytics (Netzwerkanalyse) umfasst alle Techniken, deren Ziel es ist, Kommunikationsbeziehungen und -prozesse in Datennetzen zu erfassen, auszuwerten und zu bewerten. Die Anwendungen hierfür sind vielfältig und reichen von Netz-Monitoring und -Analyse für Forschungszwecke über den Netzbetrieb (Network Operation, Trouble Shooting) und

Netzplanung (zur Erweiterung oder Aufrüstung) bis hin zu Techniken zum Schutz von Netzwerken (verwendet bei Firewalls, Intrusion Detection, Anomaly Detection).

Network Function Virtualization (NFV)

NFV ist ein Netzwerkarchitektur-Konzept aus dem Bereich der Virtualisierung. Virtualisierte Netzwerkfunktionen von NFV verhalten sich zu physischen Netzwerkmodulen wie virtuelle Maschinen zu physischen Computern: NFV ermöglicht es, auf unterstützten Netzwerkgeräten mehrere, logisch getrennte Instanzen der Netzwerkfunktionen zur Verfügung zu stellen. Diese Instanzen können dann wiederum kombiniert werden, um mehrere logische Netzwerke zu bilden. Virtualisierte Funktionen sind bspw. Packet Switching, Routing, Storage, Load Balancing, Firewall-Funktionen, Intrusion Detection oder Border Gateway Controller.

Network Slicing/ Unterteilung in Netzscheiben

Network Slicing beschreibt Techniken, die Ressourcen und Dienste (incl. der Datenübertragung selbst) in Netzscheiben virtualisieren und bei Bedarf dynamisch zur Verfügung stellen. Dabei umfasst Network Slicing auch die Bereitstellung eines Transportweges oder -Netzwerks und des angeforderten Dienstes, entweder im Kernnetz in einer Cloud/Rechenzentrum oder auf einem Knoten einer Edge Cloud/MEC. Network Slicing benötigt daher Funktionen zur Virtualisierung und zur dynamischen Bereitstellung auf mehreren Ebenen. Network Slicing kann durch die Kombination von virtuellen Maschinen (für die Dienste in der Cloud) mit SDN-Unterstützung in den Netzen (zwischen Endgerät und genutztem Dienst) realisiert werden. Zum Schutz der Daten müssen diese Komponenten auch die Isolation zwischen den logischen Scheiben (slices) gewährleisten.

Radio Resource Management (RRM)

Radio Resource Management steuert bei der Kommunikation über Funk auf Systemebene das Zusammenspiel zwischen den Endpunkten einer Funkverbindung (Bearer) zur Anpassung an den genutzten Funkkanal. Entsprechend der Fähigkeiten der Funkhardware werden Parameter wie Sendeleistung, Modulation, Kodierung, Datenrate und/oder Beamforming gesteuert. RRM wird mehr oder weniger umfangreich in praktisch allen Funksystemen verwendet, bspw. im Mobilfunkbereich, für WLAN-Netzwerke und für funkbasierte Sensornetzwerke.

Small Cells

Small Cells beschreibt den Einsatz immer kleinerer Funkzellen für Mobilfunknetze, insbesondere bei 4G (LTE), 4.5G (LTE Advanced) und 5G. Small Cells werden vor allem durch starke Mobilfunknutzung in Großstädten motiviert: Mehr Endgeräte befinden sich in einer Funkzelle, diese benötigen in der Summe immer mehr Bandbreite, wodurch es zu Engpässen kommen kann. Durch kleinere Zellen wird insgesamt mehr Bandbreite für mehr Nutzer in besserer Qualität verfügbar. Die extremste Art von Small Cells sind Femtocells bzw. Femtozellen, welche als zusätzliche Indoor-Basisstationen für Mobilfunknetze dienen. Sie können vom Mobilfunkprovider angemietet werden und nutzen das lokale Netz und den Internetzugang des Haushalts als Transportinfrastruktur für die Datenströme der verbundenen Mobilfunkgeräte.

Software-Defined Networking (SDN)

Der Ansatz des SDN erlaubt eine flexiblere Strukturierung und Konfiguration von Computer-Netzwerken durch die Trennung von Funktionen zur Steuerung im Netz (Control Plane) von der

tatsächlichen Paketweiterleitung (Data Plane) in Routern und Switchen. SDN wird meist im Zusammenhang mit der Nutzung des Kommunikationsprotokolls OpenFlow genannt, das zur Kommunikation mit den verteilten Netzwerkelementen dient. Es gibt jedoch neben mehreren OpenFlow-Implementierungen noch weitere Lösungen zur Umsetzung der SDN-Prinzipien.

Transparentes Mobile Data Offloading (auch: WLAN Offloading)

Diese Technik nutzt neben den Mobilfunknetzen weitere Funknetzwerke (z. B. WLAN), um Datenvolumina von den (in Ballungszentren oft ausgelasteten) Mobilfunknetzen auf andere lokale Funknetzwerke zu verlagern. Geeignete Netzwerke und Mobilgeräte vorausgesetzt, kann dann auch im WLAN telefoniert werden; für den Nutzer in der Funktionalität ist das gleichartig zur Telefonie über das Mobilfunknetz. Die Nutzung von WLAN für einige Dienste kann z. B. bei geringer Empfangsqualität aktiviert werden, sofern ein kompatibles WLAN-Netzwerk zur Verfügung steht. Der Wechsel zwischen den beiden Funknetztypen kann durch den Nutzer oder durch den Netzprovider initiiert werden. Alternativ zu WLAN kommen für das Offloading auch Femtocells und Integrated Mobile Broadcast in Frage. Um beim Data Offloading ein für den Smartphone-Nutzer transparentes Handover zwischen Mobilfunk- und WLAN-Netz zu ermöglichen und alle gewohnten Funktionen weiterhin nutzen zu können, muss der Nutzer auch im WLAN-Netzwerk authentifiziert und autorisiert werden. Dies kann z. B. durch Nutzung von EAP-SIM erfolgen, bei dem Credentials des Nutzers von der SIM-Karte im Smartphone auch eine Anmeldung im WLAN erlauben.

Ultra Dense Network (UDN)

Ultra-dichte Funknetze dienen einer lokalen Abdeckung mit sehr hohen Datenraten und der Unterstützung einer sehr hohen Gerätedichte. Typisch werden diese Funknetze durch eine Kombination aus MIMO-Technologie, mmWave-Funktechnik, Small Cells und HetNets realisiert. Die Nutzung heterogener Zellen ermöglicht es dabei, Managementdaten (notwendig für die Koordination) über die größeren Makrozellen des Netzes zu verteilen und die Nutzdaten über die kleineren, dichteren Mikrozellen (z. B. Femtocells) zu übertragen. Typische Einsatzgebiete sind Indoor-Anwendungen und Hotspots mit einer hohen Gerätedichte, z. B. für eine hochleistungsfähige Mobilfunkabdeckung in einem Stadion.

Virtual Network Operator (VNO)

VNO umfasst Techniken, die ermöglichen, dass sogenannte virtuelle Netzwerkanbieter ohne eigenes Netz (wie z. B. die Mobilfunkangebote der Discounter) Dienste anbieten und realisieren. Dafür werden funktionelle Einheiten in Mobilfunknetzen virtualisiert verwendet, um auf einer Infrastruktur von mehreren logischen Betreibern (Operators) parallel die Versorgung von Kunden mit Telekommunikationsdiensten zu ermöglichen.

Virtualisierung

Als Virtualisierung werden in der Informatik Verfahren zur Ressourcenaufteilung bezeichnet, welche es ermöglichen, eine vorhandene Einheit (Hardware- oder Softwareobjekte, z. B. einen Computer) transparent in mehrere logische Einheiten aufzuteilen. Im Effekt können dann im Beispiel des virtualisierten Computers unterschiedliche Prozesse in einem jeweils eigenen virtuellen Computer ausgeführt werden. Dies dient sowohl einer sichereren Trennung zwischen den Prozessen als auch einer potenziell besseren Auslastung des einen physischen Computers zur

Einsparung von Energie und Kosten. Virtualisierung findet Anwendung für Hardwareressourcen, Betriebssysteme, Datenspeicher und Netzwerkressourcen (hierzu siehe auch „Network Slicing“).

Voice over LTE (VoLTE)

In einem Mobilfunknetzwerk, welches VoLTE unterstützt, können alle Sprachdienste zusammen mit den anderen Datenströmen des Endgerätes eines LTE-Nutzers übertragen werden. Die Technik repräsentiert damit die Fortschreibung der konvergenten mobilen Netze hin zu einer „All-IP“-Infrastruktur, welche ohne zusätzliche Komponenten für separate Sprachübertragung (Circuit-switched Voice Network) auskommt. VoLTE wird aktuell sukzessive in den 4G-Mobilfunknetzwerken eingeführt. Es bietet gegenüber der Sprachübertragung in 3G-Netzen mehr nutzbare Datenbandbreite und damit auch eine bessere Sprachqualität.

XG-Fast/ 5G-BB/ Next Generation G.fast

G.fast-Netz-Nachfolger für Datenübertragung auf der „letzten Meile“ auf Kupferdoppeladern, für Kabellängen bis maximal 100 m, in Kombination mit Glasfaser bis zum Gebäude (FTTB), siehe dazu auch Appendix II und [Back2014].

Anhang II – Detaillierte Technologiesteckbriefe

Name:	VDSL2 (VDSL Version 2), ohne/mit Vectoring, VDSL, ursprünglich VHDSL, Very High Speed Digital Subscriber Line
Beschreibung:	Technik für die digitale Datenübertragung auf den „Telefonkabeln“ der „letzten Meile“, welche private bzw. gewerbliche Endkunden über entsprechende Modems an das Datennetz eines Netzbetreibers (typischerweise: eines Internetproviders) anbinden. Die maximal erreichbare Datenrate ist abhängig von der Signaldämpfung und damit verbunden von der Länge der Anschlussleitung (s.u. für typische effektive Bandbreiten). Bei VDSL2 mit Vectoring werden zusätzliche technische Methoden verwendet, um das Übersprechen zwischen Anschlussleitungen aktiv zu kompensieren. Der dadurch effektiv höhere Signal-Rausch-Abstand erlaubt höhere effektive Datenraten bei Nutzung der gleichen VDSL2-Profile, im Vergleich zu VDSL ohne Vectoring.
Typische Anwendung:	Auf Teilnehmeranschlussleitung (TAL), zwischen Outdoor-DSLAM/MSAN und CPE beim Endkunden. Hauptsächlich mit FTTC-Ausbau verbunden, also mit Glasfaseranbindung bis zum KVz/MFG mit einem aktiven DSLAM. Selten auch als FTTB-Variante.
Übertragungsmedium:	Einzelne Kupfer-Doppelader „Telefonkabel“, bis maximal 2.000 m, typisch bis 700 m, <300 m für maximale Geschwindigkeit. Ab ca. 1.200 m keine höhere Datenrate gegenüber VDSL2 ohne Vectoring.
Typische Datenraten:	Je nach Übertragungsqualität werden zur Übertragung verschiedene Profile verwendet (z. B. Profile 8a, 17a und 30a). Profil 30a wird – vorwiegend als FTTB Variante – für symmetrische DSL-Verbindungen genutzt (100/100 Mbit/s). <u>Ohne Vectoring (über Profil 17a),</u> <u>mehrere parallel aktive Nutzer im Kabelbündel:</u> 50/20 Mbit/s bei ca. 300 m 40/20 Mbit/s bei ca. 450 m 35/10 Mbit/s bei ca. 600 m 25/5 Mbit/s bei ca. 900 m 20/1 Mbit/s bei ca. 1.200 m Durch Vectoring ist im Optimalfall und bei kurzen Leitungslängen eine Verdopplung der erreichbaren Datenrate möglich (bei gleicher Leitungslänge). <u>Typisch mit Vectoring (über Profil 17a),</u> <u>mehrere parallel aktive Nutzer im Kabelbündel:</u> 100/40 Mbit/s bei ca. 300 m 90/35 Mbit/s bei ca. 450 m 50/10 Mbit/s bei ca. 600 m 30/6 Mbit/s bei ca. 900 m 20/4 Mbit/s bei ca. 1.200 m

Weitere Eigenschaften:	Nahezu flächendeckend in Deutschland für Endkunden verfügbar; nutzt vorhandene Telefonleitungen effektiv weiter für Breitband; Löst ADSL2+ für Leitungslängen bis ca. 1 km in der Fläche ab. Vectoring steigert noch einmal Bandbreite auf existierenden Telefonleitungen.
Standardisierung	ITU-T Recommendation G.993.1: Very high speed digital subscriber line transceivers (VDSL1), Standardisierung abgeschlossen. ITU-T Recommendation G.993.2: Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2), Frühjahr 2005, Standardisierung abgeschlossen, z. T. noch Erweiterungen (z. B. Annex Q). ITU.T Standard G.993.5: Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers.
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Millionenfach im Einsatz in Deutschland, ca. 23,5 Mio. in 2015 (ADSL1/2 + VDSL2 zusammen). Effektiver und kostengünstiger Schritt für mehr Bandbreite in der Fläche; Vectoring steigert noch einmal Bandbreite auf existierenden Telefonleitungen, bei gleicher Länge.
Kostentreiber:	Relativ kostengünstig, da vorhandene Infrastrukturen weiter genutzt werden können. Kosten hauptsächlich durch Technik-Upgrades und die Glasfaserverlegung für den Outdoor-Ausbau.
Einsatzpotenzial:	Anzahl der xDSL-Anschlüsse insges. in Deutschland stagnierend. Für VDSL2 besteht noch Potenzial durch Aufrüstung von älteren ADSL-Anschlüssen (rückläufig) auf VDSL2, ggf. FTTC Ausbau mit Vectoring.

Name:	VDSL2 35b / Annex Q / "VPlus" / "SuperVectoring", meint VDSL2 über Profil 35b; optional einsetzbar mit Vectoring
Beschreibung:	VDSL2 nutzt im Profil 35b mehr als die doppelte Bandbreite (35 MHz) zur Datenübertragung, im Vergleich zu 17 MHz im Profil 17a.
Typische Anwendung:	Auf KVz-Teilnehmeranschlussleitung (KVz-TAL), zwischen Outdoor-DSLAM/MSAN und CPE beim Endkunden. Nur mit FTTC-Ausbau verbunden, also mit Glasfaseranbindung bis zum KVz/MFG und DSLAM.
Übertragungsmedium:	einzelne Kupfer-Doppelader „Telefonkabel“
Typische Datenraten:	Typische Datenraten für VDSL 35b, mit Vectoring: 250/40 Mbit/s bei ca. 300 m 200/35 Mbit/s bei ca. 450 m 100/10 Mbit/s bei ca. 600 m Effizienter Betrieb nur mit Vectoring möglich, bis 550 m signifikant schneller als VDSL2 mit Vectoring, bei längeren Leitungen über 550 m Bandbreitenvorteile gegenüber VDSL Vectoring stark abnehmend.
Weitere Eigenschaften:	Vergleichbar mit VDSL2 (siehe dort). Kann mit VDSL2 Profil 17a parallel eingesetzt werden, incl. Vectoring für beide. Zwischen 250 m und 600 m Länge der Anschlussleitung schneller als VDSL2 Profil 17a mit Vectoring.
Standardisierung	im Juli 2015 standardisiert und am 6. November 2015 durch die ITU-T freigegeben
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Praktisch noch nicht verbreitet in Deutschland; bereits in der Erprobung mit ausgewählten Endkunden. Als Retailprodukt vermutlich im Einsatz ab 2017.
Kostentreiber:	Relativ kostengünstig, da vorhandene FTTC Infrastrukturen weiter genutzt werden können. Kosten hauptsächlich durch Technik-Upgrades.
Einsatzpotenzial:	Alternative zu VDSL2 Profil 17a mit Vectoring, da bereits ohne eine Implementierung von Vectoring höhere Datenraten erreichbar sind. Ein typisches Rollout für VDSL2 35b ist mit Vectoring vorgesehen, für dann bis zu 300 Mbit/s (down+up aggregiert).

Name:	G.fast rekursive Abkürzung für "fast access to subscriber terminals"
Beschreibung:	DSL-Technologie. Nachfolger für VDSL2.
Typische Anwendung:	Auf Teilnehmeranschlussleitung (TAL) FTTdp-Variante zwischen Distribution Point und CPE (Einsatz so z. B. in England). In Deutschland Einsatz hauptsächlich als FTTB-Variante mit der DPU im Keller. In dieser FTTB-Variante wird die DPU mit einer Glasfaser bis zum Haus angeschlossen. Von der DPU sind dann im Haus kurze Kupferleitungen zu den CPE der Endkunden verlegt.
Übertragungsmedium:	Einzelne Kupfer-Doppelader „Telefonkabel“, bis maximal 250 m nutzbar, bis 100 m für maximale Geschwindigkeit. Der Einsatz von Vectoring für Far-end self crosstalk (FEXT) Cancellation ist bei G.fast verpflichtend.
Typische Datenraten:	<u>G.fast Phase 1 (Frequenzbereich bis 106 MHz)</u> 600 Mbit/s (down+up aggregiert) bis ca. 100 m gemischter Betrieb mit VDSL2/Vectoring möglich, da keine überlappenden Frequenzen mit G.fast Phase 1 (20–106 MHz). <u>G.fast Phase 2 (Frequenzbereich bis 212 MHz)</u> bis zu 1.500 Mbit/s (down+up aggregiert) bis ca. 100 m gemischter Betrieb mit VDSL2 35b möglich, da keine überlappenden Frequenzen mit G.fast Phase 2 (40–212 MHz). Die erreichbare Gesamt-Bandbreite ist bei G.fast flexibel auf Download- und Upload-Bandbreite aufteilbar, verpflichtend zwischen 90:10 (down/up) bis zu 50:50 möglich, optional darf zusätzlich eine Aufteilung bis hin zu 10:90 (down/up) implementiert werden.
Weitere Eigenschaften:	Interoperabel mit VDSL2, allerdings Koexistenz nur ohne Nutzung des Frequenzbereiches für VDSL2 gegeben. Unterstützt Low-Power States auf Leitungen, wenn keine Daten übertragen werden. Über 250 m Anschlussleitung sehr stark abfallende Datenraten, hier ist SuperVectoring (VDSL2 35b) effizienter, daher Einsatz von G.fast ausschließlich bis 250 m. In Deutschland wird G.fast überwiegend in der FTTB-Variante ausgerollt werden, mit Leitungslängen von max. 100 m. Daher sind in diesem Steckbrief keine Datenraten für >100 m angegeben.
Standardisierung	Phase 1 durch ITU-T standardisiert, in den ITU-T Spezifikationen G.9700 (April 2014) und G.9701 (Dezember 2014). Phase 2 in Standardisierung, wird voraussichtlich in 2017 standardisiert sein. Broadband Forum (FAN und E2E Architecture WGs) spezifizieren die architekturellen Aspekte (WT-301). Broadband Forum (MT WG) hat Testprogramm für G.fast initiiert, welches voraussichtlich zu einem Zertifizierungsprogramm führen wird.
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	In praktischer Erprobung, erste Endkunden seit 2014 im Feldversuch angeschlossen. Kommerzieller Ausbau mit FTTB ab 2017 erwartet.

