

HESSEN



TECHNOLOGIELAND  
HESSEN

BREITBAND.  
BÜRO.

# 5G

**Aktuelle  
Entwicklungen,  
Herausforderungen  
und Potenziale  
für den Zugang zu  
kommunaler  
Infrastruktur**

#### Herausgeber

Hessisches Ministerium für Wirtschaft,  
Energie, Verkehr und Landesentwicklung  
Kaiser-Friedrich-Ring 75  
65185 Wiesbaden  
www.wirtschaft.hessen.de



#### Projekträger

Hessen Trade & Invest GmbH  
Breitbandbüro Hessen  
Konradinallee 9  
65189 Wiesbaden  
Wolfram Koch  
Telefon 0611 95017-8472  
wolfram.koch@htai.de  
www.breitband-in-hessen.de



#### Redaktionsteam

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Landesentwicklung  
Referat für Technologiepolitik, digitale Infrastruktur  
Georg Matzner

Hessen Trade & Invest GmbH  
Breitbandbüro Hessen  
Wolfram Koch  
Christoph Hahn



#### Bearbeitung/Verfasser

atene KOM GmbH

#### Kontakt

atene KOM GmbH  
Agentur für Kommunikation, Organisation und Management  
Invalidenstraße 91  
10115 Berlin  
Tel. +49 (0)30/60 98 990-0  
Fax +49 (0)30/60 98 990-99  
info@atenekom.eu  
www.atenekom.eu



#### Autoren

Tim Brauckmüller  
Eike Gutt  
Frank Kensy  
Dr. Janine Riewe  
Kai Westermann

#### Gestaltung

Schueler Handmade Advertising

#### Druck

ausDRUCK, www.ausdruck.com

#### Bildnachweis

Titelseite - Shutterstock 28075891, Elsass, Shutterstock 176995772, Sashkin  
Seite 6 und 7 - Shutterstock 648953275, Anton Khrupiun  
Seite 23 - Shutterstock 678665710, Anton Khrupiun  
Seite 24 - Shutterstock 580121797, Anton Khrupiun  
Seite 34 - Shutterstock 653800321, Anton Khrupiun  
Seite 37 - Shutterstock 611666870, Anton Khrupiun

Stand: Mai 2017

© Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung  
Vervielfältigung und Nachdruck - auch auszugsweise - nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung.  
Diese Broschüre dient der Unterrichtung der Öffentlichkeit durch das Hessische Ministerium für Wirtschaft,  
Energie, Verkehr und Landesentwicklung. Ihre öffentliche Verbreitung zu Zwecken des Wahlkampfes  
oder der Werbung für politische Parteien ist nicht gestattet.

## INHALT

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>5G - Entwicklung einer neuen Mobilfunkgeneration</b>	<b>8</b>
2.1	Neue Anwendungsszenarien als Treiber für die 5G-Entwicklung	8
2.2	5G-Anwendungsfelder mit Potenzial für die kommunale Infrastruktur	11
2.2.1	Intelligente Verkehrssysteme und Autonomes Fahren	11
2.2.2	E-Health	13
2.2.3	Industrie 4.0	14
2.3	5G-Standardisierung und Zeitplan	14
2.4	Geplante 5G-Frequenzen	16
<b>3</b>	<b>Infrastrukturelle Rahmenbedingungen für 5G</b>	<b>18</b>
3.1	5G-Frequenzen bilden den Rahmen für Infrastrukturüberlegungen	18
3.2	Standortfindung aus technischer Sicht	24
<b>4</b>	<b>Rechtliche Aspekte des 5G-Ausbaus</b>	<b>26</b>
4.1	EU-Kommissionsvorschlag und 5G-Aktionsplan	27
4.2	EU-Beihilferecht	29
4.2.1	Anwendung des Artikel 107 Abs. 1 AEUV	29
4.2.2	Freistellung	32
4.2.3	Mitnutzung von Stadtmöbeln und Standortentgelte	32
4.3	NGA-Rahmenregelung	35
4.4	DigiNetzG	35
4.5	Wegerecht und Zuwegung	36
4.6	Standortbescheinigungen/Standortverfahren	38
<b>5</b>	<b>Handlungsempfehlungen</b>	<b>39</b>
5.1	Status Quo-Analyse	39
5.2	Entwicklungserhebung	40
5.3	Synergien bei Bauprojekten	40
5.4	Migrationskonzept	41
5.5	Entgelte- und Gebühren	41
5.6	Einbindung regionaler Energieversorger	42
5.7	Dokumentation im Geoinformationssystem	42
<b>6</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>Glossar</b>	<b>44</b>



## EINLEITUNG

Der Mobilfunk ist ein bedeutender wirtschaftlicher Faktor. 2010 wurde in Deutschland mit Mobilfunkdienstleistungen ein Umsatz von rund 141 Milliarden Euro erzielt<sup>1</sup>; für 2016 wurden die Mobilfunkumsätze weltweit auf insgesamt rund 1,24 Billionen US-Dollar prognostiziert<sup>2</sup>. Größtenteils private Mobilfunkanbieter stehen im Wettbewerb um Marktanteile in diesem intensiv umkämpften Bereich. Der mobile Zugriff auf Daten ist von immer größerer Bedeutung. Diese Entwicklung verändert unser Verständnis von Kommunikation und auch die Anforderungen an die damit verbundenen Infrastrukturen. Der Mobilfunk wird damit in Zukunft einen immer höheren Stellenwert erhalten.

## WEITERENTWICKLUNG BESTEHENDER STANDARDS

Um den wachsenden technischen Ansprüchen mobiler digitaler Anwendungen gerecht zu werden und solche Entwicklungen massentauglich zu machen, werden die Technologien und Standards des Mobilfunks ständig weiterentwickelt. Nach der Umstellung auf ein digitales Übertragungsverfahren (2G), der Einführung von Datendiensten (3G) sowie der Entwicklung hin zur digitalen paketvermittelten Übertragung verschiedenster Sprach-, Video- und allgemeiner Datendienste (4G) folgt mit 5G die nächste Mobilfunkgeneration, die in den nächsten Jahren zu einer sukzessiven Leistungssteigerung in den Mobilfunknetzen führen wird.

5G wird als „Mobilfunktechnik von morgen“ ein zentraler Eckpfeiler für die digitale (Gigabit-)Gesellschaft<sup>3</sup>. Dabei hat 5G nicht nur den Anspruch höhere Bandbreiten für mobile Zugänge bereitzustellen. 5G-Technologie wird viel mehr bieten als höhere Datenraten und geringere Latenzzeiten. Ziel ist es, völlig neue Anwendungsfelder und Geschäftsmodelle zu erschließen. 5G wird in gesellschaftliche Bereiche

hineinreichen, die wir heute kaum mit Mobilfunknetzen in Verbindung bringen. Die bedarfsgerechte Steuerung der Energieerzeugung bei Lieferung und Abnahme wird über die 5G-Anwendungen auch von lokalen und regionalen Stromerzeugern möglich werden; so können auch Kleinsterzeuger zum Anbieter am Energiemarkt werden. Durch die mobile Erfassung von Vitaldaten wird sich die medizinische Versorgung der Patienten vor allem in ländlichen und peripheren Gebieten grundsätzlich verändern. Insbesondere die Versorgung von chronisch Kranken im häuslichen Umfeld kann sich durch Assistenzsysteme deutlich verbessern.

## 5G-PILOTPROJEKTE

Erste Pilotprojekte, wie das 5G-Lab Germany an der TU Dresden<sup>4</sup> zeigen bereits Einblicke in eine Technologie, die in einigen Jahren Realität sein wird. In zukünftigen Anwendungsfeldern wird die digitale und sensorgesteuerte Kommunikation von Objekten (z.B. Internet of Things (IoT), V2X (Vehicle to Everything) und m2m (machine to machine) eine immer größere Rolle spielen. Um dem gerecht zu werden, muss das Mobilfunknetz der Zukunft neue Strukturen erhalten. Im Zuge des 5G-Ausbaus werden die Grenzen zwischen Mobilfunk und Festnetz zunehmend verschwinden und die Konvergenz der Netze vorangetrieben. Die wachsende Zahl von Endgeräten, die Vernetzung untereinander und die Integration von Sensoren (aus unterschiedlichen Anwendungsfeldern, wie Wetterdatenerfassung mit einer bisher nicht gekannten Dichte, die Überwachung von Verkehrsströmen zur bedarfsgerechten Ampelschaltung) in das Mobilfunknetz erfordern jedoch weitreichende Innovationen, vor allem im Bereich der Funkschnittstelle und des Kernnetzes. Wichtige Treiber für diese Entwicklung sind unter anderem Industrie 4.0, der Gesundheitssektor (E-Health) und die Entwicklungen und Anforderungen im Automobilsektor (Automotive).