Kostentreiber: Neue DPU-Technik benötigt. Hauptsächlicher Treiber sind aber die Verlegearbeiten für Glasfasern bis zum Haus des Kunden (FTTB).

Einsatzpotenzial: Nachfolger für VDSL2; eine Koexistenz mit VDSL2-Technologien macht eine schrittweise Migration möglich; dies reduziert aber die mit G.fast erreichbaren Datenraten.

Name: **5GBB / XG-FAST**
5th Generation Broad Band (neXt Generation FAST)

Beschreibung: Nachfolger von G.fast für Gigabit-Datenraten auf dem Kupferkabel der „letzten Meile“

Typische Anwendung: Einsatz als FTTB-Variante mit der DPU im Keller und Nutzung des Inhaus-Kabels zwischen DPU und CPE mit einer Glasfaser bis zum Haus bzw. bis zur Wohneinheit und einer DPU (FTTB), von der kurze Kupferleitungen zum Endkunden verlegt sind.

Übertragungsmedium: Eine oder zwei Kupfer-Doppeladern „Telefonkabel“, bis 100 m Anschlussleitung, < 50 m für maximale Geschwindigkeit

Typische Datenraten: Im Labor bereits erfolgreich als „Proof of Concept“ getestet: 1.000 Mbit/s (aggregiert) bis 100 m auf einer Kupferdoppelader, 2.000 Mbit/s (aggregiert) bis 70 m auf einer Kupferdoppelader und 11.000 Gbit/s (aggregiert) bis 30 m, parallel über zwei Kupferdoppeladern (Bonding), im Laborbetrieb auf Spektrum bis 500 MHz. Die erreichbare Datenrate ist ähnlich wie bei G.fast flexibel auf Download und Upload aufteilbar.

Weitere Eigenschaften:

Standardisierung noch keine Standards verfügbar; geplant 2018–2020

Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out: Labortests bereits von einigen Herstellern erfolgreich durchgeführt; Verfügbarkeit für Endkunden ab 2021 erwartet

Kostentreiber: Neue DPU-Technik benötigt. Hauptsächlicher Treiber sind die Verlegearbeiten für Glasfasern (FTTB) ins Haus oder noch näher zum Kunden.

Einsatzpotenzial: Einsatzbar für Multi-Gbit/s-Datenraten unter Nutzung bestehender Kupfer-Hausverkabelungen.

Name:	Ethernet
Beschreibung:	Eine Reihe von Techniken zur schnellen Datenübertragung über Kupferkabel innerhalb von Gebäuden (strukturierte Verkabelung).
Typische Anwendung:	Datenverbindungen für lokale Netze (LAN), innerhalb eines Gebäudes oder einer Organisation, incl. Anbindung von und Verkabelung innerhalb von IT-Rechenzentren.
Übertragungsmedium:	Bis zu vier gemeinsame Kupfer-Doppeladern in einem Kabel, ggf. geschirmt, je nach verwendeter Kabel-Kategorie.
Typische Datenraten:	10 (Ethernet), 100 Mbit/s (Fast Ethernet), 1 Gbit/s (Gigabit Ethernet) sowie 2,5 / 5 / 10 / 25 / 40 / 100 Gbit/s. Fast Ethernet 100 Mbit/s und Gigabit Ethernet 1 Gbit/s bis zu 100m. NBASE-T (802.3bz): 2,5 Gbit/s und 5 Gbit/s bis zu 100m über existierende Cat 5e und Cat 6 Kabel (250m). 10 Gigabit Ethernet (10GBASE-T oder IEEE 802.3an-2006), 10 Gbit/s auf bis zu 55/100m über Kupferkabel (Cat 6/6a). 25 Gigabit Ethernet (IEEE P802.3by) mit 25 Gbit/s, für Data Center Rack-to-Rack-Kopplungen, günstiger als 40 Gbit/s-Technik. 40 Gigabit Ethernet mit 40 Gbit/s auf mind. 7m (Twinax) oder mind. 30m (Cat8 TP), für Rack-to-Rack-Kopplungen im Datenzentrum. 100 Gigabit Ethernet (100GbE) mit 100 Gbit/s auf mind. 7m (Twinax). 100GbE wird zumeist über Glasfaser übertragen (>> 10 km möglich).
Weitere Eigenschaften:	1 Gbit/s Ethernet ist zurzeit Standard in allen Laptops und PCs und setzt sich zunehmend für die LAN-Ports in Home-Routern durch. 2,5 Gbit/s wird dies in wenigen Jahren ablösen, und 5 Gbit/s vermutlich in 10 Jahren im Massenmarkt verbreitet sein.
Standardisierung	Viele Standards, von IEEE 802.3 BASE-T Copper Ethernet bis hin zu IEEE 802.3bs (200/400 Gbit/s, approved Mar. 2014), siehe http://www.ieee802.org/3/index.html .
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Millionenfach in Einsatz. Zurzeit (2016) werden de facto alle Endkundengeräte (PCs, Laptops) mit 1 Gigabit Ethernet Anschlüssen ausgeliefert. Nur Server-Systeme sind optional mit >1 Gigabit Ethernet Netzwerkadaptern erhältlich. Embedded Systeme werden teilweise noch mit Fast Ethernet (100 Mbit/s) ausgeliefert.
Kostentreiber:	Bis 1 Gigabit Ethernet sehr günstige Technologie, 2,5 und 5 Gbit/s noch relativ günstig einsetzbar, da vorhandene Kabel nutzbar sind. Ab 10 Gigabit Ethernet wird eine verbesserte strukturierte Inhaus-Verkabelung notwendig. 25 und 40 Gigabit Ethernet über Kupfer ist nur für kurze Strecken (wenige Meter) im Data Center möglich, ab 100 Gigabit Ethernet wird ausschließlich Glasfaser verwendet.
Einsatzpotenzial:	Wird auch in den kommenden 10 Jahren der Standard zur Inhaus-Verkabelung für LANs und Intranets bleiben. Tendenziell wird 1 Gigabit Ethernet durch 2,5 Gbit/s Ethernet im Massenmarkt abgelöst werden (und ggf. durch 5 Gbit/s Ethernet im professionellen Bereich).

Name:	G-PON Gigabit Passive Optical Network
Beschreibung:	GPON ist eine Festnetz-Technologie für Punkt-zu-Multipunkt-Übertragungen (P2MP) auf Basis von passiven optischen Netzen (PON). Dabei teilen sich mehrere Endkunden effektiv die Bandbreite einer Glasfaser-Anbindung (Shared Medium). In Download-Richtung werden die Daten per optischem Splitter an alle angeschlossenen Endkunden verteilt. Kapselung und Verschlüsselung der Datenpakete garantiert, so dass jeder Endkunde nur die für ihn bestimmten Daten dekodieren und lesen kann. Die Datenpakete werden durch die Verwendung von Zeitschlitzverfahren kollisionsfrei in die Glasfaser eingespeist.
Typische Anwendung:	FTTH, Backhaul für FTTB und Mobilfunkbasisstation (eNodeB)
Übertragungsmedium:	Glasfaser
Typische Datenraten:	2,5/1,25 Gbit/s. Ohne Verstärker auf Glasfasern bis zu 30 km. Datenrate wird unter den angeschlossenen Endpunkten (typisch 32 Teilnehmer) <i>dynamisch</i> aufgeteilt (Shared Medium). Als Endkundenprodukt über G-PON ist bis zu 1 Gbit/s als Download-Geschwindigkeit erhältlich. Typisch bis zu 500/100 Mbit/s für private Endkunden, in 2016.
Weitere Eigenschaften:	Störunanfälligkeit der Glasfaser, insbes. kein Übersprechen.
Standardisierung	ITU-T G.984 Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON) Für die Übertragung von TV Broadcast über GPON hat die ITU separate Wellenlängen definiert (RF-Overlay). Da aber Streaming Video genau wie lineares Fernsehen auch über das Internet-Protokoll (IP) und somit auch über GPON übertragen werden können, ist es denkbar, dass diese separaten Wellenlängen ungenutzt bleiben.
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Bei Nutzung von GPON für FTTH teilen sich mehrere Endkunden (z. B. Haushalte) dynamisch die gesamte GPON-Bandbreite. GPON kann auch vom Provider als FTTB-Backhaul genutzt werden, um z. B. mehrere DPU-Knoten/VDSL2-Mini-MSAN im Gebäudekeller anzubinden und von dort mit G.fast/VDSL2-Techniken weiter zu verbinden. Bevorzugt bei geringen Leerrohrkapazitäten bei Ausbau im „Brownfield“ (bestehende Infrastrukturen); besonders geeignet bei „Greenfield“-Entwicklung (Neubau) zur Verringerung der Faseranzahl im Hauptkabelbereich.
Kostentreiber:	Kostentreiber: physische Verlegung der Fasern zum Kunden und Einsatz von optischen Splittern (Netzelement).
Einsatzpotenzial:	Für Glasfaser an sich sehr hoch, für G-PON steht jedoch für den praktischen Einsatz bereits der Nachfolger bereit.

Name:	NG-PON (= XG-PON / 10G-PON) NG-PON2 (= TWDM-PON / 40G-PON) 100G-PON (= 100 Gbit/s PON) Next Generation Passive Optical Network
Beschreibung:	NG-PON und NG-PON2 sind Festnetz-Technologien für Punkt-zu-Multipunkt-Übertragungen (P2MP) auf Basis von passiven optischen Netzen (PON). Dabei teilen sich mehrere Endkunden effektiv die Bandbreite einer Glasfaser-Anbindung (Shared Medium).
Typische Anwendung:	Transportnetze, FTTH, Backhaul für FTTB und Mobilfunkbasisstationen
Übertragungsmedium:	Glasfaser
Typische Datenraten:	XG-PON: 10/2,5 Gbit/s NG-PON2: 40/10 Gbit/s (durch Nutzung von 4 Wellenlängen) 100G-PON: 100/40 Gbit/s (auf einer Wellenlänge) Reichweiten: bis zu 30 km ohne Verstärker (100G-PON: 20 km) Typisch erhältlich für <i>kommerzielle</i> Endkunden sind bei NG-PON2 Anteile davon, z. B. mit 2,5/2,5 oder 10/2,5 oder 10/10 Gbit/s Download/Upload-Geschwindigkeit. Typische Aufteilung auf <i>private</i> Endkunden: 40/10 Gbit/s <i>dynamisch</i> verteilt, unter 32, 64 oder 128 Endkunden. Für private Endkunden werden damit effektiv Produkte mit >1 Gbit/s Download-Geschwindigkeit ermöglicht. Noch keine Produkte im Massenmarkt, da Technik noch nicht im praktischen Einsatz für den Endkundenbereich ist.
Weitere Eigenschaften:	Störunanfälligkeit der Glasfaser, insbes. kein Übersprechen. Nutzung von bis zu acht Wellenlängen (je Richtung), Entbündelung und „Mitnutzung“ durch weitere Provider technisch möglich, Rahmenparameter müssen noch definiert werden. NG-PON und NG-PON2 sind abwärtskompatibel zu G-PON.
Standardisierung	ITU-T G.987 series: 10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms ITU-T G.989.1/2/3 : 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): 1. General requirements (03/2013), 2. Physical media dependent (PMD) layer specification (12/2014), 3. Transmission convergence layer specification (10/15) 100G-PON noch nicht standardisiert
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Bei Nutzung von NG-PON für FTTH teilen sich mehrere Endkunden (z. B. Haushalte) dynamisch die GPON-Bandbreite. NG-PON kann aber vom Provider auch genutzt werden, um z. B. mehrere DSLAM/MSAN oder DPU-Stationen anzubinden und von dort mit VDSL/G.fast-Techniken weiter zu verbinden. 100G-PON 2014 erstmals erfolgreich getestet (auf 20 km Strecke).
Kostentreiber:	Kostentreiber: physische Verlegung der Fasern zum Kunden und Einsatz von optischen Splittern (Netzelement).
Einsatzpotenzial:	Sehr hoch, da existierende Glasfasern ggf. in Zukunft durch neue Sender und Empfänger noch höhere Datenraten erlauben werden.

Name:	PTP Datenübertragung über Glasfaser Point-to-Point (Datenübertragung über Direktverbindung)
Beschreibung:	Direkt-Anbindung eines Kunden an seinen Provider über eine eigene Glasfaser-Verbindung (ohne optische Splitter wie bei GPON). Die Bandbreite der Glasfaser steht daher dem Kunden exklusiv zur Verfügung.
Typische Anwendung:	High-Speed-Anbindung von kommerziellen Kunden mit Bandbreiten-Bedarf im Gigabit-Bereich sowie Forschungseinrichtungen und ganzen Universitäten. P2P-Glasfaser-Verbindungen werden ebenfalls genutzt, um DSLAMs und Mobilfunk-Basisstationen anzubinden, welche auf Grund vieler Nutzer ein sehr hohes Datenaufkommen haben. PTP wird auch für den FTTH-Ausbau zu Privathaushalten verwendet.
Übertragungsmedium:	Glasfaser
Typische Datenraten:	1 / 2,5 / 10 / 40 / 100 und >100 Gbit/s (alle symmetrisch) bis zu 40/100 km je nach eingesetzten optischen Sendern und Empfängern Typische Angebote für Privatkunden: 200/300/400/500 und 1.000 Mbit/s symmetrisch (symmetrische Datenraten gegen Aufpreis).
Weitere Eigenschaften:	Unempfindlich gegenüber elektrischen Störungen; sehr große Entfernungen möglich, bis zu 40/100 km ohne Verstärker, bis zu mehrere tausend Kilometer mit elektro-optischen Verstärkern. Für Endkunden-Anbindung typisch bis 10 km auf Grund netzplanerischer Einschränkungen
Standardisierung	IEEE 802.3 1000Base-LX, IEEE 802.3 1000Base-BX und weitere
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Bereits weltweit millionenfach im Einsatz, zumeist durch Provider und Backbone-Betreiber. Basis für alle interkontinentalen Internet-Datenverbindungen. PTP Glasfaseranbindungen für Privatkunden typisch bis 1 Gbit/s symmetrisch, für Firmenkunden typisch bis 10 Gbit/s eingeführt.
Kostentreiber:	Verlegearbeiten (zzgl. Fasern spleißen) für die Glasfaser, Equipment für die Wandlung zwischen optischer und elektrischer Datenübertragung ggf. Glasfaserausbau bis in die Wohnung.
Einsatzpotenzial:	Ideal für symmetrische Breitbandverbindungen im Gigabit-Bereich, insbesondere wenn gleichzeitig große Entfernungen überbrückt werden müssen. Hohes Einsatzpotenzial, da zumeist auf vorhandenen Glasfasern durch Austausch der Sender und Empfänger in der Zukunft noch höhere Datenraten möglich sind.

Name:	DOCSIS 3.0 Data Over Cable Service Interface Specification, Version 3.0
Beschreibung:	Technologie für die Datenübertragung über Kabelnetze. Docsis 3.0 ist heute Standard zur Datenübertragung in den digitalen Netzen, die zur kabelgebundenen Übertragung von Fernsehsignalen in die privaten Haushalte aufgebaut worden sind.
Typische Anwendung:	Digitales (lineares) Fernsehen und Internet-Verkehr werden dabei parallel in den jeweils zugeordneten 8- MHz-Kanälen transportiert.
Übertragungsmedium:	Koaxial-Kupferkabel, mit mehreren Endkunden in einem sog. Cluster (Shared Medium).
Typische Datenraten:	Theoretisch 1.000/150 Mbit/s, ohne relevante Längenbeschränkungen (durch Verstärker bis zu 150 km im Koax-Transportnetz). Typisch für Endkunden: 400/20, 200/10, 100/6 oder 32/2 Mbit/s als Produkte erhältlich, maximal vermarktete Bandbreite abhängig von der Ausbaustufe der HFC-Cluster.
Weitere Eigenschaften:	Abwärtskompatibel zu DOCSIS & 2.0 Unterstützt IPv6 (im Gegensatz zu Docsis 2.0).
Standardisierung	August 2006 J.222.x - Third-generation transmission systems for interactive cable television services (07/07 – 12/07) Standard in HFC-Netzen. In Deutschland basieren praktisch alle Kabelnetze auf diesem Standard.
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	ca. 70% aller Haushalte in Deutschland erreichbar (homes passed) ¹ Typische Nutzung durch Privatkunden-Haushalte. Auch für Selbstständige, kleine Unternehmen und zukünftig für den Internetanschluss von Betrieben/Firmen geeignet.
Kostentreiber:	Bei zunehmender Nutzung hoher Bandbreiten ist ein Glasfaserausbau für weitere Cluster-Splits notwendig, zusammen mit einer Reduktion der Kundenanzahl pro Cluster.
Einsatzpotenzial:	Versorgung weiter Teile der Bevölkerung und auch des Gewerbes mit Breitband-Anschlüssen.

¹ „Homes Passed“ umfasst alle Haushalte, die entweder direkt über die HFC-Struktur angeschlossen sind oder bei denen noch ein Hausanschluss realisiert werden muss. Dieser kann i. d. R. kurzfristig und mit geringem Aufwand angeboten werden.

Name:	DOCSIS 3.1 ² Data Over Cable Service Interface Specification, Version 3.1
Beschreibung:	Technologie für die Datenübertragung über Kabelnetze. Nachfolger von Docsis 3.0, gegenüber dem es höhere Bandbreiten, besseres Management und erweitertes Energie-Management beherrscht.
Typische Anwendung:	Digitales (lineares) Fernsehen und Internet-Verkehr werden dabei parallel in den jeweils zugeordneten 8- MHz-Kanälen transportiert.
Übertragungsmedium:	Koaxial-Kupferkabel, mit mehreren Endkunden in einem sog. Cluster (Shared Medium)
Typische Datenraten:	Theoretisch: 10/1 Gbit/s, 20/2,5 Gbit/s in Vorbereitung. In der Praxis: erste Produkte basierend auf Docsis 3.1 erwartet für 2017/18 mit 500/50 Mbit/s und 1.000/100 Mbit/s.
Weitere Eigenschaften:	Unterstützt IPv6 (im Gegensatz zu Docsis 2.0). Abwärtskompatibel zu DOCSIS 3.0 & 2.0 Erweitertes Energie-Management gegenüber DOCSIS 3.0 Neue Optionen zur genauen Anpassung an Signalübertragungs-Qualität durch verschiedene Übertragungsprofile.
Standardisierung	in Oktober 2013 erfolgt, Standard vorhanden, siehe www.cablelabs.com/specs/
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	ca. 70% aller Haushalte in Deutschland erreichbar. Typische Nutzung durch Privatkunden-Haushalte. Auch für Selbstständige, kleine Unternehmen und zukünftig für den Internetanschluss von Betrieben/Firmen geeignet. Netzertüchtigung mit DOCSIS 3.1 beginnt bei vielen Kabelnetzbetreibern in 2016.
Kostentreiber:	Je nach genutztem Frequenzbereich, Austausch/Ertüchtigung der aktiven und einzelner passiver Komponenten um DOCSIS 3.1 zu ermöglichen, und bei steigenden Nutzerzahlen Fortführung der Cluster-Splits, zusammen mit dem Ausbau neuer Glasfasern.
Einsatzpotenzial:	Versorgung weiter Teile der Bevölkerung und des Gewerbes mit Gigabit-Anschlüssen, ab 2017 startend, ohne dass dazu die zugrunde liegende HFC-Netzstruktur wesentlich verändert werden muss.

² Einige Unternehmen und Verbände verwenden den Begriff „Gigasphere“ als Synonym für den DOCSIS 3.1 Standard und darauf basierende Produkte und Dienstleistungen.

Name:	DOCSIS 3.1+ Full Duplex Data Over Cable Service Interface Specification, Version 3.1
Beschreibung:	Weiterentwicklung innerhalb des DOCSIS 3.1 Standards
Typische Anwendung:	Für symmetrische Verbindungen mit sehr hohen Anforderungen an die erzielbaren Datenraten. Einsatz hinter dem letzten Verstärker, als FTTB Technik.
Übertragungsmedium:	Koaxial-Kupferkabel, mit mehreren Endkunden in einem Cluster.
Typische Datenraten:	10 Gbit/s symmetrisch, pro Nutzer, als Produkt auch kleinere Datenraten anteilig buchbar.
Weitere Eigenschaften:	Glasfaser wird dabei in die Nähe oder bei größeren Gebäuden direkt bis zum Gebäude (FTTB) geführt.
Standardisierung	Standardisierung startet 2016.
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Einführung wird zwischen 2020 und 2025 erwartet.
Kostentreiber:	Austausch /Ertüchtigung einzelner aktiver Komponenten. Bei steigenden Nutzerzahlen Fortführung der Cluster-Splits. Bei größeren Gebäuden Tendenz Richtung FTTB.
Einsatzpotenzial:	Kann Endkunden mit Anforderungen im Multi-Gigabit-Bereich mit Netzanschlüssen versorgen. Durch flexiblen Einsatz sowohl im Up- als auch im Downstream besonders für Gewerbekunden interessant.

Name:	LTE / 4G Long Term Evolution / 4th Generation (mobile network)
Beschreibung:	4. Generation Mobilfunknetz, Nachfolger von 3G/UMTS/HSPA, international standardisiert und im Einsatz
Typische Anwendung:	für mobile Datenkommunikation (incl. Telefonie), Nutzer = Bürger/Bürgerinnen, und zukünftig noch wachsend Machine-to-machine-Kommunikation (M2M)
Übertragungsmedium:	Funkübertragung in den international festgelegten E-UTRA (evolved UMTS Terrestrial Radio Access) Frequenzbändern
Typische Datenraten:	Theoretisch: 150/50 Mbit/s für nur einen Nutzer, über 2 x 2 Antennen MIMO und 300/75 über 4 x 4 MIMO. Maximale Kapazität einer Zelle: 25/17 Mbit/s für Download und Upload durch mehrere gleichzeitige aktive Nutzer zusammen. Typische Messwerte: ~17/~5 Mbit/s für einen Nutzer, gemessen Ende 2015 in deutschen LTE-Netzen (deutschlandweites Mittel). Reichweite: bis 200 m, 400-1700 m, und bis zu ca. 2.000 m, je nach vom Nutzer verwendeten LTE-Frequenzband. Typische Latenzen innerhalb des 4G-Netzes 20-30 ms.
Weitere Eigenschaften:	LTE arbeitet grundsätzlich auf einem mehrfach genutzten Medium (Funkkanal und Funkzelle) ist aber systembedingt sehr flexibel in der Aufteilung dieses Mediums auf die Nutzer. Durch Verwendung von Sektorantennen, mehreren räumlichen Datenströmen und mehreren Frequenzkanälen in einer einzelnen Zelle lässt sich die über alle Nutzer in dieser Zelle aggregierte Kapazität vervielfachen. Service-Verfügbarkeit in Deutschland sehr hoch (dort wo Abdeckung mit LTE existiert). Unterstützung für Mobilität / Handover ist verpflichtender Teil des Standards. IPv6 wird nach und nach in den 4G Mobilfunknetzen ausgerollt.
Standardisierung	ITU-T 3GPP, 2010
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Bereits stark verbreitet, Upgrade auf Grundlage der existierenden 2G/3G Standorte, bereits gute ‚Outdoor‘ Versorgung. Bei Einsatz entsprechender Frequenzen (z. B. 800 MHz) werden gleiche Reichweiten wie mit 2G/3G erzielt. Ca. 95% Bevölkerungs- erreichbarkeit (Ziel 2018: 98%)
Kostentreiber:	Spektrumlizenzen, Flächendeckung, Verwendung existierender 2G/3G Standorte reduziert die Kosten für die LTE Einführung. Der Aufbau zusätzlicher Kapazitäten an bereits mit LTE/4G ausgebauten Standorten.

Einsatzpotenzial:

Nachfolger der UMTS-Technologie incl. HSPA („3G“ Netze). LTE kann weltweit auf mehr als 70 Frequenzbändern betrieben werden wobei eindeutige Bandnummern zur Unterscheidung benutzt werden. Die nutzbaren Bänder sind regulatorisch regional / national unterschiedlich und an die Technologie (FDD/TDD) gebunden. In Deutschland sind zurzeit die E-UTRA Bänder 3 (1800 MHz), 7 (2500 MHz), 20 (800 MHz), 38 (2600 MHz) nutzbar. Durch Umwidmung der bestehenden GSM und UMTS Frequenzen werden in Zukunft die E-UTRA Bänder 1 (2100 MHz), 8 (900 MHz) für LTE nutzbar. Bereits eingeführt, weiterer Roll-out erwartet in 2016-2018, Aufrüstung bestehender 2G/3G/4G Standorte deutschlandweit.

Name:	LTE Advanced (LTE-A) / LTE Advanced Pro (LTE-A Pro) Long Term Evolution Advanced (Professional)
Beschreibung:	Erweiterung des 4G Mobilfunknetzes, auch als „4.5G“ bezeichnet
Typische Anwendung:	für mobile Sprach- und Datenkommunikation, Nutzer = Bürger/Bürgerinnen, IoT, M2M
Übertragungsmedium:	Funk, verwendet das Spektrum aus der Digitalen Dividende in Deutschland, Wiederbenutzung der GSM- bzw. UMTS Frequenzen.
Typische Datenraten:	Hinweis: Es sind noch keine <i>praktischen</i> Messwerte für LTE-Advanced und LTE Advanced Pro verfügbar, da diese noch nicht in Deutschland ausgerollt ist. <u>LTE Advanced:</u> Theoretisch: 300–600/150 Mbit/s für einen einzelnen Nutzer in einer Zelle, (durch 2-3x Trägerbündelung) und MIMO höherer Ordnung (4x4). Maximale Kapazität in einer Zelle: 50–100/17 Mbit/s für Download und Upload durch mehrere gleichzeitige aktive Nutzer zusammen, in einem Radius von maximal 200 m um die Basisstation. <i>Erwartete</i> typische Werte: ~30–60/~10 Mbit/s für einen Nutzer, geschätzt für die deutschen LTE-Netze unter Annahme der Nutzungsintensität der LTE-Netze aus Q4/2015. <u>LTE Advanced Pro:</u> Theoretisch: 1.200/150 Mbit/s, durch bis 5x-Trägerbündelung und MIMO höherer Ordnung (8x8 und mehr). Maximale Kapazität in einer Zelle: 200/35 Mbit/s für Download und Upload durch mehrere gleichzeitige aktive Nutzer zusammen, in einem Radius von <200 m um die Basisstation. <i>Erwartete</i> typische Werte: ~120/~10 Mbit/s für einen Nutzer, geschätzt für die deutschen LTE-Netze unter Annahme der Nutzungsintensität der LTE-Netze aus Q4/2015. Reichweiten: Je nach genutztem Frequenzband 200–1.700 m (städtische Bereiche) und bis zu 5 km (im ländlichen Raum, bei reduzierter Datenrate).
Weitere Eigenschaften:	Shared Medium innerhalb einer Zelle und eines Frequenz-Kanals, Nutzer auf diesem Kanal teilen sich die Bandbreite. Service-Verfügbarkeit in Deutschland sehr hoch (dort wo Abdeckung mit LTE existiert). Unterstützung für Mobilität / Handover ist verpflichtender Teil des Standards. IPv6 wird nach und nach ausgerollt. Erste Entwicklungen speziell zur Unterstützung einer sehr hohen Zahl von Geräten (IoT Support) und einhergehendes Management von virtualisierten Netzinfrastrukturen sind gestartet worden.
Standardisierung	3GPP, Standard seit 2010 (Adv.), bzw. seit 2015 (Adv. Pro)
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Möglich auf dem Spektrum aus Digitaler Dividende (800 MHz), zzgl. Spektrum aus Umwidmung der GSM- bzw. UMTS (900/1800/2100 MHz) + Frequenzen (L-Band 1400 nur DL/2600 MHz) LTE Advanced: Bereits teilweise eingeführt in Großstädten, weiterer

	Roll-out in 2016–2018, Spektrum aus Digitaler Dividende I+II (800/700 MHz zukünftig), GSM- bzw. UMTS ((900/1800/2100 MHz), LTE (2600 MHz) LTE Advanced Pro: Roll-out ab 2017
Kostentreiber:	Spektrumlizenzen, Standortaufrüstung (Antennen) und Systemtechnik, Aufrüstung bestehender 2G/3G/4G Standorte bzw. Parallelbetrieb 2G/3G/4G reduziert Einführungskosten.
Einsatzpotenzial:	Advanced: Ermöglicht mobiles nicht-lineares HD Consumer-Video und industrielles HD-Video in weiten Bereichen des Netzes. Advanced Pro: Ermöglicht Erweiterung auf Mobiles 4K Video, teilweise auch Virtual Reality bzw. Augmented Reality (Consumer/Industriell). Natürliche Mobilfunktechnologie-Evolution vor 5G für das Verkehrsbedarfs-gerechte Mobilfunk-Netzkapazitäts-Wachstum.

Name:	LTE-V
Beschreibung:	LTE Erweiterung für die Bedürfnisse aus dem Bereich Fahrzeug zu Fahrzeug und Fahrzeug zu Netz Kommunikation für die Bereiche Verkehrssicherheit bzw. autonomes Fahren.
Typische Anwendung:	Kommunikation zwischen sich bewegenden Fahrzeugen und zwischen Fahrzeug und nahe der Verkehrsstrassen installierter, auf LTE-V basierender Mobilfunkinfrastruktur.
Übertragungsmedium:	Funk
Typische Datenraten:	~10–30 Mbit/s zwischen Fahrzeugen, und zwischen Fahrzeug und Infrastruktur wie bei LTE.
Weitere Eigenschaften:	Bis zu einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 160 km/h nutzbar.
Standardisierung	Noch nicht abgeschlossen, erwartet für 2017.
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Ab 2018 geplant, auf traditionellem LTE Spektrum plus zusätzlicher Bänder im Bereich 5,9 GHz. Tests sind in 2016 bereits gestartet.
Kostentreiber:	Systemaufrüstung, Verkehrswegeabdeckung (neue Standorte), neue Module für die V2X Kommunikation (z. B. Edge Computing).
Einsatzpotenzial:	Soll in Zukunft die gesicherte / koordinierte Kommunikation für die Intelligenten Transportsysteme herstellen; wichtige Komponente der Digitalisierung Deutschlands im Bereich Mobilität und Logistik.

Name:	5G
Beschreibung:	
Typische Anwendung:	Funknetze für mobile und stationäre Endkunden als auch für IoT-Kommunikation mit hohen Anforderungen an Datenraten und Latenzen. 5G soll viele Anwendungsklassen gleichzeitig adressieren können: Sehr große Nutzeranzahl (>1000) in einer Zelle mit jeweils sehr geringen Bandbreitenanforderungen (IoT, M2M), hohe Bandbreite für einzelne Nutzer (UHD, 360° Video), schnell bewegliche Nutzer (Fahrzeug, Hochgeschwindigkeitszug) oder hohe Verfügbarkeit (kritische Infrastrukturen, <1 ms Latenz in industriellen Anwendungen).
Übertragungsmedium:	Funkübertragung in den international festgelegten E-UTRA (evolved UMTS Terrestrial Radio Access) Frequenzbändern und zusätzlichen Frequenzbändern die sich derzeit noch in der harmonisierten internationalen Abstimmung befinden (insgesamt etwa 2 GHz aggregierte Bandbreite in der Diskussion).
Typische Datenraten:	Derzeit in der Entwicklung. Es wird eine nutzbare Bandbreite von 0,5-1 Gbit/s je Nutzer abhängig von Zellgröße und Funksystem erwartet; 10 Gbit/s Peak-Datenrate. Reichweite abhängig vom verwendeten Spektrum, von Technologie und Einsatzfall.
Weitere Eigenschaften:	Erweiterung der aktuellen LTE-Netze in Bezug auf: hohe Abdeckungen mittels Erhöhung der Abdeckungsdichte, heterogene Netze aus Makrozellen und Kleinzellen, dynamische und effiziente Nutzung von Sendefrequenzen, Erweiterung zur Nutzung von mmWave, Frequenzen z. Zt. in der Harmonisierung (z. B. im 3,2–4,2 GHz Band), neues Wireless MMIMO und filtered OFDM, Unlicensed LTE (LTE-U), License Assisted Access, Integration mit Verticals (d. h. M2M), integrierte Wireless Backhaul Lösungen
Standardisierung	Die Standardisierung ist zurzeit im Gange. Standards werden 2018-2020 erwartet (Phasenansatz). Bisher haben sich 3GPP, ITU, ETSI, CTIA, 4G/5G Americas, NIST, GSMA, Small Cell Forum, IEEE und NGMN zur Entwicklung dieser Standards bekannt. Viele weitere Standards Development Organizations (SDOs) sind zusätzlich mit der Standardisierung von Enablern für 5G befasst.
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Rollout erwartet für 2020-2025, auf existierendem Mobilfunkspektrum (Refarming) und später plus neues Spektrum im cm- und mm-Wellenlängenbereich.
Kostentreiber:	Spektrum Lizenzen, Neue Netz- Infrastruktur, Standortverdichtung mittels Kleinzellen (small cells) und neuen Endgeräten.

Einsatzpotenzial:

Nachfolger der aktuell genutzten 4G (LTE) und 4.5G-Techniken (LTE Advanced Pro) in den Mobilfunk-Netzen. Synergien durch die Entwicklung eines einheitlichen Systemkonzepts für eine Vielzahl bisher getrennter proprietärer Netze (Verticals).
Ziele sind insbesondere auch die Unterstützung von geringeren Latenzzeiten, eine höhere Energie-effizienz, eine flexibel steuerbare Verfügbarkeit und eine flexibel auf Anwendungsfälle und -szenarien dynamisch konfigurierbare Netzarchitektur.

Name:	WLAN Wireless LAN
Beschreibung:	Funktechnologie zur schnellen Anbindung von mobilen Geräten wie Laptops, Smartphones und Tablet Computern an lokale Netze bzw. an das Internet. Die Gegenstelle der mobilen Endgeräte sind sog. Access Points, welche i. allg. mit einem festen Netzwerk (zumeist LAN) verbunden sind. Die Technik für schnelles WLAN ist heutzutage standardmäßig eingebaut in alle o.g. Mobilgeräte.
Typische Anwendung:	Lokale Funknetzwerke in Firmen, zu Hause oder im öffentlichen Raum („WLAN Hotspots“) für mobile Endgeräte. Sehr selten wird WLAN auch durch Provider (WISP – Wireless ISP) zur direkten Anbindung von Endkunden an das Internet genutzt. Viele Geschäfte und Städte bieten „freies WLAN“ (Internet-Zugang) für Kunden bzw. Touristen an.
Übertragungsmedium:	Funk 2,4 GHz und 5 GHz (ac, p) und 60 GHz (ad) sowie 900 MHz (ah)
Typische Datenraten:	802.11n: 150/300/450/600 Mbit/s brutto, 60–240 Mbit/s netto, 802.11ac: Varianten mit 433 und 1.733 bis hin zu 6.936 Mbit/s brutto, ca. 50% davon netto, 802.11ad: bis ~7.000 Mbit/s brutto und ca. 3.500 Mbit/s netto Datenrate, 802.11ah: nur 115 kbit/s aber mit sehr hoher Reichweite (im km-Bereich). Typische Entfernung zwischen Access Point und Mobilgerät 10-50 m, mehr durch Repeater möglich. In speziellen Point-to-Point Anwendungen sind durch den Einsatz von Beamforming, Protokolländerungen und mit hohen Sendeleistungen Reichweiten von mehreren Kilometern bis >100 km erreicht worden.
Weitere Eigenschaften:	Shared Medium, alle Nutzer eines Access Points teilen sich die Bandbreite des gemeinsam genutzten Funkkanals. Unterschiedliche Access Points können jedoch auf verschiedenen Kanälen arbeiten. Ab 802.11ac-Unterstützung von MMIMO.
Standardisierung	noch stark verbreitet: IEEE 802.11 a/b/g/ aktuell und in Verbreitung: IEEE 802.11 n/ac/ad darüber hinaus zur Vernetzung von Kraftfahrzeugen: IEEE 802.11p seit 2016: für IoT- und M2M-Anwendungen: IEEE 802.11ah
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Millionenfach im Einsatz in Deutschland. Durch Nutzung von Funk-Frequenzen im unlicenzierten Spektrum und günstige Geräte nahezu in jedem Haushalt (mit Internetanschluss) und in jeder Firma genutzt, über jeweils eigenen Access Point. Die Nutzung von WLAN erfolgt jedoch nahezu immer örtlich begrenzt, nicht in der Fläche, auf Grund der sehr geringen Reichweite und der nicht inhärent vorhandenen Mobilitätsunterstützung (im Vergleich zu Mobilfunktechniken). Die Ausprägung 802.11n ist Standard bei aktuellen Mobilgeräten, der Nachfolger 802.11ac findet aktuell mehr und mehr Verbreitung.
Kostentreiber:	WLAN-Module und -Geräte sehr preisgünstig. Sehr geringe Betriebskosten, sofern Internet-Zugang bereits vorhanden ist.