Auch wenn der 5G-Mobilfunkstandard am Anfang seiner Entwicklung steht, ist zumindest eines klar: 5G wird bald das Wirtschaftswachstum in vielen Regionen antreiben. Die gesamtwirtschaftlichen

Wirkungen des neuen Mobilfunkstandards gehen über den Umsatz für Mobilfunk um ein Vielfaches hinaus. Heute getroffene Entscheidungen für 5G-Mobilfunk haben weitreichende Wirkungen auf unsere Volkswirtschaft und unsere Gesellschaft. Zudem ist Europa einer der größten und wichtigsten Märkte für 5G-Mobilfunknetze.

## POLITISCHE UNTERSTÜTZUNG

Die Bundesregierung hat 5G als Schlüsseltechnologie für die vernetzte Gigabit-Gesellschaft erkannt, die in viele neue Bereiche des gesellschaftlichen Lebens und der Wirtschaft hineinreichen wird. Aus diesem Grund wurden Aktionsfelder identifiziert, die durch verschiedene Maßnahmen gefördert und schneller vorangetrieben werden können, wie die Koordination und Unterstützung der 5G-Forschung und die Bereitstellung von Testfrequenzen. Mit der im Kontext des Digital-Gipfels von der Bundesregierung ins Leben gerufenen Fokusgruppe 5G gibt es seit 2015 eine Plattform zur Vernetzung der Telekommunikationswirtschaft mit Anwenderindustrien, die weitere Handlungsempfehlungen erarbeitet. Sie führt in diesem Zuge Diskussionen mit relevanten Akteuren und publiziert die Ergebnisse<sup>5</sup>. Im März 2017 wurde außerdem die wissenschaftlich begleitete Konferenzreihe 5G-Dialogforen gestartet. Die Dialogforen sind ein wichtiger Baustein der BMVI-Initiative 5 Schritte zu 5G<sup>6</sup>, in der als weitere Maßnahmen die Bereitstellung von Frequenzspektrum für 5G, das Vorantreiben der 5G-Forschung, die Schaffung konkreter Anwendungsbeispiele und eine Beschleunigung des 5G-Rollouts beschrieben werden.

Die EU-Kommission hat einen Aktionsplan 5G für Europa<sup>7</sup> veröffentlicht, nach dem sie verschiedene Maßnahmen ergreifen wird, um die Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine Marktverfügbarkeit von 5G-Technologien bis zum Jahr 2020 unterstützen sollen. Als Institution hat sie hierfür seit 2013 eine Public-Private-Partnership (5G-PPP)<sup>8</sup> etabliert, in dem öffentliche und private Partner in Projekten und Arbeitsgruppen 5G-Technologien und Lösungen im Kontext 5G erarbeiten. Ziele des Aktionsplans sind unter anderem die Erstellung einer Roadmap

und Prioritätenliste für eine koordinierte 5G-Implementierung in allen EU Mitgliedsstaaten sowie die Sicherstellung der Verfügbarkeit vorläufiger Frequenzbänder vor der WRC-19. Zudem wird die frühe 5G-Implementierung in dicht besiedelten Regionen und entlang von Hauptverkehrswegen gefördert.

Für die Kommunen zeichnen sich neue Herausforderungen im Infrastrukturausbau ab, die an den bereits erfolgten Ausbau von NGA-Infrastruktur anknüpfen. Hier ist insbesondere die notwendige Verdichtung der Glasfasernetze durch die steigende Zahl von 5G-Zugangspunkten für neue Sendeanlagen zu nennen. Dabei spielen die für 5G verfügbaren und geplanten Frequenzbereiche eine entscheidende Rolle, da sie durch ihre physikalischen Eigenschaften eine geringere Zellgröße und damit eine höhere Standortdichte vorgeben. Damit werden engmaschige Glasfasernetze notwendig, um die Verdichtung der Sendeanlagen zu ermöglichen und der steigenden Zahl von 5G-Zugangspunkten gerecht zu werden.

## NETZAUSBAU IN HESSEN

Mit der Umsetzung der hessischen Breitbandstrategie konnte in den letzten Jahren eine deutliche Verbesserung der vorhandenen Versorgung erreicht werden. Einige Ausbauprojekte wurden bereits umgesetzt oder befinden sich derzeit im Bau. Für die Implementation der 5G-Versorgung bestehen besonders in Hessen topografische Herausforderungen, die nur schwer zu überwinden sein werden. Umso wichtiger ist eine vorausschauende Planung und frühzeitige Integration in die derzeitigen Ausbauprojekte. Durch die gute Projektmanagement-Struktur der hessischen Breitbandumsetzung in Kreisprojekten und kommunalen Verbänden können Synergien im Ausbau von Festnetz und Mobilfunk gehoben werden. Zwei Aspekte mit besonderer Bedeutung für den 5G-Infrastrukturausbau sind die Mobilfunkversorgung und die Anbindung mit Glasfasernetzen.

Bei der Mobilfunkverfügbarkeit konnte in den vergangenen fünf Jahren<sup>9</sup> im Land Hessen ein deutlicher Fortschritt erzielt werden. Bis Ende 2016 wurde eine nahezu flächendeckende<sup>10</sup> Versorgung von drahtlosen Zugängen in der Bandbreitenklasse bis

<sup>1</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3696/umfrage/umsatz-im-mobilfunkmarkt-in-europa/>, letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>2</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/253359/umfrage/prognose-zum-mobilfunkumsatz-der-netzbetreiber-weltweit/>, letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>3</sup> Fraunhofer Fokus definiert den Begriff in der Studie „Netzinfrastrukturen für die Gigabit-Gesellschaft wie folgt: „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.“

<sup>4</sup> <http://5glab.de/>, letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>5</sup> Abrufbar unter: <http://plattform-digitale-netze.de/fokusgruppe-5g>, letzter Zugriff: 29.05.2017

<sup>6</sup> Vgl.: [http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bmvi-initiative-5-schritte-zu-5g.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/bmvi-initiative-5-schritte-zu-5g.pdf?__blob=publicationFile), letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>7</sup> Siehe: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/5g-europe-action-plan>, zuletzt Aufgerufen 26.05.2017.

<sup>8</sup> Siehe: <https://5g-ppp.eu/>, zuletzt Aufgerufen 26.05.2017.

<sup>9</sup> Im Breitbandatlas des BMVI wird LTE in den drahtlosen Bandbreitenklassen  $\geq 2$  Mbit/s und  $\geq 6$  Mbit/s aufgeführt.

<sup>10</sup> Bei den Werten des Breitbandatlases handelt es sich um die Breitbandverfügbarkeit in Prozent der Haushalte. Über die mobile Verfügbarkeit außerhalb der Siedlungsgebiete wird insofern keine Aussage getroffen.

6 Mbit/s erreicht. Im Vergleich mit dem gesamten Bundesgebiet kann das Land Hessen auf eine starke Entwicklung zurückblicken. Ende 2016 konnte laut Breitbandatlas in Hessen ein LTE-Versorgungsgrad von 97,1% der Haushalte erreicht werden. Bei den Flächenländern liegt Hessen Ende 2016 damit auf dem 3. Platz. Bei der Versorgung mit UMTS werden 98,8% der Haushalte erreicht, womit Hessen über dem Bundesdurchschnitt liegt.