Einsatzpotenzial:

WLAN bietet tendenziell die Möglichkeit, Mobilgeräte auf kurze Distanzen (zumeist Inhaus) mit 1 Gbit/s an Netze anzubinden. Die Technik dafür (802.11ac) ist bereits standardisiert und verfügbar. Noch höhere WLAN-Bandbreiten sind in Planung, diese werden dann jedoch auf Grund der hohen Frequenzen nur noch auf Sichtverbindung funktionieren können (nicht mehr durch Wände). Neue WLAN-Standards wie 802.11ah sind speziell für die Bedürfnisse von M2M und IoT-Anwendungen angepasst.

Name:	LPWAN / NB-IoT Low Power Wide Area Networks / Narrowband Internet of Things
Beschreibung:	Lösungen für LPWANs (deutsch: Niedrigenergieweitverkehrsnetze) umfassen eine Menge an unterschiedlichen Technologien, welche sich alle darauf verstehen, eine Funknetz-Anbindung für Sensoren, Aktuatoren und andere Kleingeräte aufzubauen. Dabei steht weniger die nutzbare Bandbreite als die sichere Anbindung mit wenig Energie und die besonders gute Abdeckung bis tief in die Gebäude im Vordergrund.
Typische Anwendung:	Anbindung von IoT-Geräten mit geringer Leistung und relativ niedrigen Datenraten. Große Anzahl von kommunizierenden Geräten, welche räumlich über eine große Fläche verteilt sind.
Übertragungsmedium:	Funk, je nach konkreter Technologie verschiedene Frequenzen genutzt (z. B. ISM-Band, Whitespace oder Mobilfunkfrequenzen)
Typische Datenraten:	Je nach Technik: wenige kbit/s bis hin zu 150 Mbit/s (LTE-M Cat 4), typisch für Low-Power-Geräte: max. 300 kbit/s – 1,2 Mbit/s. Je nach Technik: wenige m bis zu einige km Reichweite, einige Varianten 2-3x GSM-Reichweite, je nach konkreter Technik Inhaus-Versorgung möglich sowie IoT-Sensoren im Erdboden ansprechbar.
Weitere Eigenschaften:	Unterstützung für Low-Power-Geräte, Sleep-Modes und Adressierbarkeit einer sehr großen Anzahl an Endgeräten. Typisch genutzte Sende-Frequenzen <1 GHz haben sehr gute Wand- und Bodendurchdringungseigenschaften.
Standardisierung	je nach Technik: LoRa Alliance, 3GPP (z. B. NB-LTE 3GPP TR 45.820), IEEE. Zum Teil bereits 2016 Standards verfügbar. Ferner proprietäre Lösungen ohne Standardisierung im praktischen Einsatz.
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	LPWANs, egal in welcher konkreten Technik, werden in Zukunft noch zunehmen, um die wachsende Zahl an IoT-Geräten die über Funk angebunden werden mit Daten zu versorgen. Die Selektion einer konkreten Technik erfordert jeweils eine genaue Analyse der Anforderungen einer geplanten IoT Anwendung.
Kostentreiber:	Forschung und Entwicklung, Standardisierung, Systemtechnik, Sensoren/Endgeräte, Aufrüstung bestehender 2G/3G/4G Standorte bzw. Parallelbetrieb mit 2G/3G/4G reduziert Einführungskosten gegenüber einem separaten Netz.
Einsatzpotenzial:	Sehr hoch durch mehr und mehr aktive IoT-Geräte. Selektionsprozess zwischen den konkurrierenden LPWAN-Techniken ist jedoch noch nicht abgeschlossen; Standardisierung ist ebenfalls noch nicht abgeschlossen.

Name:	Satellit
Beschreibung:	Digitale Datenübertragung über einen (zumeist geostationären) Satelliten als Relay-Station zwischen dem Endkunden und einer Basis-Station, welche die Datenströme zum/vom Festnetz transportiert. Satelliten bieten sowohl Broadcast-Daten an (zumeist Fernsehen) als auch Unicast, also das Versenden von Daten (z. B. Webseiten) die von einzelnen Kunden angefordert worden sind.
Typische Anwendung:	1-Weg-Satellitenverbindung: Breitband-Internetzugang für Teilnehmer, welche lediglich einen schmalbandigen Netzzugang (z. B. ISDN) besitzen. Dieser wird hier als Rückkanal benutzt. 2-Wege-Satellitenverbindung: Breitband-Internetzugang für Teilnehmer gänzlich ohne terrestrische Infrastrukturen (weder Festnetz noch Mobilfunk verfügbar). Hin- und Rückkanal werden über den Weg via Satellit realisiert. Findet Anwendung sowohl für einzelne Endverbraucher als auch als Backhaul für eine Gruppe von Endverbrauchern (z. B. entlegenes Dorf mit gemeinsamem Satelliten-Link) oder als Backuplösung im B2B-Umfeld, um Verfügbarkeit zu gewährleisten.
Übertragungsmedium:	Funk, zwischen Erde und geostationärem Satelliten.
Typische Datenraten:	Abhängig von genutztem Band und von der Größe des Spotbeams: mögliche Datenraten je nach Technik: 128/64 kbit/s bis 36/6 Mbit/s typische Datenraten für Endkunden: 20/2 Mbit/s, als Backhaul bereits bis 70 Mbit/s möglich (auch symmetrisch), geplant für 2019 sind Techniken für bis zu 50 Mbit/s für Endkunden. Techniken mit 150 bis 500 Mbit/s Download sind in der Erprobung.
Weitere Eigenschaften:	Flächendeckend in Deutschland verfügbar. Hohe Latenz in Sende- und in Empfangsrichtung: Round-trip time typisch ca. 500 ms. Dies benötigt Anpassungen am TCP-Stack im Endsystem des Kunden (Standards hierfür existieren). Skaliert nicht gut für viele Nutzer (für Unicast), da sich die Nutzer die Gesamtbandbreite des Satelliten (eines Spotbeams) teilen müssen (Shared Medium). Abhängigkeit der Empfangsqualität und damit der erreichbaren Datenrate von Wetter u.a. atmosphärischen Störungen.
Standardisierung	ITU-R, ETSI, TIA
Einsatzfähigkeit / Nutzung / Roll-Out:	Weltweit in aktiver Nutzung, insbesondere in Gebieten, welche ansonsten keine Netz-Infrastrukturen haben. Satelliten-Technologie wird oft als Backhaul genutzt, seltener als direkter Zugang für private Endkunden.
Kostentreiber:	Satelliten-Entwicklung, -bau, -start und -betrieb. Kosten für genutzte Frequenzen. Höhere Hardwarekosten der Endgeräte bedingt durch niedrigere Kundenzahlen (2016: ca. 30.000 in Deutschland).

Einsatzpotenzial:

Datenraten werden durch neue Techniken noch weiter steigen. Skalierbarkeit für große Zahl von Endkunden eingeschränkt, da Shared Medium. Für Latenz-sensitive Anwendungen ungeeignet auf Grund hoher Latenz. Abdeckung jedoch für Deutschland 100%, als Broadcast-Medium für Audio und TV sehr effizient.

Anhang III – Ergebnispräsentation zur studienbegleitenden Unternehmensbefragung



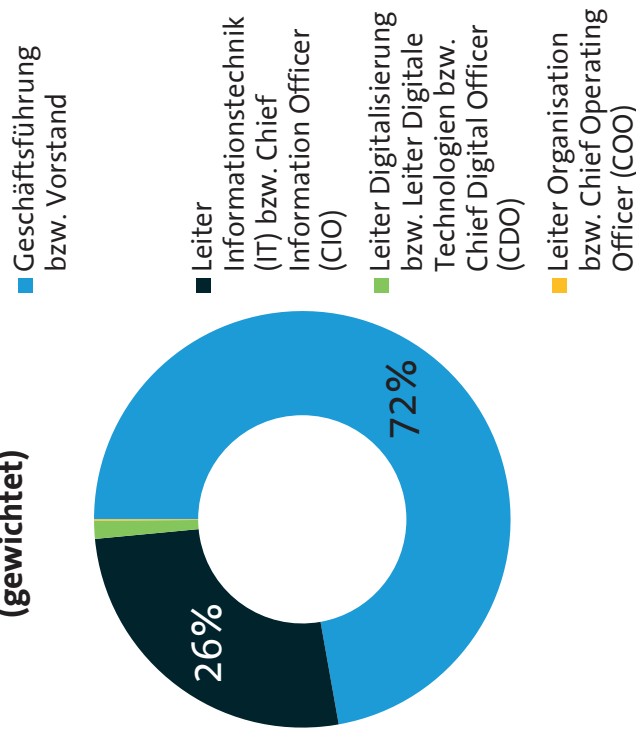
1 Untersuchungsdesign und Stichprobe

Stichprobe und Repräsentativität

Stichprobe nach Unternehmensgröße

- Durch **Schichtung der Zufallsstichprobe** wurde gewährleistet, dass Unternehmen aus den unterschiedlichen Branchen und Größenklassen in für statistische Auswertungen ausreichender Anzahl vertreten sind.
- Die Aussagen der Befragungsteilnehmer wurden **gewichtet**, so dass die Ergebnisse ein nach Branchengruppen und Größenklassen **repräsentatives** Bild für alle Unternehmen in Deutschland mit 10 und mehr Mitarbeitern ergeben.
- Dies bewirkt, dass in den Analysen die Einschätzungen **kleinerer Unternehmen** aufgrund ihrer Bedeutung für die deutsche Wirtschaft ein **vergleichsweise hohes Gewicht** erhalten.

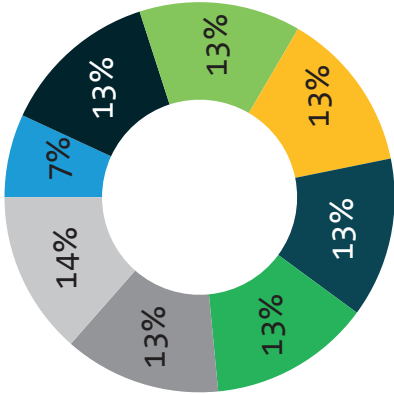
Zusammensetzung der Stichprobe
(gewichtet)



Stichprobe und Repräsentativität

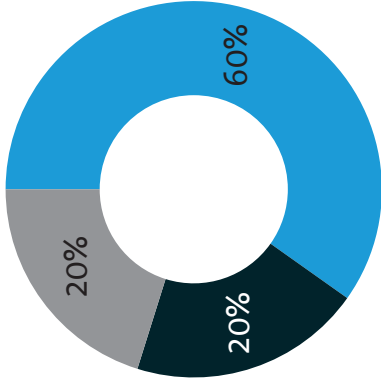
Stichprobe nach Branchen

Zusammensetzung der Stichprobe
(ungewichtet)



- Handel
- Gesundheit
- Medien
- Sonstige Industrie
- Transport und Logistik
- IKT
- Automobilindustrie
- Sonstige Dienstleistungen

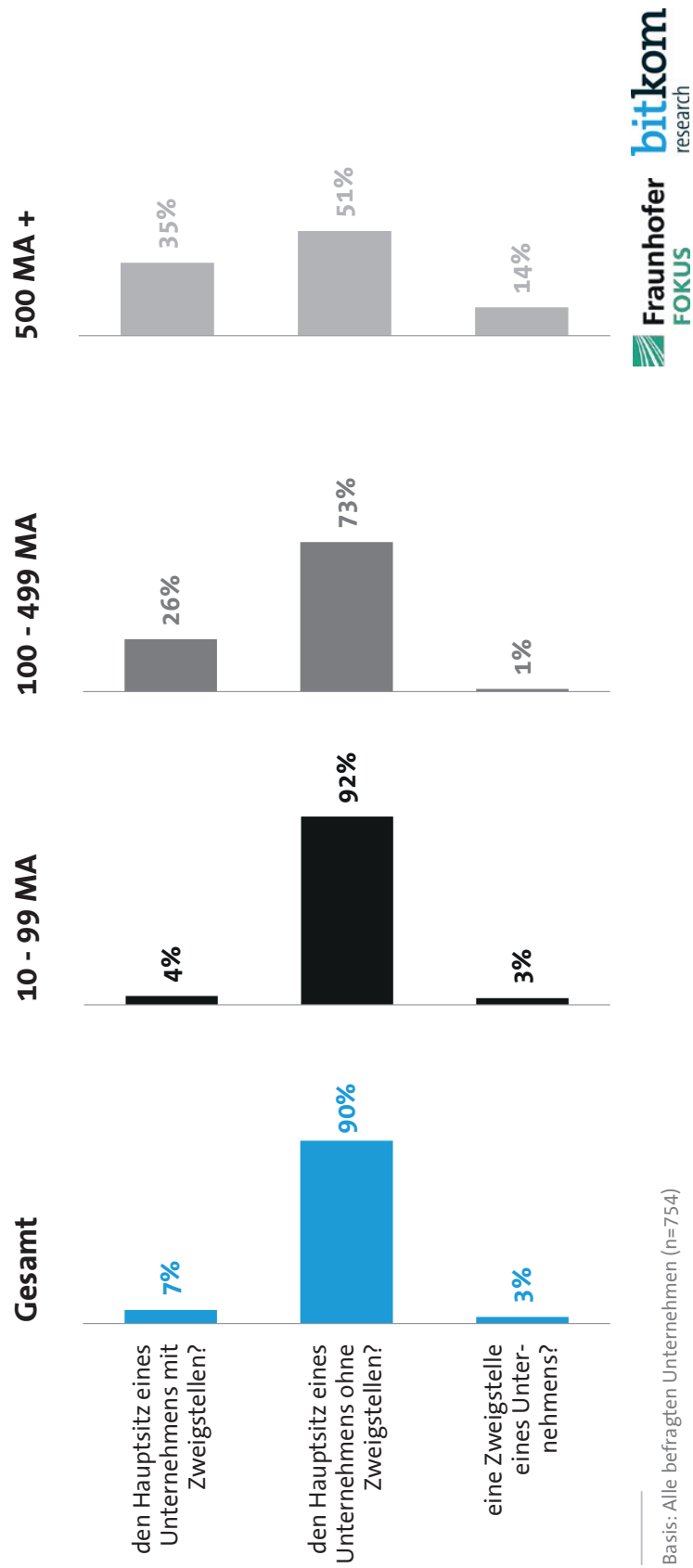
Zusammensetzung der Stichprobe nach
(ungewichtet)



- 10 bis 99 Mitarbeiter (n=451)
- 100 bis 499 Mitarbeiter (n=151)
- 500 Mitarbeiter und mehr (n=152)

Fast alle befragten Standorte sind Hauptsitz ihres Unternehmens.

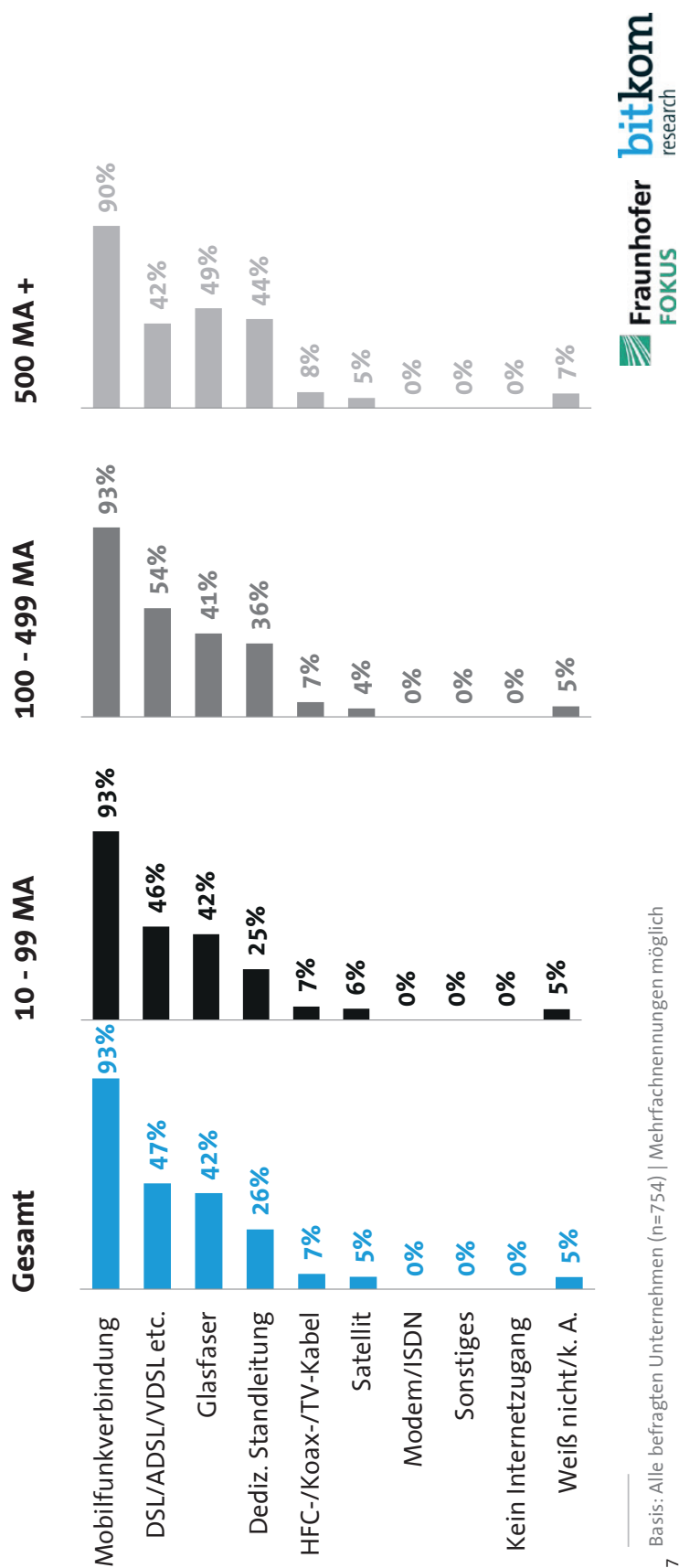
Handelt es sich bei Ihrem Unternehmensstandort um.....



2 Status quo der Breitbandinfrastruktur deutscher Unternehmen

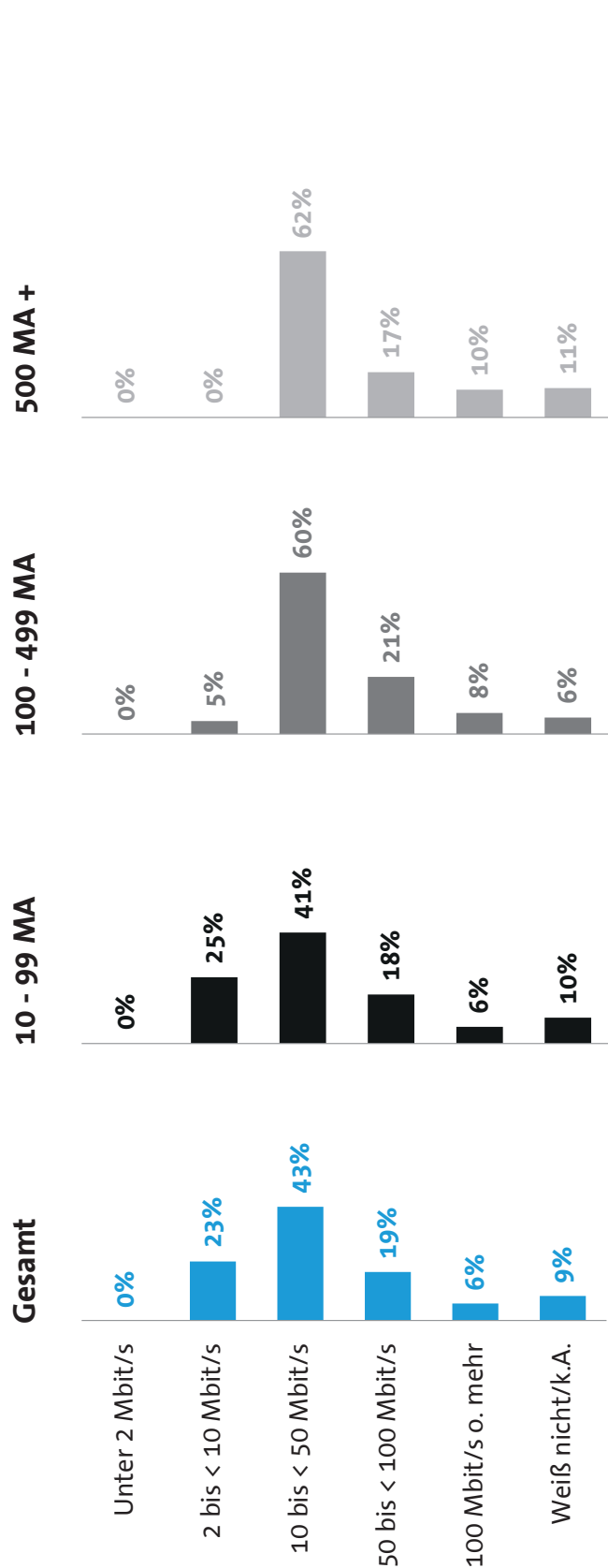
Nahezu alle Unternehmen sind auch mobil im Internet.

Wie ist Ihr Standort an das Internet angeschlossen?



Jedes fünfte Unternehmen hat weniger als 10Mbit/s im Download.

Wie hoch ist die vertraglich vereinbarte Datenübertragung der Internetverbindung Ihres Standortes im Download?

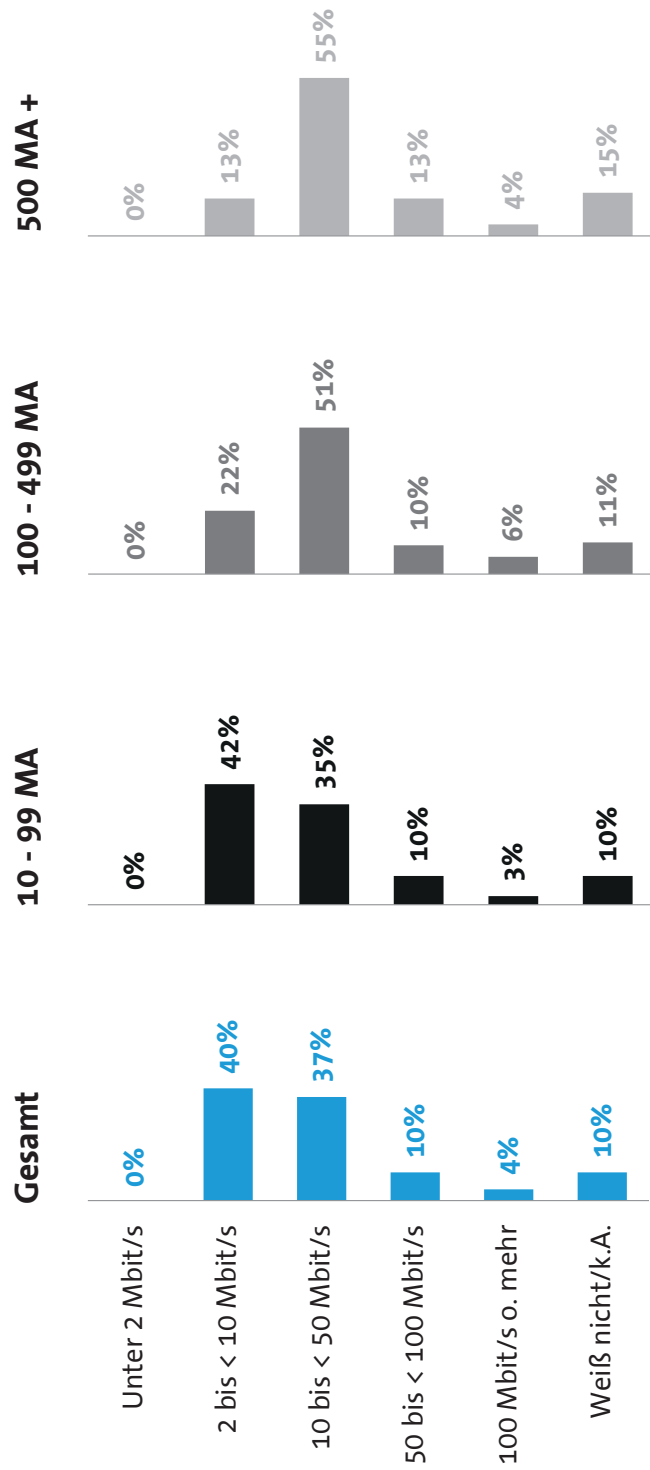


Basis: Alle befragten Unternehmen (n=754) | Rundungsbedingt ergeben die Summen nicht zwingend 100%

8

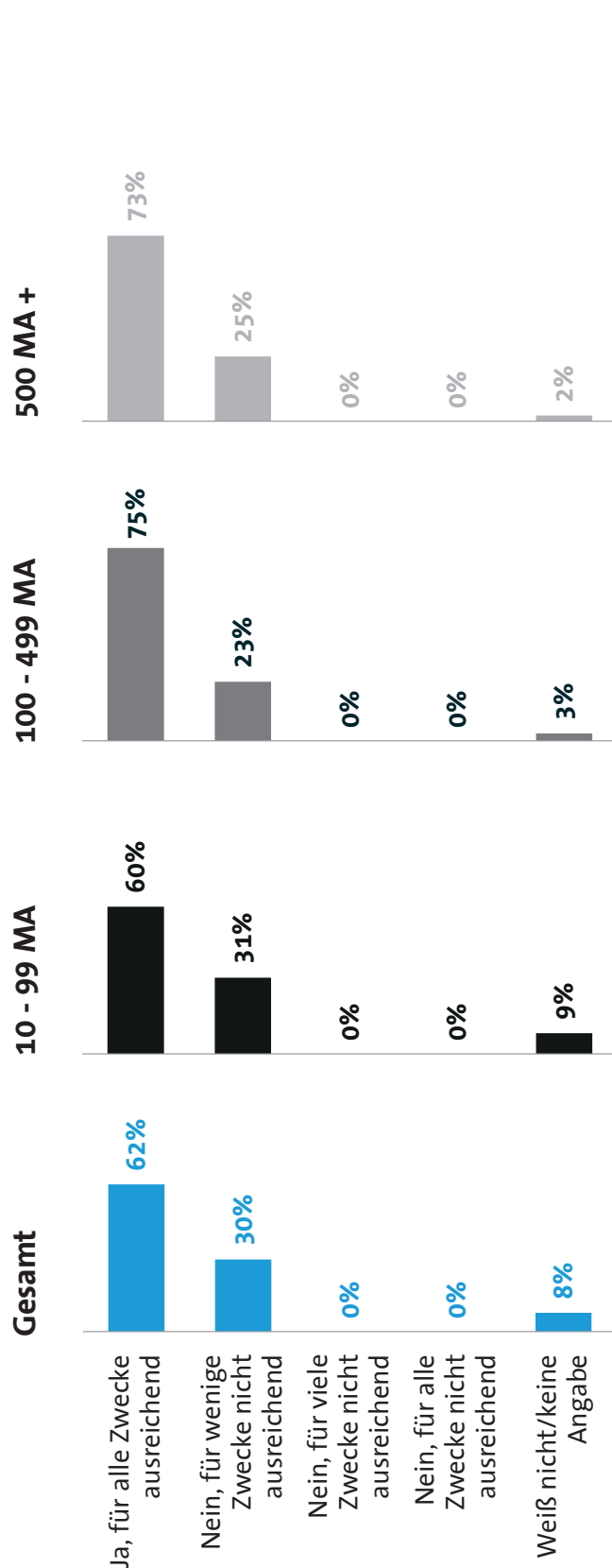
Vier von zehn Unternehmen mit weniger als 10Mbit/s im Upload.

Wie hoch ist die vertraglich vereinbarte Datenübertragung der Internetverbindung Ihres Standortes im Upload?



Knapp ein Drittel ist durch geringe Download-Rate eingeschränkt.

Ist die Datenübertragungsrate Ihres Standortes zum jetzigen Zeitpunkt ausreichend für Ihre unternehmerischen Zwecke im Download?

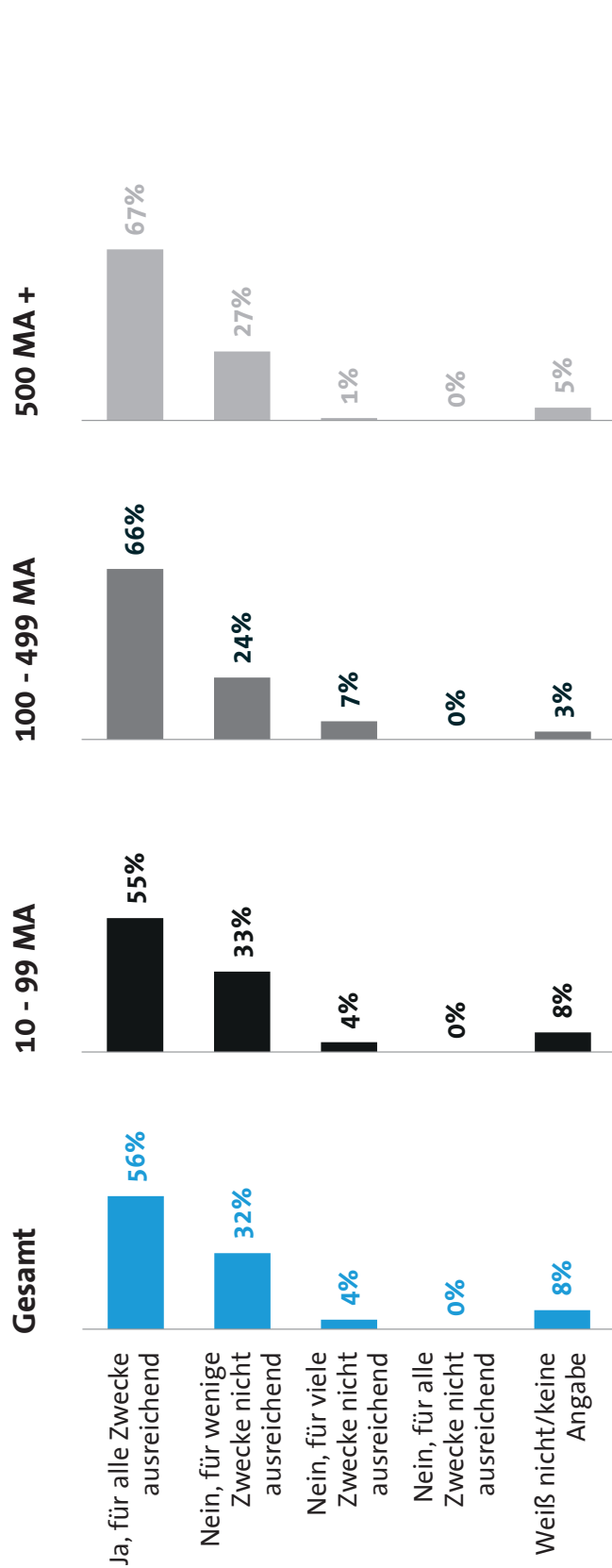


Basis: Alle befragten Unternehmen (n=754) | Rundungsbedingt ergeben die Summen nicht zwingend 100%

10

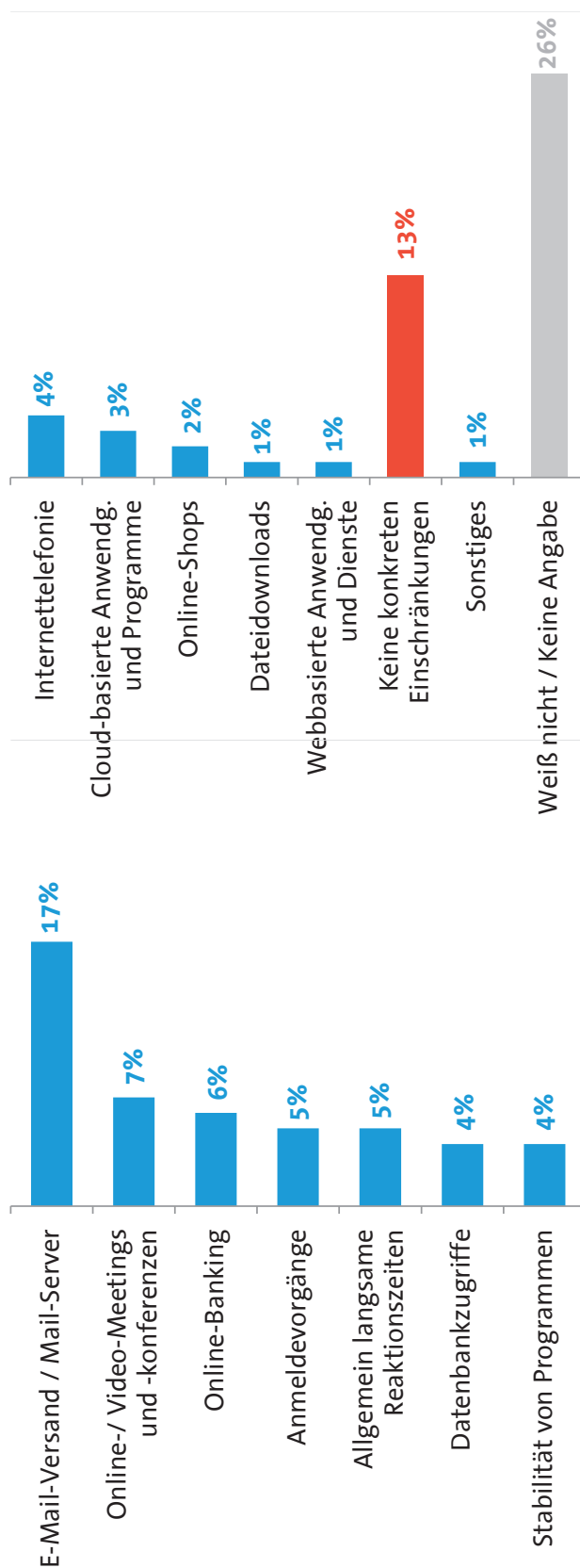
Jedes dritte Unternehmen durch geringe Upload-Rate eingeschränkt.

Ist die Datenübertragungsrate Ihres Standortes zum jetzigen Zeitpunkt ausreichend für Ihre unternehmerischen Zwecke im Upload?



Häufigste Einschränkung beim E-Mailing.