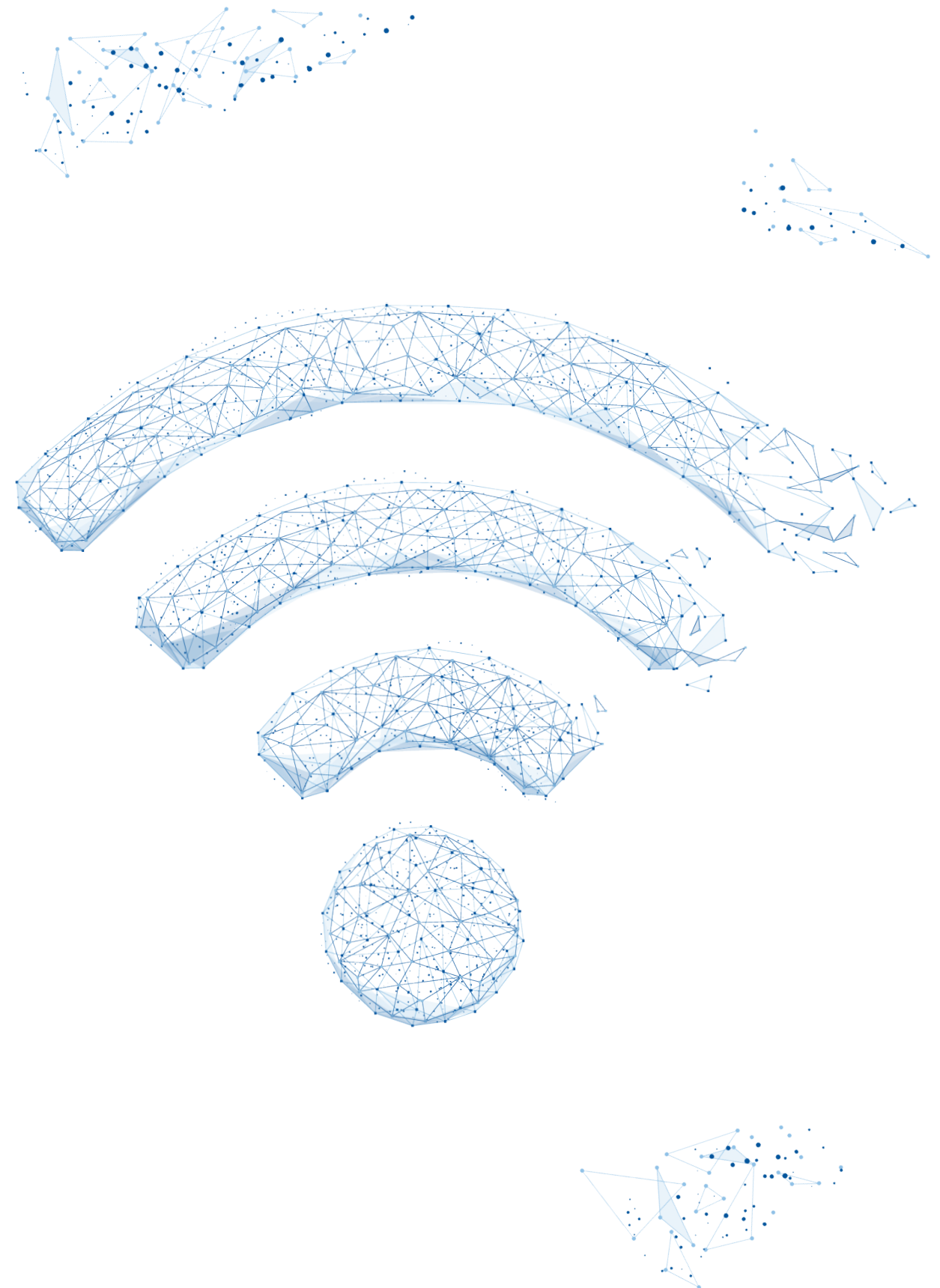
Während im Breitbandatlas LTE-Mobilfunk mit einer Bandbreitenklasse bis zu 6 Mbit/s aufgeführt wird, stellen die Mobilfunkprovider auf ihren Verfügbarkeitskarten wesentlich höhere maximal erreichbare Bandbreiten dar. Der Breitbandatlas fokussiert dabei auf den Versorgungsgrad der Haushalte, wohingegen seitens der Mobilfunkbetreiber die Netzabdeckung in der Fläche dargestellt wird.

Mit einer Haushaltsabdeckung von 78,3% liegt Hessen gemäß den Zahlen des Breitbandatlas beim leitungsgebundenen Breitbandausbau mit mindestens 50 Mbit/s im Vergleich der Flächenländer auf dem zweiten Platz. Im Süden Hessens, vor allem im Raum um Frankfurt, ist bereits eine hohe Haushaltsabdeckung erreicht. Dagegen sind in Nord- und West-Hessen weite Teile noch nicht mit Breitbandzugängen mit mindestens 50 Mbit/s versorgt. Hier sind jedoch aktuell zahlreiche Ausbauprojekte in der Umsetzung.

Die Erschließung mit Breitbandzugängen erfolgt in Hessen im Wesentlichen durch VDSL- und Kabelzugangstechnologien. Für die Bereitstellung von VDSL2 mit Vectoring werden die Kabelverzwei-

gerstandorte mit Glasfaserleitungen erschlossen (Fibre-to-the-curb, FTTC). In einigen kleineren Gebieten und für Gewerbe sind bereits Fibre To The Building (FTTB)-Anschlüsse verfügbar oder derzeit im Bau. Um leistungsfähige so genannte Hybrid-Fibre-Coax (HFC)-Anschlüsse anbieten zu können, ist eine Aufrüstung der Kabelnetze mit Glasfasertechnologie notwendig. Durch den fortgeschrittenen FTTC- und HFC-Ausbau sind Glasfasernetze aktuell in weiten Teilen Hessens verfügbar. Damit ist bereits eine wichtige Grundlage für die Erschließung mit 5G geschaffen worden.

Der Ausbau der 5G-Netze bringt einige Herausforderungen mit sich, birgt aber auch klare Chancen für die Kommunen, die sich in Zukunft immer mehr zu Smart Cities oder Smart Regions entwickeln werden und für Bevölkerung und Wirtschaft vielfältige digitale Angebote bereithalten müssen, z. B. bei der Verkehrsplanung, der medizinischen Versorgung und im Bereich E-Government. Inzwischen gibt es zahlreiche Publikationen, die sich mit der Entwicklung der 5G-Technologie, den Anforderungen an die neue Technik sowie den aktuellen und zukünftig möglichen Anwendungsfeldern befassen. Unklar ist jedoch noch, in welcher Form Infrastrukturen aus- und aufgebaut werden können und müssen und welche Rolle kommunale Träger dabei spielen. Die Rolle der Kommunen, die Möglichkeiten, die sich aus 5G für öffentliche Bereiche ergeben, welche technologischen und rechtlichen Herausforderungen bei einer aktiven Unterstützung des 5G-Infrastrukturausbaus durch Kommunen berücksichtigt werden müssen und welche Lösungswege hierfür aufgezeigt werden können, werden in dieser Kurzstudie umrissen.



## 2

### 5G - ENTWICKLUNG EINER NEUEN MOBILFUNKGENERATION

Die Entwicklung jeder neuen Mobilfunkgeneration basiert auf einem komplexen Zusammenspiel unterschiedlicher Prozesse und Akteure. Notwendig wird die Entwicklung einer neuen Mobilfunktechnik, wenn neue Anforderungen gestellt werden, zum Beispiel durch neue Anwendungen und Dienste, die mit der aktuellen Technologie nicht umsetzbar sind. Neue Anwendungsszenarien entstehen immer aus einem Bedarf heraus oder aus sozioökonomischen Notwendigkeiten. Sobald erkennbar ist, dass es sich bei diesen Anwendungsszenarien und Bedarfen um bedeutende zukunftsfähige Entwicklungen handelt, werden konkrete Anforderungen an neue Technologien formuliert. Aus diesen Anforderungen entstehen auf internationaler Ebene definierte Standards, die wiederum zur Entwicklung kompatibler Technik genutzt werden. Maßgeblich sind hierfür gemeinsame Abstimmungen internationaler Gremien wie der Internationalen Fernmeldeunion (ITU)<sup>11</sup> und das 3rd Generation Partnership Project (3GPP), das

sich für die einheitliche technische Spezifikation der Mobilfunkgeräte und für eine fehlerfreie Funktion in den Mobilfunknetzen einsetzt. Parallel müssen für eine neue Mobilfunkgeneration Frequenzbereiche gefunden und ebenfalls in einem internationalen Abstimmungsprozess festgelegt werden. Die Politik greift in diese komplexen Prozesse auf verschiedenen Ebenen moderierend oder durch die Anwendung hoheitlicher Rechte, zum Beispiel beim Zugang zu Frequenzen, ein.

Um die Hintergründe zur Entstehung von 5G verständlich zu beleuchten geben die folgenden Abschnitte einen kurzen Abriss zur generellen Motivation für die Entwicklung dieser neuen Technologie, zu den technischen Leistungsdaten, zum Zeitplan der Umsetzung und der Standardisierung, zu den Frequenzen, die für 5G genutzt werden können und zu den politischen Maßnahmen die eine 5G-Einführung unterstützen sollen.

## 2.1

### NEUE ANWENDUNGSSZENARIEN ALS TREIBER FÜR DIE 5G-ENTWICKLUNG

Das in Deutschland über Mobilfunk abgewickelte Datenvolumen zeigte zwischen 2009 und 2016 einen exponentiellen Anstieg (vgl. Abbildung 1). Nicht nur die deutlich höhere Zahl der Teilnehmer (Zahl der SIM-Karten) ist hierbei relevant. Der Anstieg ist auch auf ein stark verändertes Nutzerverhalten, veränderte Angebote und veränderte Anforderungen an mobile Kommunikationssysteme zurückzuführen. Auch in den kommenden Jahren wird das über die Mobilfunknetze zu bewältigende Datenvolumen steigen. Dem müssen die neuen 5G-Netze gewachsen sein.