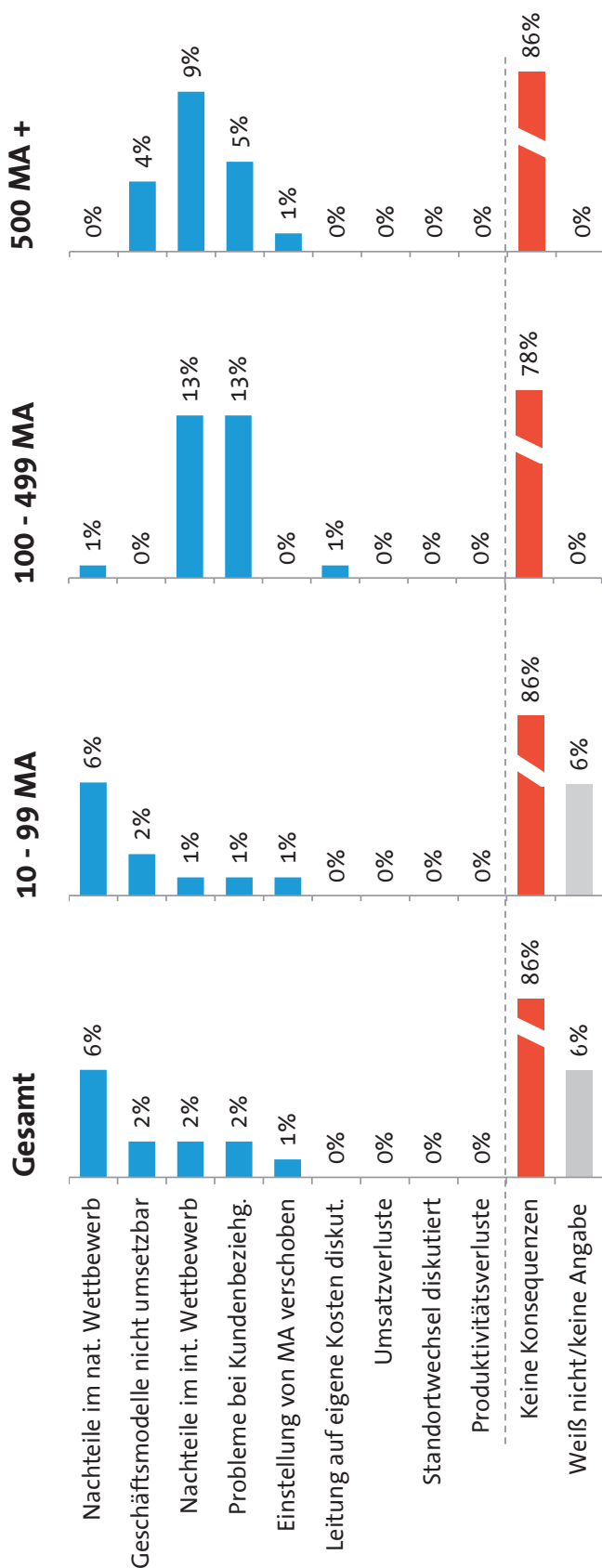
Welche digitalen Anwendungen können Sie aktuell nur eingeschränkt oder sogar überhaupt nicht nutzen, weil die Leistungsfähigkeit Ihrer Internetverbindung zu gering ist?*



Basis: Alle befragten Unternehmen, die eine unzureichende Datenübertragungsrate im Up- oder Download haben (n=282)
 12 * Mehrfachnennungen möglich

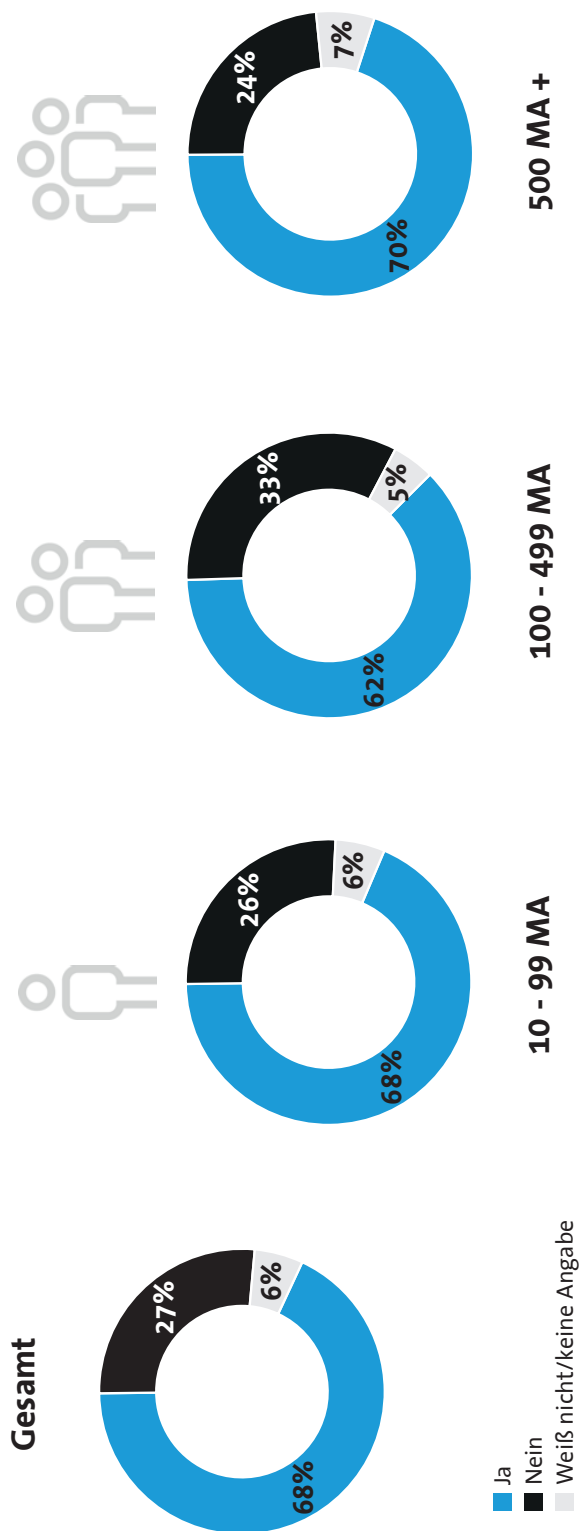
Neun von zehn Unternehmen sehen keine Konsequenzen.

Welche Konsequenzen resultieren aus der unzureichenden Leistungsfähigkeit der Internetverbindung für Ihren Standort?*



Für die Mehrheit besteht Möglichkeit für bessere Verbindung.

Besteht für Ihren Standort die technische Möglichkeit, eine bessere Internetverbindung zu buchen?



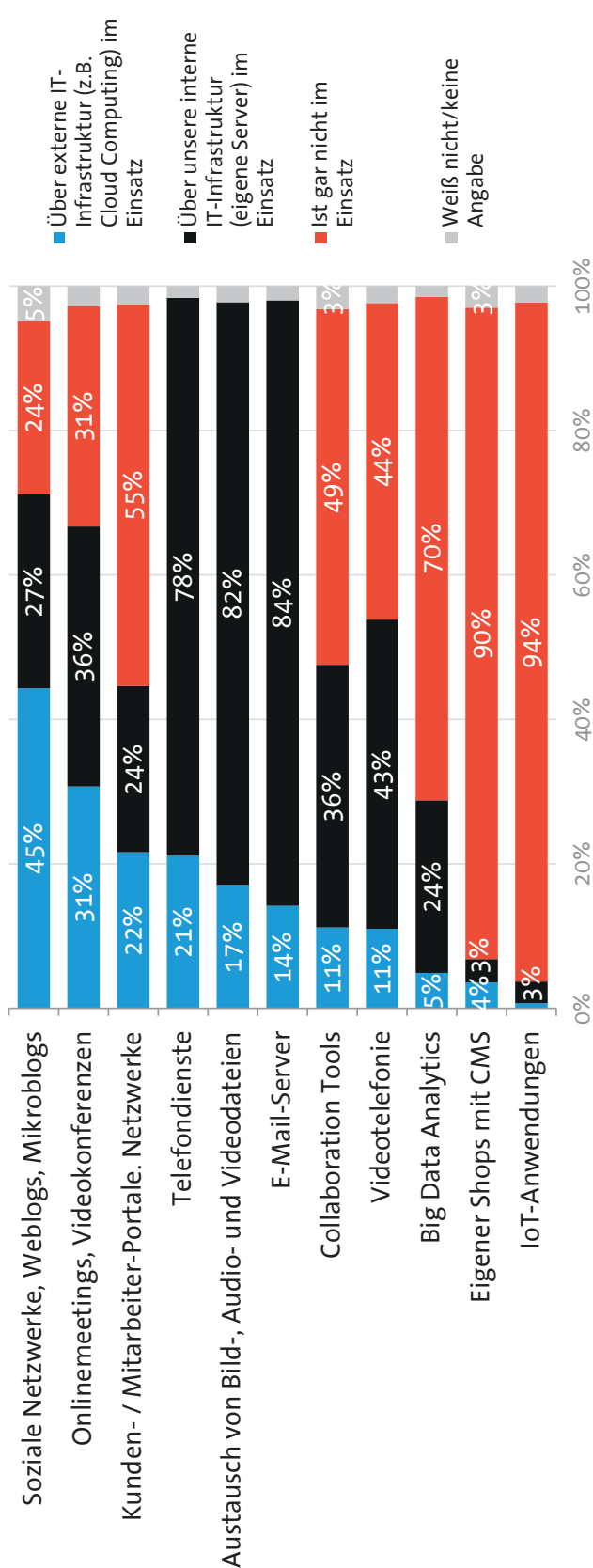
Basis: Alle befragten Unternehmen (n=754) | Rundungsbedingt ergeben die Summen nicht zwingend 100%

14

3 Nutzung netzrelevanter Technologien und Anwendungen

Social Media am häufigsten über externe IT-Struktur im Einsatz.

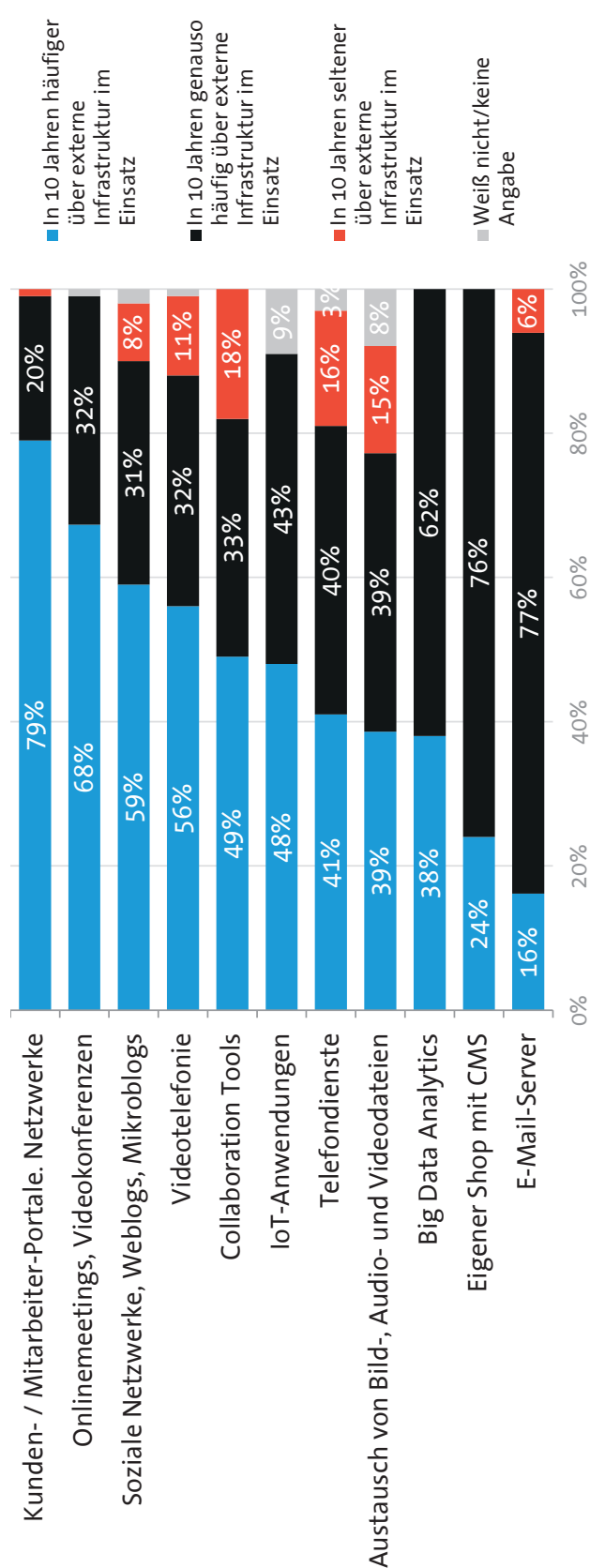
Wie werden folgende Technologien und Anwendungen in Ihrem Unternehmen eingesetzt?*



Basis: Alle befragten Unternehmen (n=754) | * Mehrfachnennung möglich, wenn Anwendung über interne und externe IT-Infrastruktur eingesetzt wird (Hybridlösung) | Rundungsbedingt ergeben die Summen nicht zwingend 100%

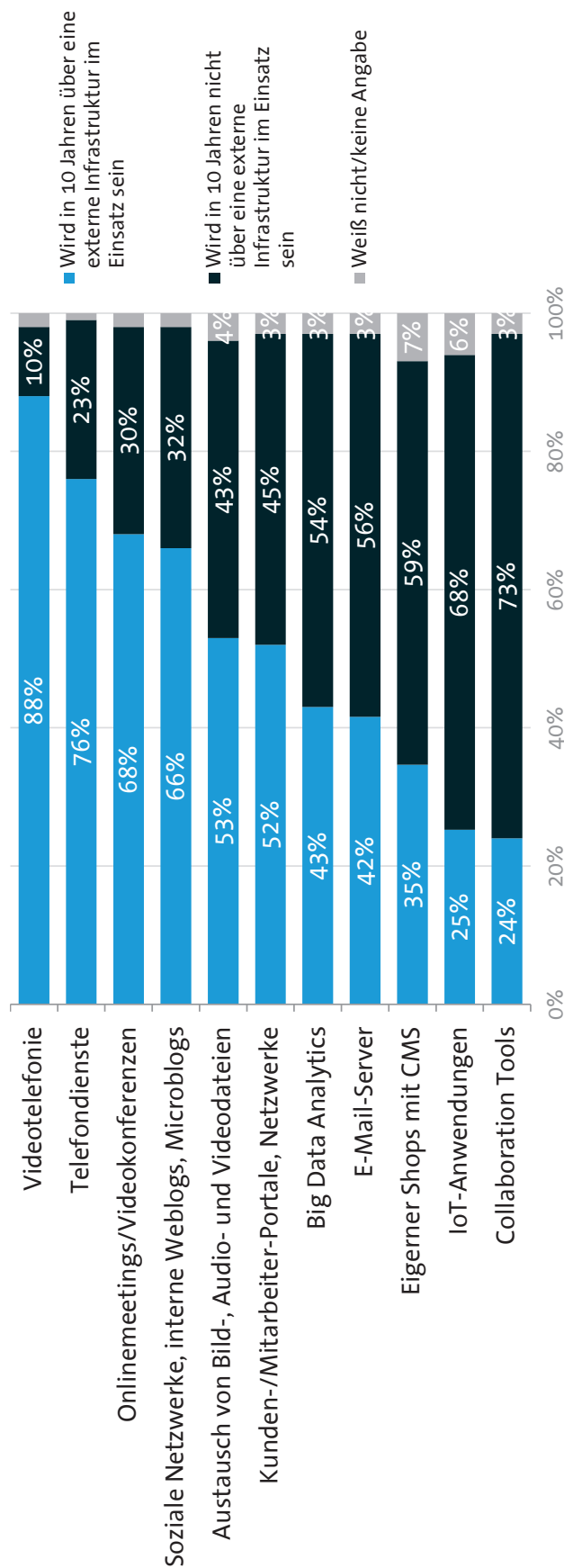
Bedeutungszuwachs externer Infrastruktur bei allen Anwendungen.

Wie häufig werden die folgenden Anwendungen über eine externe IT-Infrastruktur in Ihrem Unternehmen in 10 Jahren eingesetzt?



Externe Infrastruktur für Kommunikationsdienste künftig wichtiger.

Kommen die folgenden Anwendungen, die in Ihrem Unternehmen nicht über externen IT-Infrastruktur eingesetzt sind, in 10 Jahren zum Einsatz?

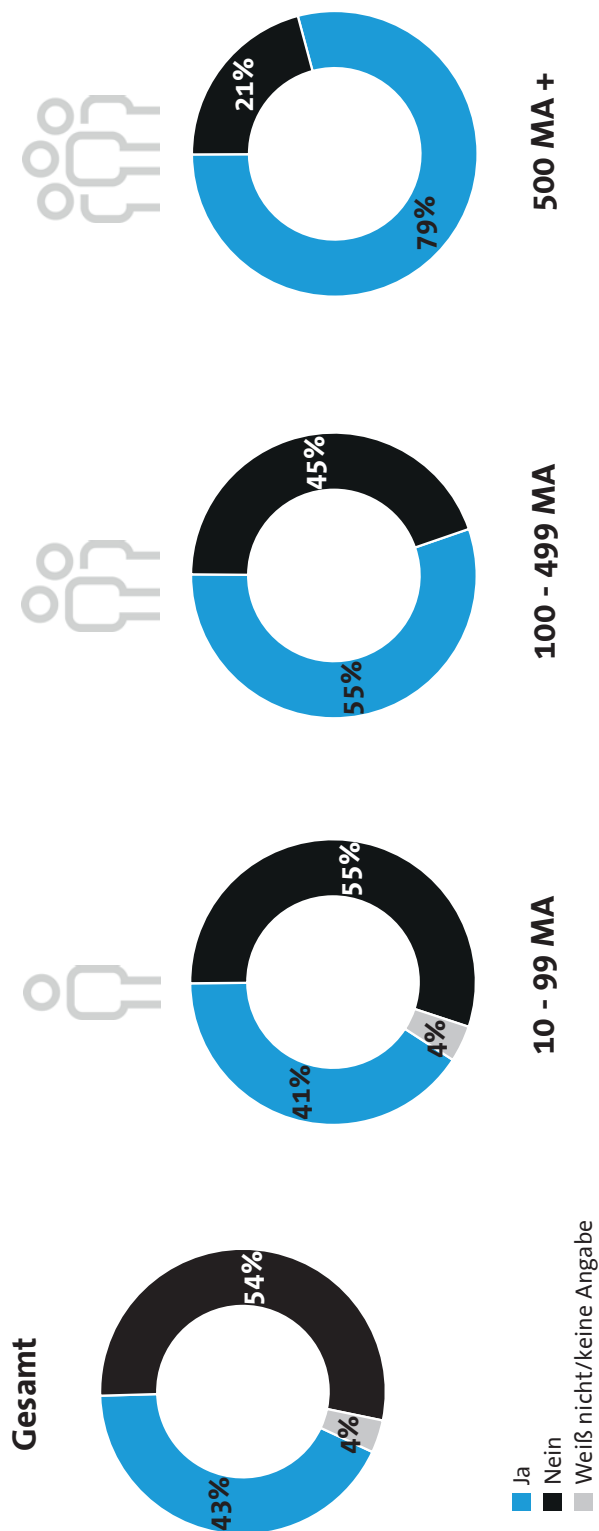


18 Basis: Alle befragten Unternehmen, die die Anwendungen nicht über externe IT-Infrastrukturen einsetzen
Rundungsbedingt ergeben die Summen nicht zwingend 100%

4 Anforderungen an die Internetverbindung der Kunden

Kunden brauchen bei vier von zehn Unternehmen Internet.

Benötigen Ihre Kunden für die Nutzung der Produkte oder Dienstleistungen Ihres Unternehmens eine Internetverbindung?