Die Entwicklung der 4G-Technologie stand im Zeichen der Umstellung auf vollständig Internet Protocol (IP) basierte Netze. Definierte Ziele waren eine deutlich höhere Datenrate und das Erreichen einer kompletten Integration aller Dienste, wie im Festnetz. Der zukünftig weiter steigende Bandbreitenbedarf spielt auch in der 5G-Entwicklung eine zentrale Rolle. Im Rahmen des 5G-Ausbaus stehen jedoch vermehrt neue Anwendungsszenarien und Geschäftsmodelle im Fokus, auf die das 5G-Netz zugeschnitten wird. Diese Geschäftsmodelle werden u. a. auf eine universelle und verlässliche Verfügbarkeit der Mobil-

<sup>11</sup> Die ITU hat ihren Sitz in Genf und ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen zur Zusammenarbeit auf wirtschaftlichem, sozialem und humanitärem Gebiet, die sich offiziell und weltweit mit den technischen Aspekten der Telekommunikation beschäftigt.

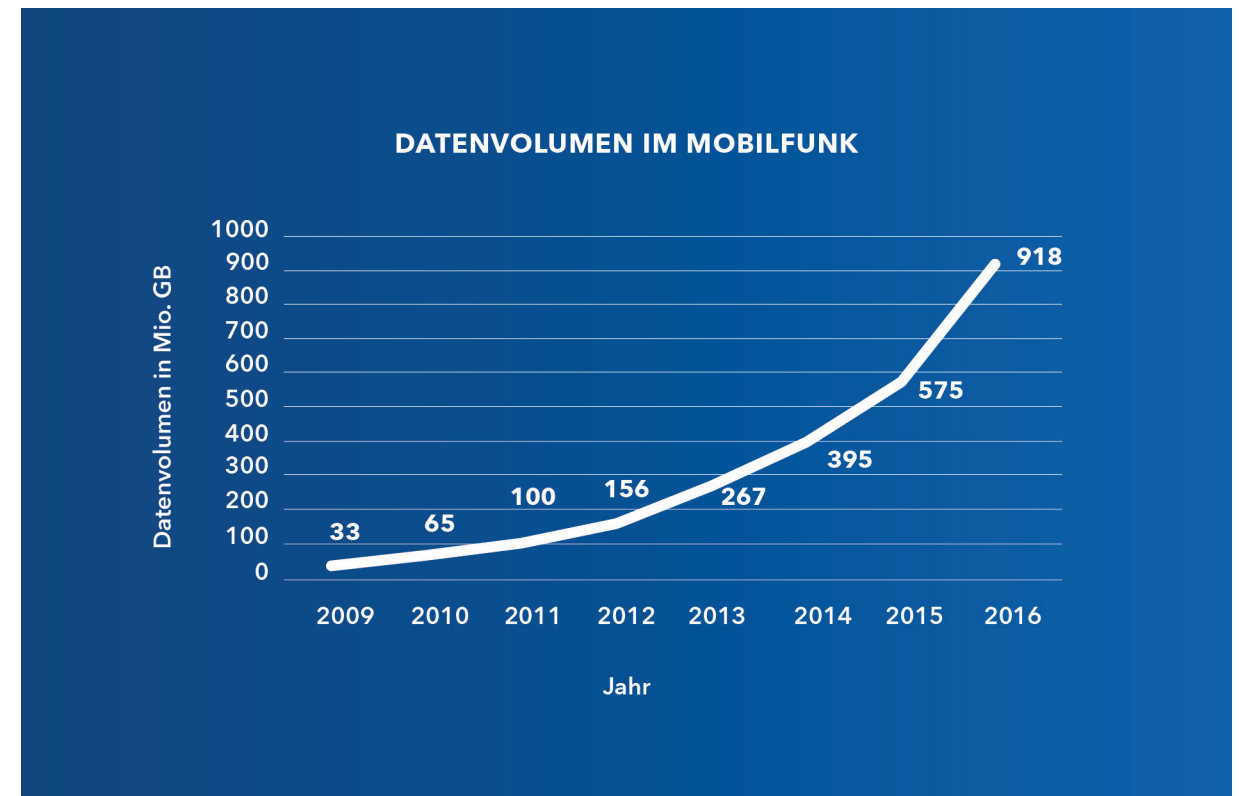


Abbildung 1: Entwicklung des Datenvolumens im Mobilfunk in Deutschland (2009 bis 2016), eigene Abbildung nach BNetzA (2017), S. 59<sup>12</sup>

funknetze angewiesen sein. Die Anforderungen werden über die klassischen Nutzungsszenarien wie Telefonie und Datendienste hinausgehen, um beispielsweise Echtzeitanwendungen im industriellen Umfeld zu realisieren. Dafür müssen die Reaktionszeiten (Latenzzeiten) bei der Datenübertragung minimiert werden. Aktuelle Netze stoßen hier an ihre Grenzen. Die Entwicklung hin zu einer vollständig vernetzten Gesellschaft erfordert zudem die Anbindung einer hohen Zahl von Endgeräten, Sensoren und vernetzten Gegenständen. Prognosen gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2020 weltweit ca. 20 Milliarden „Dinge“ vernetzt sein werden.<sup>13</sup> Daraus ergeben sich enorme technische Anforderungen an die Mobilfunknetze der Zukunft.

Durch neue Geschäftsmodelle und Anwendungsszenarien entstehen Anforderungen an die Netzinfrastruktur und Dienstgüte (englisch: Quality of Service, QoS), die die bestehenden 3G- und 4G-Netze nicht oder nur ungenügend erfüllen können. Zu

diesen Anforderungen gehören extrem hohe Datenraten im Up- und Downstream, sehr geringe Latenzzeiten, die Versorgung sehr vieler Netzteilnehmer auf einer definierten Fläche, aber auch die Netzsicherheit, konstante Verfügbarkeit und ein niedriger Energieverbrauch. Neben den technischen Spezifikationen beschreibt das 3GPP normativ Anforderungen an 5G-Netze, die durch verschiedene neue Anwendungsszenarien entstehen.<sup>14</sup> Diese Anwendungsszenarien zeigen, in welchen Bereichen die 4G-Technik an ihre Grenzen stößt.

Es gibt bereits verschiedene Anwendungsprofile, die klar die Grenzen vorhandener Technologien aufzeigen und technische Engpässe offenbaren. Ohne die aktuellen Weiterentwicklungen können diese neuen Anforderungen nicht dauerhaft und massentauglich erfüllt werden. Zu diesen Profilen gehören Enhanced Ultra Mobile Broadband (eUMB), das Anwendungen beinhaltet, die sehr hohe Bandbreiten benötigen, z. B. für die Echtzeitübertragung bei Großveranstal-

<sup>12</sup> Bundesnetzagentur (2017): Jahresbericht 2016 Märkte im digitalen Wandel. Quelle: Datenquellen BNetzA [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2017/JB2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2017/JB2016.pdf?__blob=publicationFile&v=1), letzter Aufruf 13.05.2017.

<sup>13</sup> Vgl.: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3598917>, letzter Aufruf 16.05.2017.

<sup>14</sup> Vgl.: [http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1786-5g\\_reqs\\_sa1](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1786-5g_reqs_sa1), letzter Aufruf: 26.05.2017



tungen. In das Profil Critical Communications/Ultra Reliable and Low Latency communications (URLLC) werden Anwendungen eingeordnet, die eine hohe Verfügbarkeit und sehr schnelle Reaktionszeiten voraussetzen, was z.B. für viele neue Funktionen im Verkehrsbereich wichtig ist. Unter dem Profil Massive Internet of Things (IoT)/massive Machine Type Communications (mMTC) werden Anwendungen zusammengefasst, die gleichzeitige Kommunikation einer sehr hohen Anzahl von Endgeräten innerhalb

einer Mobilfunkzelle notwendig machen. Diese Anwendungsprofile stehen jedoch nicht isoliert nebeneinander. Vielmehr überlagern sie sich gegenseitig, kommen zeitgleich zum Einsatz und erhöhen damit die Anforderungen, die an das Mobilfunknetz gestellt werden.

Tabelle 1 verdeutlicht die technischen Anforderungen und zeigt exemplarische Anwendungsszenarien der drei Anwendungsprofile auf.

	TECHNISCHE ANFORDERUNGEN	ANWENDUNGSSZENARIOEN UND BEISPIELE
<b>Enhanced Ultra Mobile Broadband<sup>15</sup> (eUMB)</b>	Sehr hohe Datenraten im Up- und Downstream, hohe Kapazität pro Flächeneinheit, hohe Spektraleffizienz der Mobilfunkzelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Over-the-Top (OTT)-Streaming 360°</i> bzw. 4K/8K UHD-Inhalte die bei Großveranstaltungen vielen Nutzern gleichzeitig zur Verfügung stehen, der Zugangsanbieter hat keine Kontrolle über die gestreamten Inhalte</li> <li>• Im Kommunikationsbereich wird z.B. die dezentralisierte Zusammenarbeit, bspw. mit virtuellen Konferenzräumen oder auch Präsenzrobotern an Bedeutung gewinnen.</li> </ul>
<b>Critical Communications Ultra Reliable and Low Latency Communications (URLLC)</b>	Hohe Verfügbarkeit Ausfallsicherheit, ultrakurze Latenzzeiten, hohe Mobilität der Netzteilnehmer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrie 4.0 Anwendungen <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>machine-to-machine</i>-Kommunikation (m2m) bei Smart-Factory-Anwendungen</li> <li>• im Produktionsprozess aktiv kommunizierende <i>Smart Products</i></li> <li>• industrielle Kontrollprozesse</li> </ul> </li> <li>• taktiler Internet, das eine Datenübertragung in Echtzeit erfordert</li> <li>• Kommunikation von Fahrzeugen: Die sichere Datenübertragung muss auch bei hohen Geschwindigkeiten nahezu verzögerungsfrei gewährleistet sein.</li> </ul>
<b>Massive Internet of Things (IoT) Massive Machine Type Communications<sup>16</sup> (mMTC)</b>	Hohe Gerätedichte pro Flächeneinheit, niedriger Energieverbrauch bzw. hohe Energieeffizienz der Endgeräte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geräte, die nur sporadisch und eher geringe Datenmengen senden, z.B. Stromzähler, die in bestimmten Intervallen die Verbrauchswerte vom Kunden zum Stromanbieter übermitteln. Viele Endgeräte werden in Zukunft keine dauerhafte Stromversorgung haben bzw. über einen langen Zeitraum per Batteriebetrieb ohne Lademöglichkeit aktiv sein. Ein extrem geringer Energieverbrauch ist für diese Geräte funktionskritisch.</li> <li>• Anwendungsszenarien mit einer extrem hohen Anzahl von Endgeräten sind unter anderem Sensoren, z.B. in Kleidungsstücken und <i>Wearables</i> (z.B. Fitnessarmbänder), die zudem auf sehr lange Batterielaufzeiten angewiesen sind.</li> </ul>

Tabelle 1: Anforderungen und Anwendungsbeispiele ausgewählter Anwendungsbereiche

<sup>15</sup> Vgl.: <http://www.3gpp.org/DynaReport/22863.htm>, letzter Aufruf: 26.05.2017.

<sup>16</sup> Vgl.: <http://www.3gpp.org/DynaReport/22862.htm>, letzter Aufruf 26.05.2017.

## 2.2

### 5G-ANWENDUNGSFELDER MIT POTENZIAL FÜR DIE KOMMUNALE INFRASTRUKTUR

5G ist nicht einfach eine neue Versionsnummer für die nächste Mobilfunkgeneration, 5G bietet neue Möglichkeiten in vertikalen Märkten wie dem Gesundheitsbereich, dem Energiesektor und der Automobilbranche, die sich mit 4G nicht verwirklichen lassen. 5G birgt daher zwar neue Umsatzpotenziale für die Mobilfunkbetreiber, auf der anderen Seite entstehen jedoch hohe Kosten für Lizenzen

und den Netzausbau. Welche Anwendungen sich mit 5G als Grundlage am Markt durchsetzen und erfolgreich sein werden, ist heute noch nicht absehbar. Die Potenziale sind jedoch immens. Im Folgenden wird exemplarisch anhand des Automobilbereichs, des Gesundheitsbereichs und der Industrie 4.0 aufgezeigt, was 5G leisten kann und welches Potenzial sich daraus für Kommunen ergibt.

#### 2.2.1

### INTELLIGENTE VERKEHRSSYSTEME UND AUTONOMES FAHREN

Die Urbanisierung unserer Städte wird mit einem beschleunigten Tempo fortschreiten, die Anpassungsfähigkeit der Verkehrsströme muss effizienter, zuverlässiger und flexibler werden. Auch der weiter zunehmende Anteil älterer Verkehrsteilnehmer muss bei zukünftigen Planungen und technologischen Entwicklungen Berücksichtigung finden. Ein wesentlicher Lösungsweg sind Intelligente Verkehrssysteme<sup>17</sup>, bei denen die Fahrzeuge und auch die immobile Infrastruktur (Straßen, Laternen, etc.) mit Sensoren ausgerüstet sind, um autonomes Fahren zu ermöglichen. Die zunehmend forcierte Entwicklung in diesem Bereich stellt besondere Anforderungen an die Mobilfunk- und Telekommunikationsinfrastrukturen. Um die einzelnen Stufen<sup>18</sup> auf dem Weg zum vollständig autonomen Fahren möglichst rasch durchlaufen zu können und dabei die Anforderungen an die Verkehrssicherheit zu erfüllen, wird eine lückenlose und leistungsfähige 5G-Abdeckung der Verkehrsinfrastruktur zukünftig eine wichtige Voraussetzung sein.

Für die verschiedenen Arten der Kommunikation eines Fahrzeugs mit seiner Umgebung wird eine Reihe von Abkürzungen verwendet: Unter dem Kürzel

V2X (Vehicle to Everything) wird die Kommunikation eines Fahrzeugs (vehicle, V) mit einem Empfänger (X) zusammengefasst. Das X steht für verschiedene Systeme, mit denen das Fahrzeug kommunizieren kann:

- mit anderen Fahrzeugen (V2V)
- mit Verkehrsinfrastruktur (Infrastructure, V2I)
- mit anderen Netzen (Networks, V2N)
- mit Fußgängern (Pedestrians, V2P)

V2X ermöglicht eine ganze Reihe von Anwendungsfällen, die das Fahren sicherer und komfortabler machen und den Verkehrsfluss optimieren, bis hin zum autonomen Fahren.

Bereits heute hat sich eine Reihe von Systemen zur Fahrerunterstützung in den Fahrzeugen etabliert. Hierzu gehören Kameras und Radarsysteme zur Abstandsmessung, die die Sicherheit beim Autofahren verbessert haben. Während der Bremsweg an physikalische Grenzen gekoppelt ist, kann die Reaktionszeit technologiegestützt auf ein Minimum gesenkt werden. Die Funktion dieser Sensoren ist jedoch von der Sichtverbindung zu anderen Fahrzeugen

<sup>17</sup> Vgl.: <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/ivs-im-strassenverkehr.htm>, letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>18</sup> Vgl.: Fraunhofer-Fokus-Studie, S. 25ff. und <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/automatisiertes-fahren.html>, letzter Aufruf 26.05.2017.

abhängig. Während dies bei vorausfahrendem oder folgendem Verkehr gesichert ist, stellt kreuzender Verkehr für diese Systeme noch eine große Herausforderung dar.

Durch V2X-Technologie wird es möglich, Sensordaten zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur auszutauschen, wodurch die Wahrnehmung der Umgebung um ein Vielfaches verbessert wird und der Ausfall von Sensoren an einem Fahrzeug durch die Daten anderer Verkehrsteilnehmer kompensiert werden kann. So ist das plötzliche Abbremsen eines vorausfahrenden Fahrzeuges nicht mehr rein visuell (am aufleuchtenden Rücklicht) oder durch das Abstandsradar des eigenen Fahrzeuges erkennbar, sondern wird ohne Zeitverzögerung an die folgenden Fahrzeuge übermittelt. Das Unfallrisiko sinkt mit dieser Technologie deutlich.

Das vernetzte Fahrzeug ist nicht erst mit 5G möglich. Schon in LTE-V2X ist die V2X-Kommunikation implementiert.<sup>19</sup> 5G wird jedoch völlig neue Möglichkeiten schaffen. Durch deutlich geringere Latenzzeiten und eine höhere Verfügbarkeit werden auch Anwendungen wie kooperatives autonomes Fahren realisierbar. Die höhere Ausfallsicherheit in 5G-Netzen im Vergleich zu 4G entsteht durch die gleichzeitige Verbindung zu verschiedenen Frequenzbändern. Das Entfernen aus dem Sendebereich einer bestimmten Frequenz führt daher nicht zwingend zu einem Verbindungsabbruch, sofern auch eine Verbindung zu anderen Mobilfunkfrequenzen besteht.