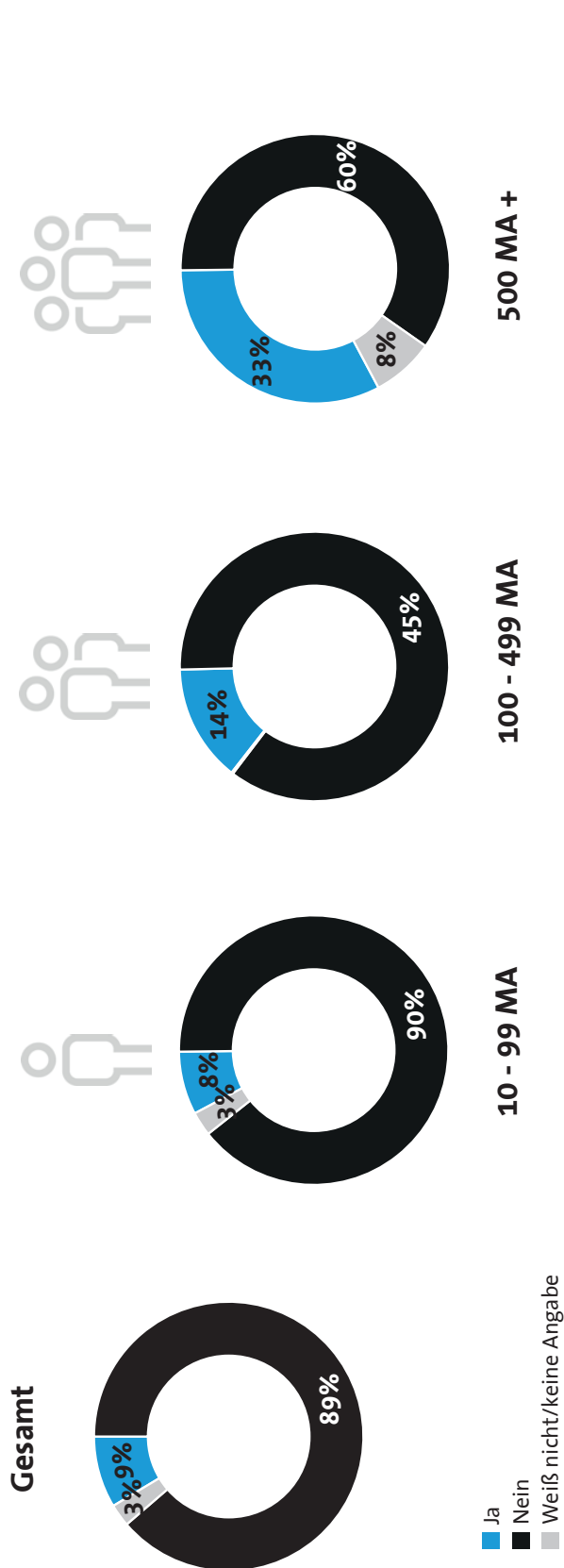


Basis: Alle befragten Unternehmen (n=754) | Rundungsbedingt ergeben die Summen nicht zwingend 100%

20

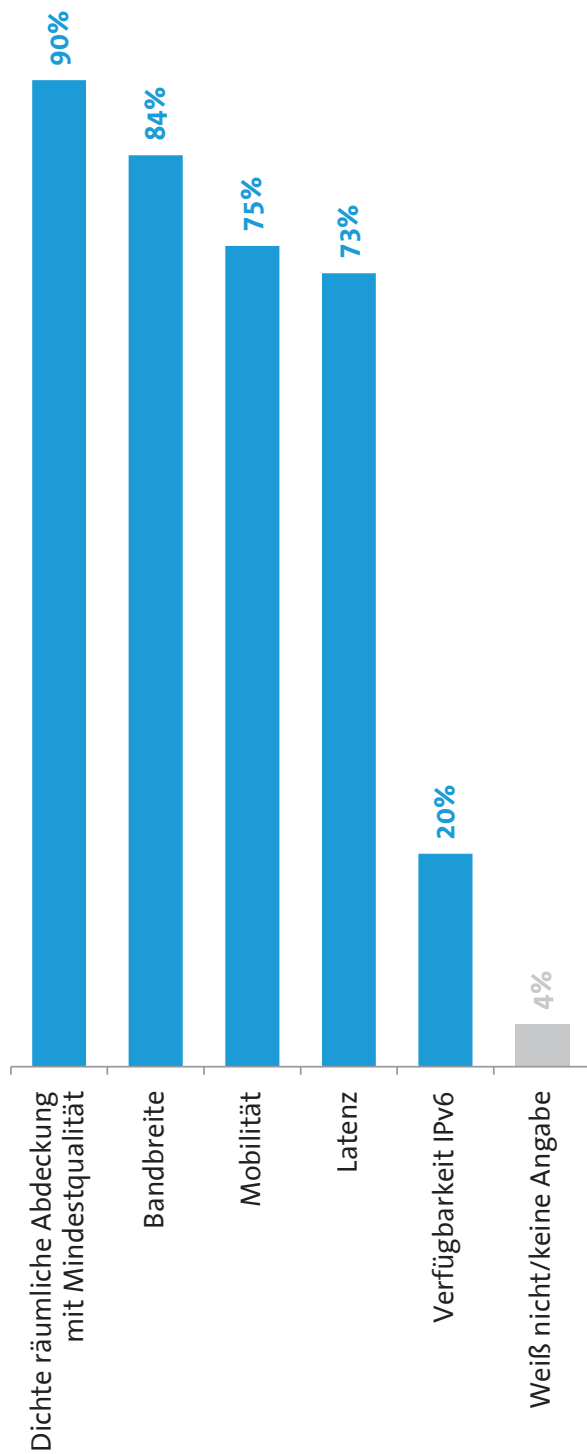
Bei jedem zehnten Unternehmen brauchen Kunden mobiles Internet.

Benötigen Ihre Kunden für die Nutzung der Produkte oder Dienstleistungen Ihres Unternehmens eine mobile Internetverbindung?



Häufigste Anforderung: Dichte räumliche Abdeckung.

Welche der folgenden Anforderungen bestehen für die Nutzung der Produkte oder Dienstleistungen Ihres Unternehmens an die Internetverbindung Ihrer Kunden?

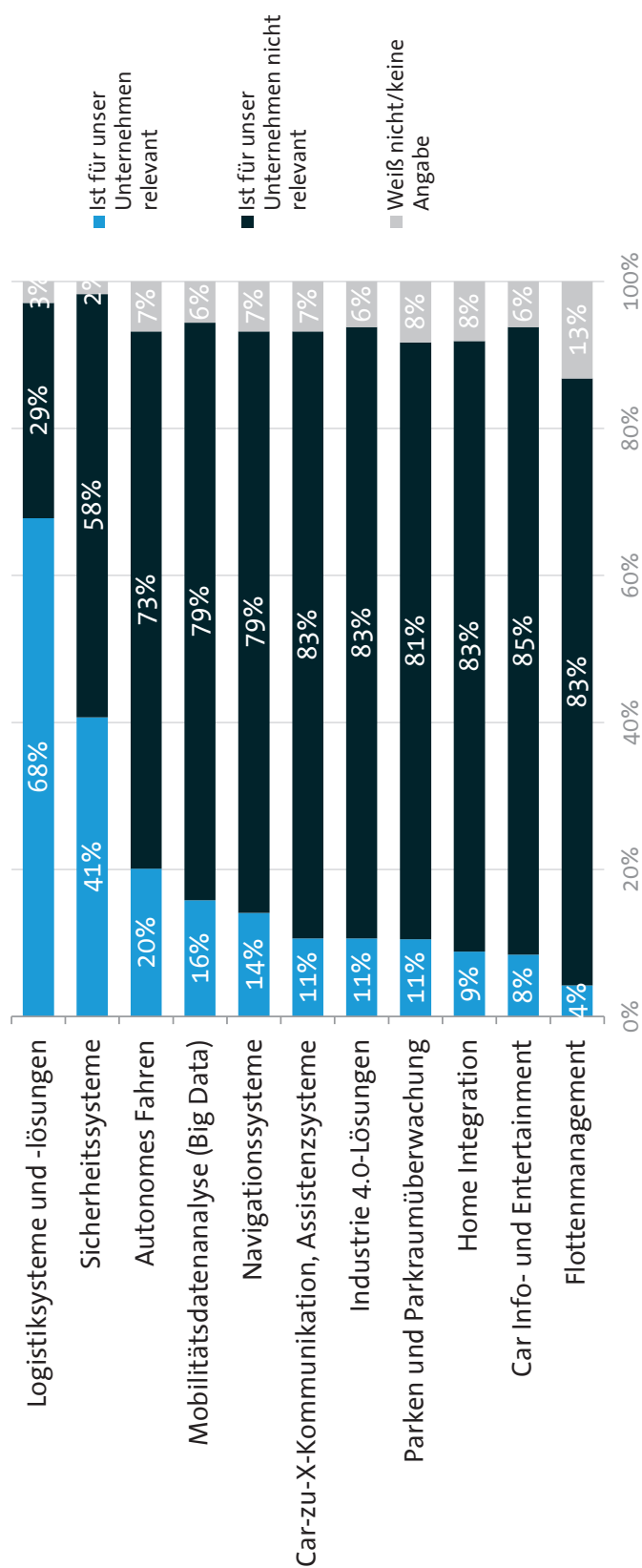


22 Basis: Alle befragten Unternehmen, bei denen für die Kunden zur Nutzung der Produkte oder Dienstleistungen eine Internetverbindung benötigt wird (n=321) | Mehrfachnennungen möglich

5 Relevanz branchenspezifischer Anwendungsszenarien

Automobilindustrie: Logistikanwendungen am häufigsten relevant.

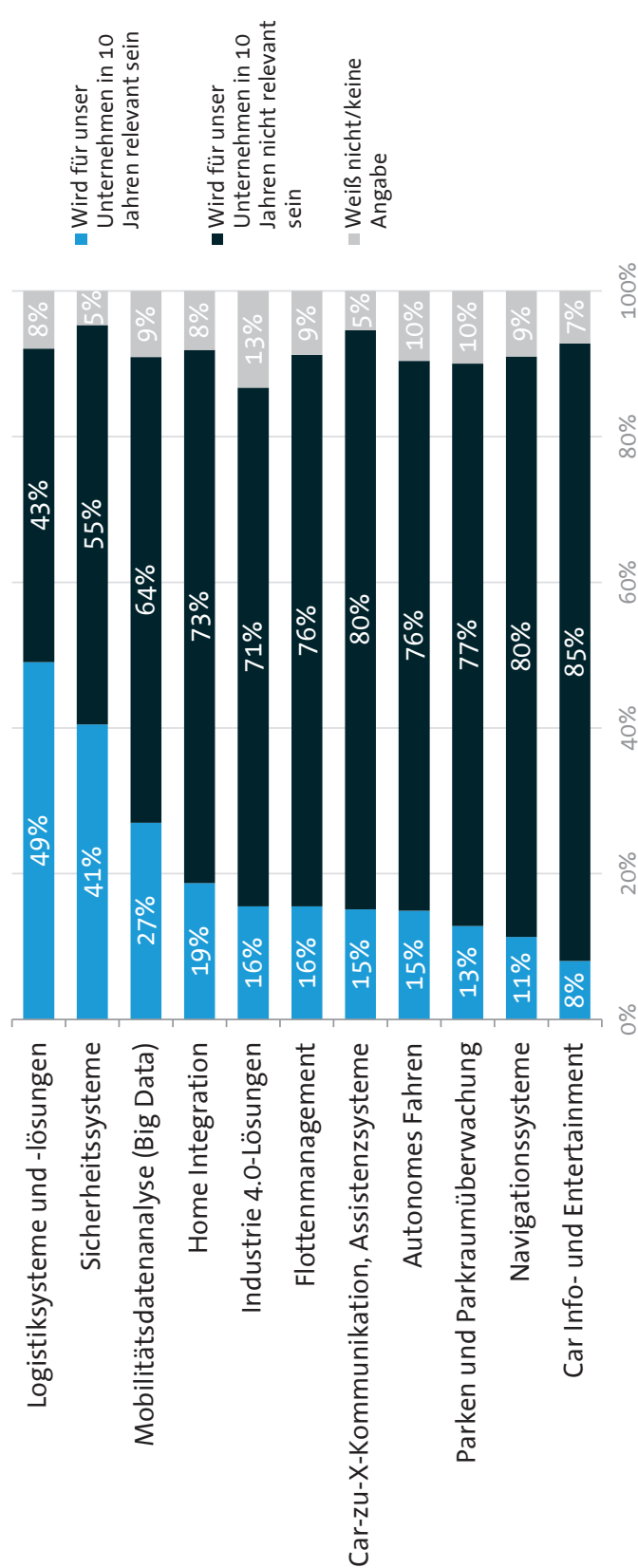
Welche der folgenden Anwendungsszenarien sind für Ihr Unternehmen relevant?



Basis: Alle befragten Unternehmen der Automobilindustrie (n=101, ungewichtet)
 24 Rundungsbedingt ergeben die Summen nicht zwingend 100%

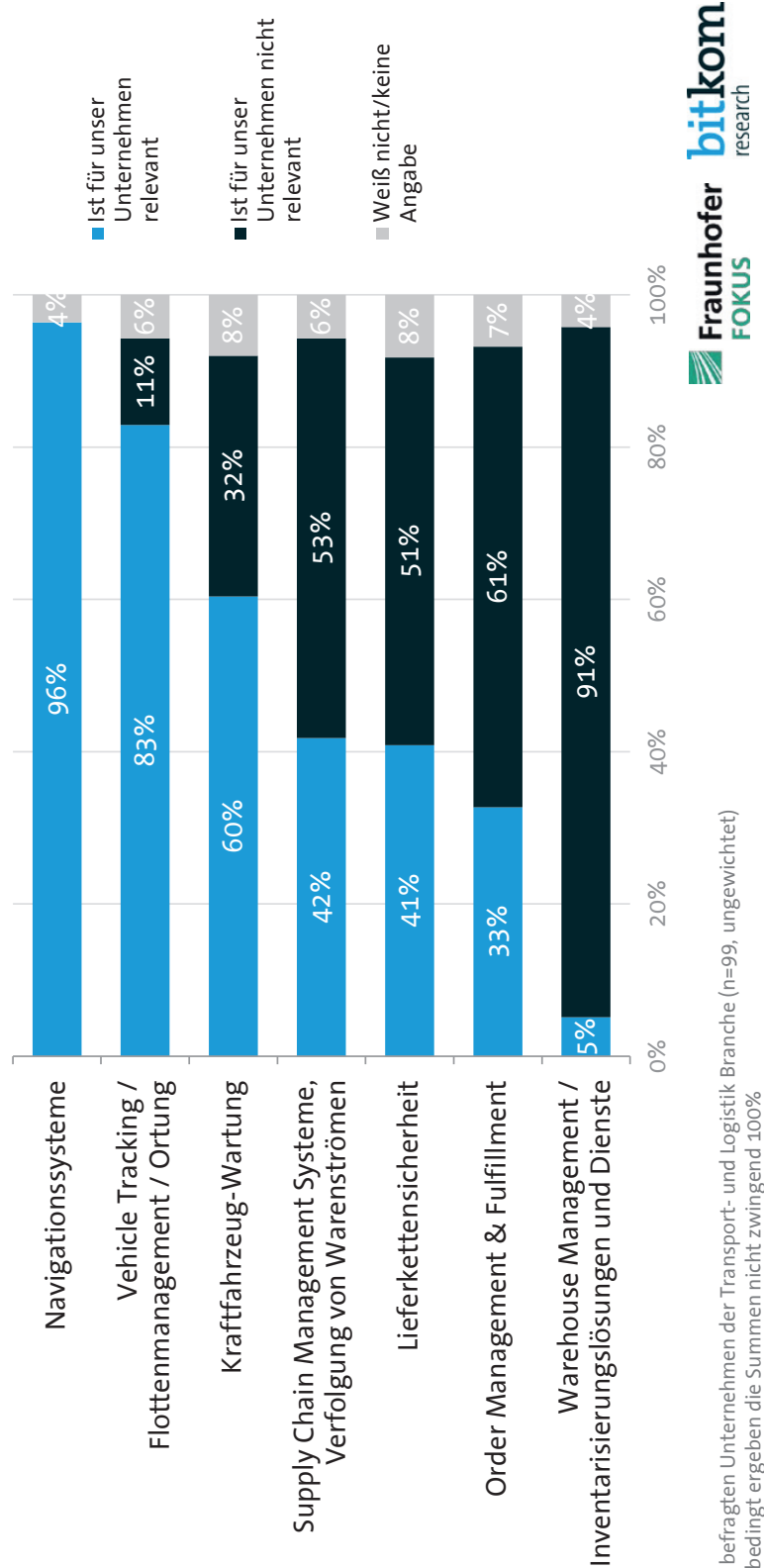
Automobilindustrie: Autonomes Fahren für viele nicht relevant.

Werden diese Anwendungsszenarien in Ihrem Unternehmen Ihrer Einschätzung nach in 10 Jahren relevant sein?



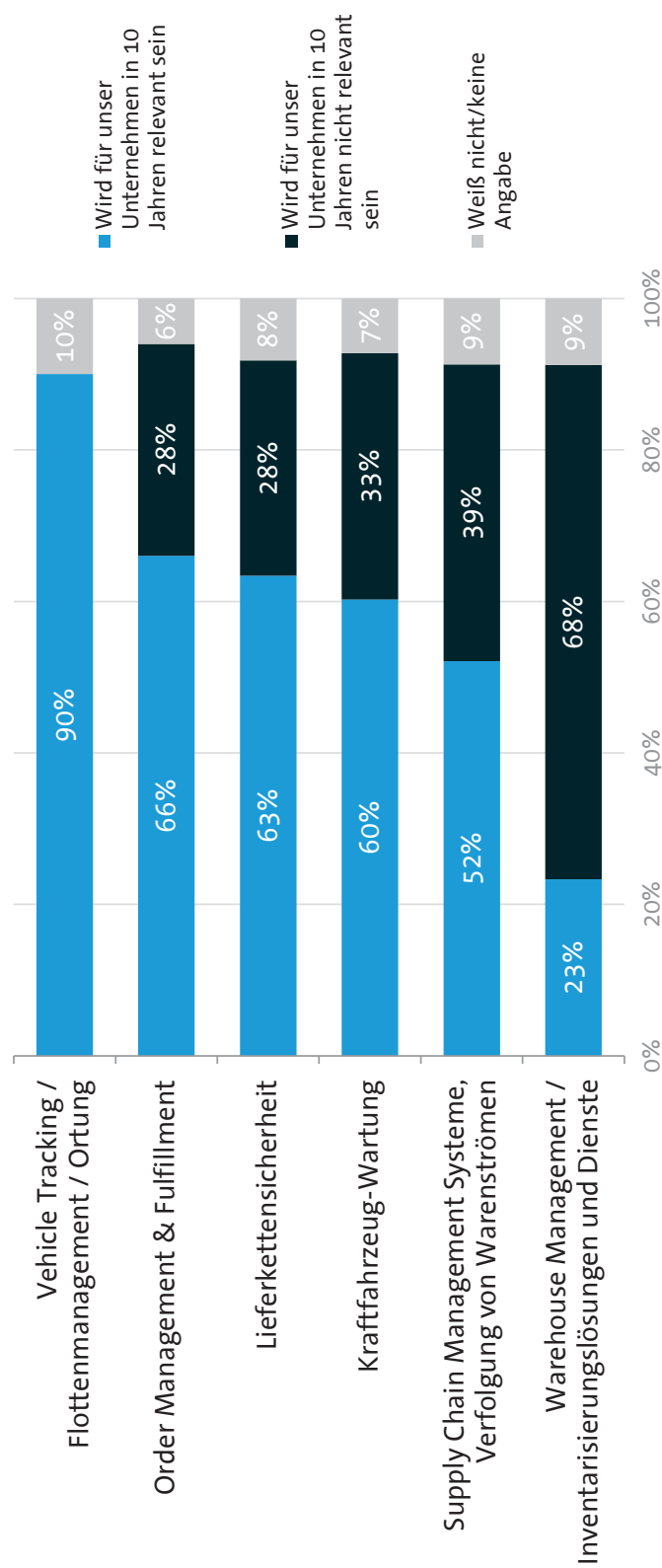
Transport und Logistik: Navigationssysteme fast immer relevant.