Für Kommunen entstehen durch intelligente Verkehrssysteme Potenziale im Verkehrsmanagement und in der Verkehrssicherheit. Durch vernetzte Verkehrsteilnehmer wird eine intelligente Echtzeit-

Verkehrssteuerung als Teil eines aktiven regionalen Verkehrsmanagements ermöglicht. Durch die Erfassung und Auswertung von Mobilitätsdaten, die Berechnung von Verkehrssteuerungsmaßnahmen und die Übermittlung dieser Daten an die Verkehrsteilnehmer können Staus zu Stoßzeiten vermieden, Informationen zu Baustellen oder Unfällen in Echtzeit an die Verkehrsteilnehmer kommuniziert und durch eine dynamische Lenkung der Verkehrsströme eine optimale Auslastung der Verkehrswege erzielt werden. Diese Systeme erfordern ein dichtes Netz von Sensoren zur ständigen Erfassung der Verkehrslage sowie vernetzte digitale Verkehrsleitsysteme, wie z.B. digitale Beschilderungen und Ampelanlagen. Um diese Systeme für eine intelligente Verkehrssteuerung zu ermöglichen sind daher die nötigen Netzkapazitäten bzw. Zugangsmöglichkeiten zu passiven Infrastruktureinrichtungen vorzuhalten.

An einem Abschnitt der A 9 zwischen den Anschlussstellen Nürnberg-Feucht und Greding wird 5G bereits von einem Industrieübergreifendem Konsortium getestet.<sup>20</sup> In dem Projekt 5G ConnectedMobility werden mit einem 700 MHz-Testnetz ein Streckenabschnitt der Autobahn und die angrenzende Bahnschnellfahrstrecke versorgt. Für die Anbindung wird die Glasfaser-Infrastruktur der örtlichen Straßenbehörde (ABDN) und der Deutschen Bahn genutzt. Das 5G-Mobilfunknetzwerk erlaubt Tests von Echtzeitanwendungen unter extremen Netzwerklasten und sehr hohen relativen Geschwindigkeiten der Netzteilnehmer. Geplant sind Fallstudien zur V2V- und V2I-Kommunikation und zu neuen Methoden der Verkehrsinformationsübermittlung in Echtzeit. Die Ergebnisse werden in die internationalen Standardisierungsprozesse eingebracht.

<sup>19</sup> [http://www.5gamericas.org/files/2914/7769/1296/5GA\\_V2X\\_Report\\_FINAL\\_for\\_upload.pdf](http://www.5gamericas.org/files/2914/7769/1296/5GA_V2X_Report_FINAL_for_upload.pdf), letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>20</sup> [https://www.ericsson.com/de/news/161116\\_5G\\_Connected\\_Mobility\\_press\\_release\\_german\\_version\\_10\\_11\\_2016\\_final\\_clea\\_273271494\\_c?localOnly=true](https://www.ericsson.com/de/news/161116_5G_Connected_Mobility_press_release_german_version_10_11_2016_final_clea_273271494_c?localOnly=true), letzter Aufruf 26.05.2017.

## 2.2.2

### E-HEALTH

5G-Mobilfunk ermöglicht eine neue Qualität von E-Health-Diensten, auch Telemedizin-Anwendungen genannt. Durch die Etablierung von 5G ist hochwertige und gleichwertige medizinische Versorgung dezentral auch in ländlichen, dünn besiedelten Regionen möglich. Es wird möglich, Patienten in ihrem Wohnumfeld besser und mit geringen Kosten zu versorgen. Nicht zuletzt durch den demografischen Wandel ist in diesem Markt mit einem erheblichen Wachstum zu rechnen.

Zu den typischen mobilen E-Health-Anwendungen zählen Dienste zur Überwachung und Analyse von Vitalfunktionen, beispielsweise bei Patienten mit Herzerkrankungen. Dies kann sowohl zur Prävention erfolgen, aber auch im Zuge der Rehabilitation von Patienten, z.B. nach einer Operation. Basierend auf der Analyse dieser Vitaldaten ist es ebenfalls vorstellbar, die Medikation des Patienten durch entsprechende Geräte entweder automatisch oder durch einen Arzt in Echtzeit zu steuern. Dabei spielen entsprechende Sensoren zur Überwachung eine wichtige Rolle. Durch den Einsatz dieser Technologien können Krankenhausaufenthaltszeiten verkürzt werden, zeitgleich steigt die Sicherheit für die Patienten, da mögliche Komplikationen durch eine permanente Sensorüberwachung und die Analyse durch medizinische Cloud-Services frühestmöglich erkannt werden können.

Während viele mobile E-Health-Dienste mit bestehenden Mobilfunktechnologien umgesetzt werden können, werden bestimmte Anwendungen erst durch flächendeckende 5G-Netze möglich. Dienste, die eine hochgradig stabile Verbindung mit sehr geringer Signallaufzeit erfordern (URLLC) gehören hierzu. Dies kann z.B. für die Videokommunikation oder die Fernsteuerung von medizinischen Robotern im mobilen Einsatz der Fall sein. Hochqualitative, hochauflösende mobile Videokommunikation gehört zu den so genannten eUMB-Diensten, die sehr hohe Anforderungen an die Datenübertragungsrate stellen. Die notwendige Datenübertragungsrate kann

von bestehenden Mobilfunktechnologien häufig nicht zufriedenstellend bereitgestellt werden. Dies liegt u.a. daran, dass im bestehenden Mobilfunk eine Priorisierung von einzelnen Diensten und Teilnehmern nur eingeschränkt möglich ist. Hier müssen sich E-Health-Anwendungen ggf. die verfügbare Datenübertragungsrate der Funkzelle mit allen anderen Teilnehmergeräten teilen. Mit 5G werden neue Quality-of-Service-Funktionen eingeführt. Dies ermöglicht Netzbetreibern, medizinische Anwendungen bei Bedarf zu priorisieren oder ihnen definierte Mindestleistungsparameter zu garantieren.

Nicht zuletzt stellt die Fähigkeit von 5G-Mobilfunk, stabile Verbindungen auch bei hohen Bewegungsgeschwindigkeiten der Teilnehmer gewährleisten zu können, eine wichtige Voraussetzung für medizinische Einsatzbereiche dar. So können Dienste beispielsweise auch während der Fahrt mit Zug oder Auto zuverlässig angeboten werden.

Eine mögliche Beispiel-Anwendung, die gleich mehrere dieser neuen technischen Anforderungen voraussetzt, ist ein digitalisierter Krankenwagen. Für eine frühzeitig optimale Behandlung des Patienten noch auf dem Weg zum Krankenhaus kann mittels der Übertragung von Vital- und Video-Daten aus dem Krankenwagen fachärztlicher Rat eingeholt oder auch ein Spezialist direkt per Videokommunikation in den Krankenwagen zugeschaltet werden. Hierdurch kann gerade in ländlichen Räumen mit vergleichsweise weiten Distanzen zu spezialisierten Kliniken die Qualität der Versorgung entscheidend verbessert werden.

Durch die Möglichkeiten neuer mobiler E-Health-Anwendungen bleiben sowohl städtische Räume als auch ländliche Kommunen für ältere Menschen, chronisch kranke Patienten oder auch für Menschen mit gesundheitlichen Risiken als Wohn- und Arbeitsort attraktiv. Durch moderne Behandlungsansätze können die Aufenthaltszeiten in Krankenhäusern gesenkt und damit knappe Kapazitäten entlastet werden.

## 2.2.3

### INDUSTRIE 4.0

Produktionsprozesse unterliegen heute einem starken Wandel, den man auch als Vierte Industrielle Revolution bezeichnet. Im deutschsprachigen Raum wird dieser Wandel mit dem Begriff Industrie 4.0 umschrieben. Die Revolution liegt nicht nur in der Digitalisierung der Produktionsprozesse; die Vision ist das vollständig vernetzte Unternehmen vom Lieferanten über die Steuerung der Produktionsanlagen bis hin zum Kunden. Ein Kerngedanke der Industrie 4.0 ist es, industrielle Produktionsprozesse mit moderner Kommunikationstechnik zu verbinden, mit dem Ziel einer sich selbstorganisierenden Produktion. Der Produktionsprozess wird dadurch effizienter und effektiver in Hinblick auf eine komplett bedarfsgesteuerte und individualisierbare Fertigung.

Eine der Industrie 4.0-Schlüsseltechnologien wird der Mobilfunkstandard 5G. Das Zusammenspiel von Kommunikationssystem und industriellen Steuerungsprozessen stellt enorme Anforderungen an die Latenzzeit, also an die Zeitverzögerung bei der Datenübertragung. Die 5G-Technologie trägt hier zu einer deutlichen Absenkung bei. Wichtig sind zudem eine sichere Datenübertragung und eine sehr hohe Ausfallsicherheit. Mit dem Mobilfunkstandard 5G werden erstmals die technischen Anforderungen

erfüllt, um eine (ausfall-)sichere Echtzeitübertragung in Produktionsprozessen mit Mobilfunk zu realisieren und eine geografisch verteilte, sehr große Anzahl an Sensoren, fahrerlosen Transportsystemen und Aktoren zu steuern.

Das Thema Industrie 4.0 stellt dadurch einen ganzen Katalog an Anforderungen, der in verschiedene Anwendungsbereiche hineinreicht, die mit der 4. Mobilfunkgeneration nicht umsetzbar sind. Extrem schnelle und ausfallsichere Produktionsschritte fallen in den Bereich URLLC, die große Anzahl an kommunizierenden Sensoren und Aktoren stellt Anforderungen im Bereich mMTC. Um die Entwicklung voranzutreiben wurden verschiedene 5G-Laboratorien etabliert, u. a. das 5G LAB Germany in Dresden an der Technischen Universität<sup>21</sup> sowie an der RWTH Aachen das 5G Application Lab<sup>22</sup>. Hier wird die 5G-Technik im Hinblick auf praxisnahe Anwendungsfälle getestet.

Im Zuge der Industrie 4.0-Revolution verändern sich auch die Faktoren für Standortentscheidungen von Unternehmen. Die Kommunikationsinfrastruktur erhält eine noch stärkere Bedeutung, wenn sie Grundvoraussetzung für digitalisierte Produktionsprozesse ist.

## 2.3

### 5G-STANDARDISIERUNG UND ZEITPLAN

Die Etablierung einer neuen Mobilfunktechnologie ist nicht kurzfristig realisierbar. In der Regel vergehen mehrere Jahre, bis eine neue Technologie ausgebaut und kommerziell genutzt werden kann. Bis zur Marktreife sind verschiedene Arbeitsschritte notwendig, angefangen bei der Spezifizierung der genauen Anforderungen an die Technologie bis hin zum technischen Ausbau der Netze und der Herstellung der Endgeräte. An diesen Prozessen sind viele verschiedene Akteure, nationale und internationale Gremien, Industrie und Politik beteiligt. Die Zeitpläne der ITU

und des 3GPP geben einen Anhaltspunkt, wann in etwa mit dem Ausbau der 5G-Netze zu rechnen ist.

Die technischen Anforderungen der 5. Mobilfunkgeneration werden durch die Empfehlungen der Internationalen Fernmeldeunion ITU (genauer: deren Funksektor ITU-R) definiert, die auch die Empfehlungen für die bisherigen Mobilfunkgenerationen ausgearbeitet hat. Die Bundesnetzagentur (BNetzA) vertritt innerhalb der ITU die Interessen Deutschlands in den verschiedenen Arbeitsgruppen. Bereits seit

<sup>21</sup> <http://5glab.de/>, letzter Aufruf 29.05.2017.

<sup>22</sup> <https://www.springerprofessional.de/unternehmen---institutionen/sensorik/fir-intensiviert-forschung-an-5g-basierter-logistik/11093396>, letzter Aufruf 26.05.2017.

2012 werden die Grundlagen für 5G im Rahmen des „IMT for 2020 and beyond“-Programms bei der ITU erarbeitet. Die fünfte Mobilfunkgeneration wird nun auf der Grundlage von IMT-2020 entwickelt, das die technischen Leistungsdaten für 5G enthält. Aktuell befindet sich IMT-2020 noch in der Entwicklung; mit einer Finalisierung wird im Jahr 2020 gerechnet.<sup>23</sup> Die Leistungsdaten liegen in einer fortgeschrittenen Entwurfsversion<sup>24</sup> vor, die für eine erste Orientierung im Thema bereits herangezogen werden können. Insgesamt wird für die finale Version nur mit leichten Änderungen der bereits verfügbaren Parameter gerechnet.

Im Vergleich zum 4G-Standard (IMT-Advanced) wurden die Datenraten bei IMT-2020 deutlich erhöht und gleichzeitig die Latenzzeit verringert. Zudem enthalten die IMT-2020-Vorgaben unter anderem Mindestanforderungen für die Energieeffizienz, die Datenrate und Spektraleffizienz für verschiedene Geschwindigkeiten, mit denen sich ein mobiler Netzteilnehmer im Raum bewegt, die deutlich über den bisherigen Anforderungen liegen. Abbildung 2 zeigt

die für 5G formulierten technischen Mindestanforderungen und wie weit diese über die 4G-Spezifikationen hinausgehen.

Die Standardisierung und Ausarbeitung von technischen Spezifikationen der IMT-2020-Anforderungen wird maßgeblich vom 3GPP umgesetzt. Ziel des 3GPP ist es, im Rahmen der Standardisierung die technischen Details der Mobilfunktechnik so präzise zu beschreiben, dass eine fehlerfreie Funktion der Endgeräte in den Mobilfunknetzen gesichert ist. Meilensteine sind dabei die so genannten 3GPP Releases. Darin werden die technischen Details einer Mobilfunktechnik beschrieben, z. B. Long Term Evolution (LTE) im Release 8 und LTE-Advanced im Release 10.

Die 5G-Standardisierung wird in zwei Phasen stattfinden und auf die Releases 15 (Phase 1) und 16 (Phase 2) verteilt. Der Zeitplan der 3GPP Standardisierung sieht eine Fertigstellung des Release 15 gegen Ende 2018 vor. Darin werden erste 5G-Anwendungen spezifiziert. Ende 2019 ist das finale Release 16 geplant, in dem alle 5G-Anforderungen umgesetzt werden.

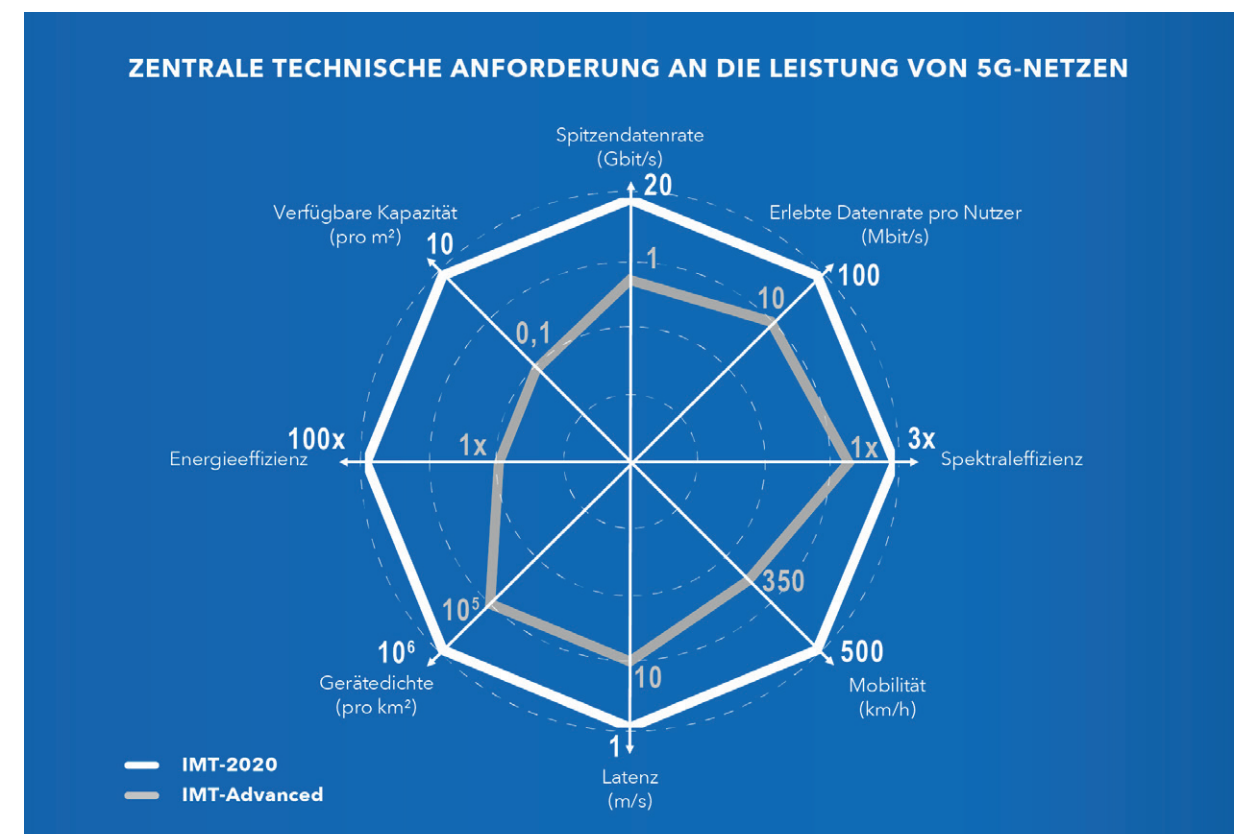


Abbildung 2: Einige zentrale technische Mindestanforderungen an die Leistung von 5G-Netzen nach IMT-2020 im Vergleich mit 4G (IMT-Advanced) Quelle: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-!!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-!!!PDF-E.pdf) (letzter Aufruf 20.05.2017)

<sup>23</sup> Vgl.: <http://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/2017-PR04.aspx>.