Welche der folgenden Anwendungsszenarien sind für Ihr Unternehmen relevant?



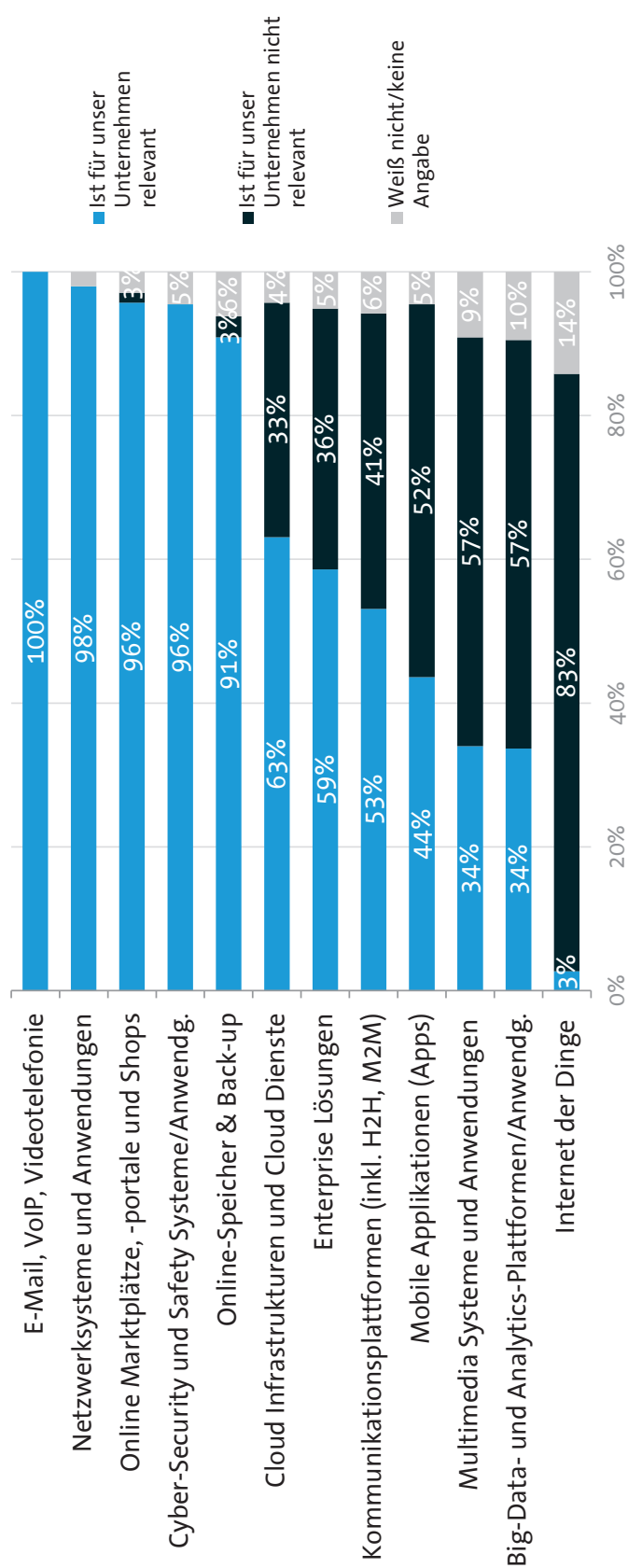
Transport und Logistik: Vehicle Tracking wird noch wichtiger.

Werden diese Anwendungsszenarien in Ihrem Unternehmen Ihrer Einschätzung nach in 10 Jahren relevant sein?



IKT: Fokus auf Kommunikationsanwendungen.

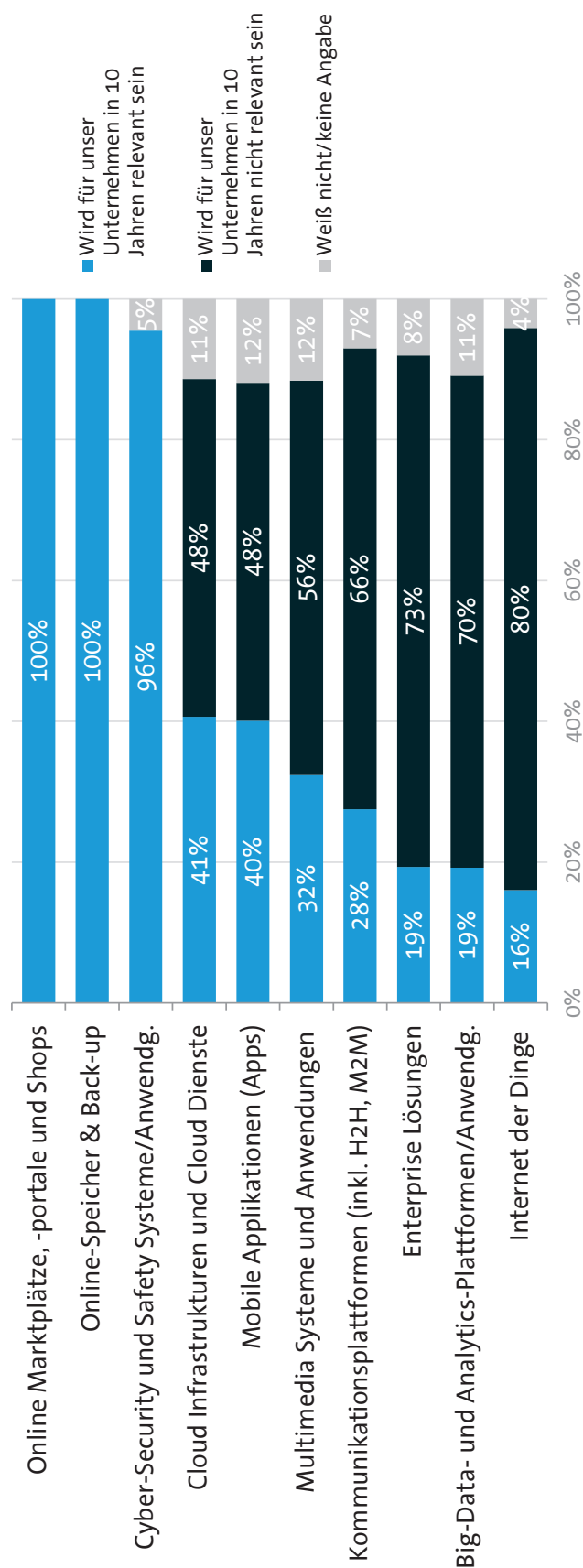
Welche der folgenden Anwendungsszenarien sind für Ihr Unternehmen relevant?



28 Basis: Alle befragten Unternehmen der Informations- und Kommunikationstechnik-Branche (n=101, ungewichtet)
Rundungsbedingt ergeben die Summen nicht zwingend 100%

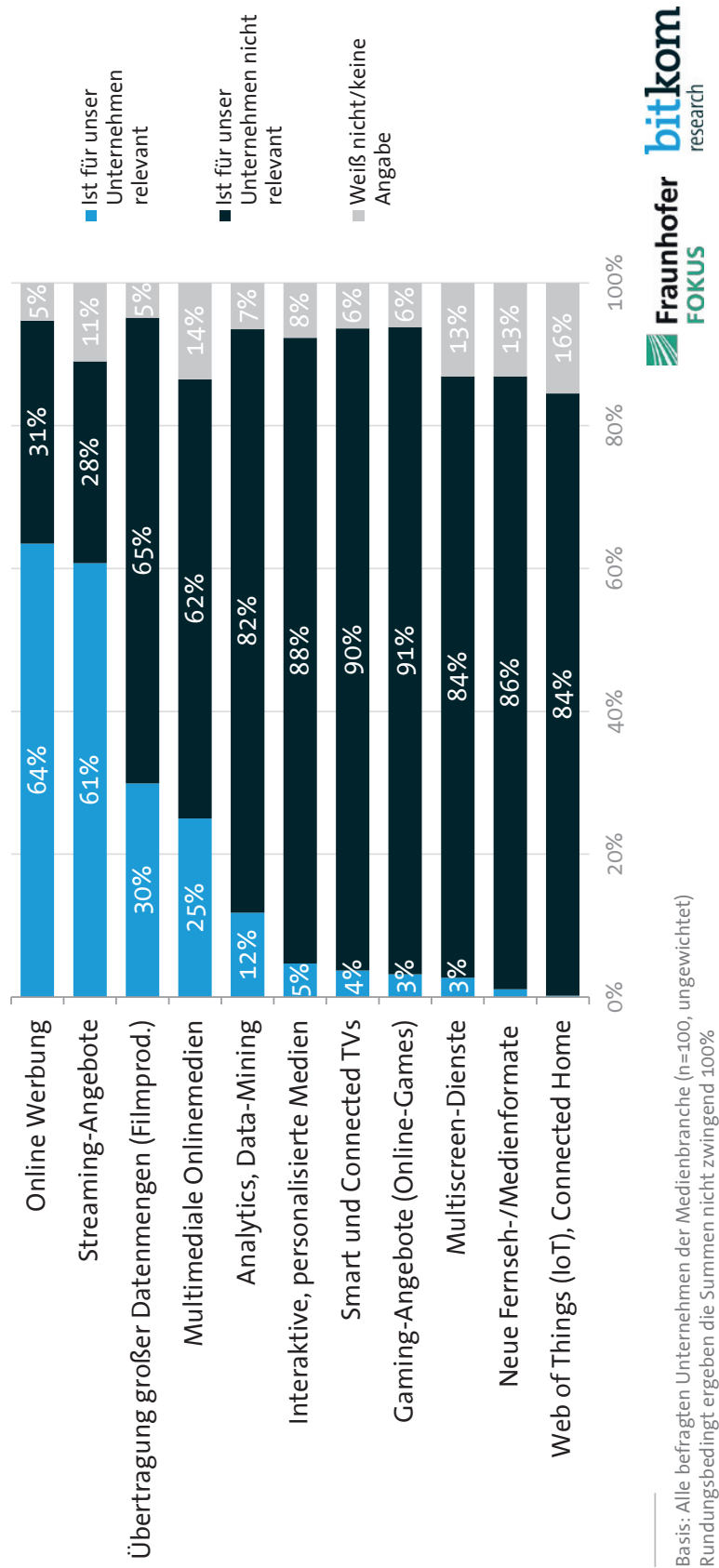
IKT: Plattformen, Cloud und Sicherheit gewinnen an Relevanz.

Werden diese Anwendungsszenarien in Ihrem Unternehmen Ihrer Einschätzung nach in 10 Jahren relevant sein?



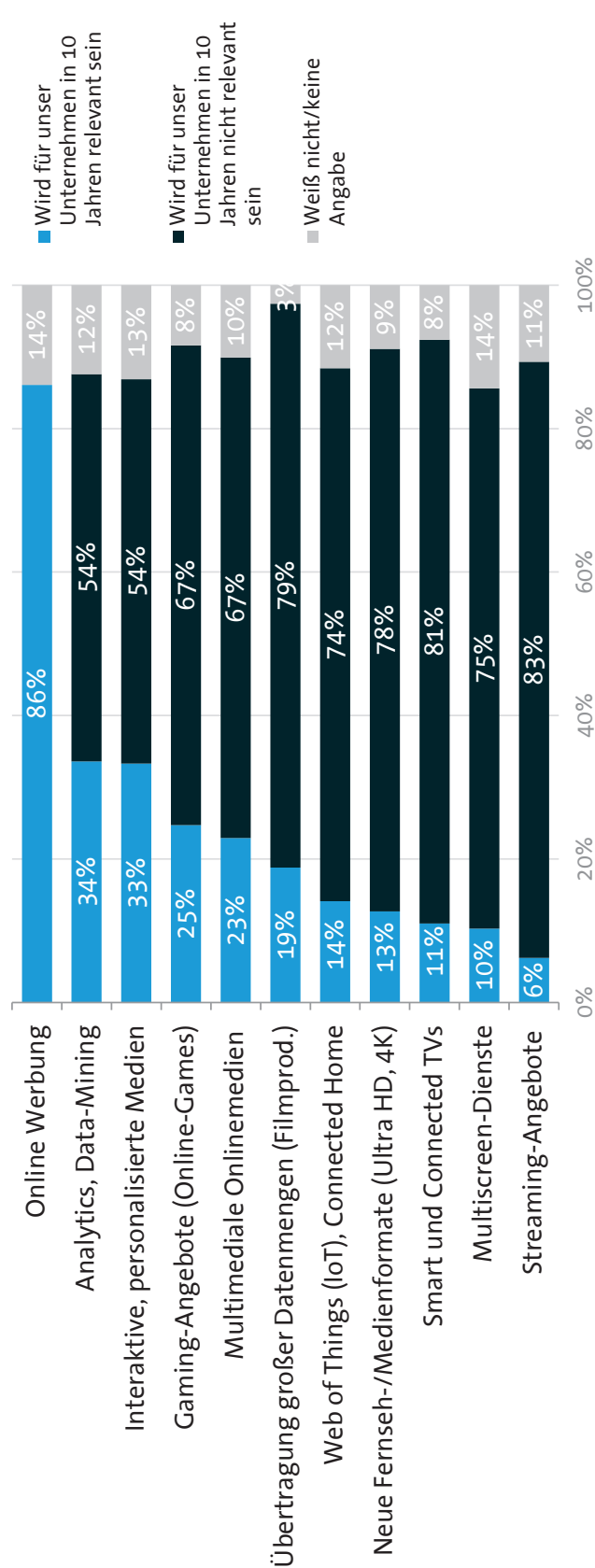
Medien: Online Werbung und Streaming am häufigsten relevant.

Welche der folgenden Anwendungsszenarien sind für Ihr Unternehmen relevant?



Medien: Trend zur Online Werbung wird sich verstärken.

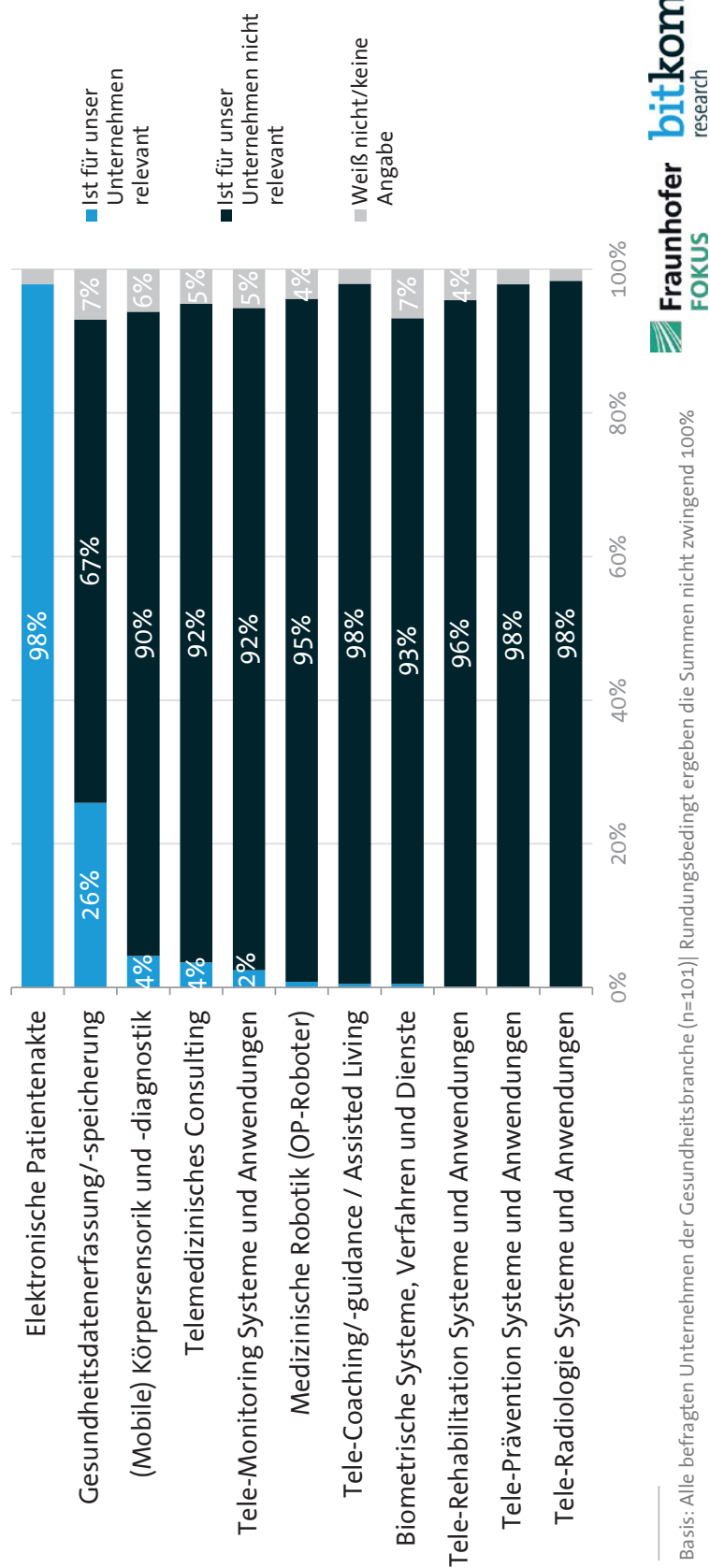
Werden diese Anwendungsszenarien in Ihrem Unternehmen Ihrer Einschätzung nach in 10 Jahren relevant sein?



Basis: Alle befragten Unternehmen der Medienbranche, für die jeweilige Anwendungsszenarien aktuell nicht relevant sind
 31 Rundungsbedingt ergeben die Summen nicht zwingend 100%.

Gesundheit: Elektronische Patientenakte fast immer relevant.

Welche der folgenden Anwendungsszenarien sind für Ihr Unternehmen relevant?



Gesundheit: Gesundheitsdaten werden wichtiger.

Werden diese Anwendungsszenarien in Ihrem Unternehmen Ihrer Einschätzung nach in 10 Jahren relevant sein?