<sup>24</sup> Draft new Report ITU-R M.[IMT-2020.TECH PERF REQ] - Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s). Quelle: <https://www.itu.int/md/R15-SG05-C-0040/en>.



## 2.4

### GEPLANTE 5G-FREQUENZEN

Für die Einführung einer neuen Mobilfunktechnologie müssen den Netzbetreibern neue Frequenzbereiche für die Datenübertragung zwischen Mobilfunksender und Endgerät zur Verfügung gestellt werden. Eine neue Mobilfunktechnologie wird zusätzlich zu bestehenden Mobilfunknetzen implementiert. Die bereits genutzten Frequenzen werden auch weiterhin für die vorhandenen Netze benötigt und stehen für die neue Technik nicht zur Verfügung.

Neben der ITU ist auf europäischer Ebene die CEPT<sup>25</sup> an dem Abstimmungsprozess beteiligt. Dies soll langfristig zu einem nach Möglichkeit welt- oder zumindest europaweit harmonisierten Frequenzplan führen, um Endgeräte auch über Landesgrenzen hinweg nutzen zu können. Die Abstimmung über die Nutzung von Frequenzbereichen erfolgt auf der alle vier Jahre tagenden Weltfunkkonferenz.

Für den 5G-Ausbau stehen unter anderem drei so genannte Pionierbänder, 700 MHz, 3,4-3,8 GHz und 26 GHz zur Diskussion, mit denen unterschiedliche spezifische technische Anforderungen umgesetzt werden können. Die 5G-Nutzung der genannten Frequenzen wird von der BNetzA vorgeschlagen<sup>26</sup> und durch die Radio Spectrum Policy Group (RSPG) der Europäischen Kommission unterstützt.<sup>27</sup> Mit der Einführung von 5G werden neue Modelle im Bereich der Frequenznutzung wahrscheinlich. Neben der Nutzung von exklusiv lizenzierten Spektren lassen sich für 5G-Netze auch unlizenzierte Frequenzbereiche je nach Bedarf und Verfügbarkeit verwenden.<sup>28</sup>

Erste Festlegungen, welche Frequenzbänder für 5G genutzt werden, sind auf der Weltfunkkonferenz 2019 (WRC-19) zu erwarten. Im Folgenden werden kurz die

aktuell zur Diskussion stehenden Frequenzbänder und ihre voraussichtliche Verfügbarkeit dargestellt.

Der **700 MHz-Bereich** wird derzeit noch für DVB-T verwendet und wird mit der Umstellung auf DVB-T2 bis 2020 in mehreren Schritten für den Mobilfunk frei werden. Der Europäische Rat hat bereits einen Beschluss angenommen, der sicherstellt, dass in allen EU-Mitgliedstaaten Mobilfunkbetreiber bis zum 30. Juni 2020 den alleinigen Zugang zum 700-MHz-Band (694-790 MHz)<sup>29</sup> erhalten. Im Bereich 700 MHz steht zweimal 30 MHz-Frequenzduplex (engl. frequency division duplex, FDD) zwischen 703 und 733 und zwischen 758 und 788 MHz für die Mobilfunknutzung zur Verfügung. Dieser Bereich wurde im Juni 2015 in abstrakt versteigerten Frequenzblöcken den drei Mobilfunknetzbetreibern zugeordnet.<sup>30</sup> Die sogenannte Mittenlücke zwischen 738 und 753 MHz steht für einen Supplementary Downlink (SDL) zur Diskussion. Der **Frequenzbereich 3,4-3,8 GHz** könnte nach einer Defragmentierung eine zusammenhängende Kanalbandbreite von 400 MHz bieten. Die Bereitstellung der Frequenzen soll laut BNetzA in 5-MHz-Blöcken oder einem Vielfachen davon erfolgen. Die Frequenznutzungsrechte im Bereich 3,4-3,8 GHz laufen zum 31. Dezember 2021 bzw. 31. Dezember 2022 aus.<sup>31</sup> Damit werden eine zeitnahe Bereitstellung und die Realisierung initialer 5G-Anwendungen möglich.

Der Frequenzbereich **oberhalb von 6 GHz** wird zurzeit hauptsächlich für Richtfunkanwendungen und Abstrahlungen von Satelliten genutzt. Über 6 GHz stehen verschiedene Frequenzbänder zur Verfügung, die über sehr große Kanalbandbreiten verfügen. Diese Frequenzbereiche eignen sich daher für Enhanced Ultra Mobile Broadband (eUMB)-Anwen-

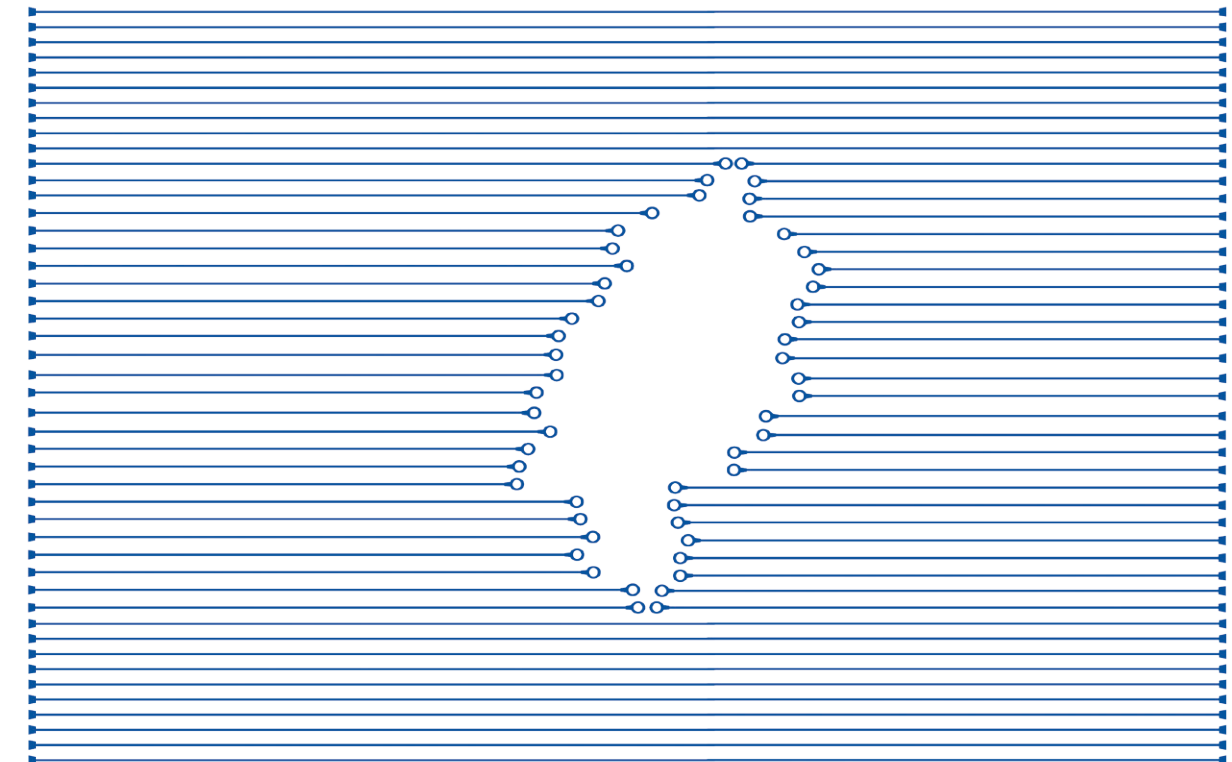
dungsszenarien (vgl. Kapitel 2.1), hier werden die in der 5G-Spezifikation genannten Spitzendatenraten von 20 Gbit/s möglich. Eines der Frequenzbänder ist das 26GHz-Band (24,25 GHz bis 27,5GHz), das von der Radio Spectrum Policy Group (RSPG) als Pionierband für 5G-Anwendungen identifiziert wurde.<sup>32</sup>

In den Orientierungspunkten der BNetzA werden noch zwei weitere Frequenzbereiche für den 5G-Ausbau als geeignet und in absehbarer Zeit verfügbar deklariert. Der **Bereich 2 GHz** beinhaltet zwei Frequenzblöcke zwischen 1.920,0 und 1.980,0 MHz sowie 2.110,0 und 2.170,0 MHz. Damit stehen insgesamt zweimal 60 MHz zur Verfügung. Die Frequenznutzungsrechte im Bereich 2 GHz laufen zum 31. Dezember 2020 bzw. 31. Dezember 2025 aus. Neben dem 26 GHz Band wird auch das **28 GHz-Band** (27,8285 bis 28,4445 GHz sowie 28,9485 bis

29,4525 GHz) für 5G im hochfrequenten Bereich von der BNetzA vorgeschlagen.

Nach der Resolution ITU-R 238 werden im Millimeterpektrum auch die Frequenzbereiche 37-40,5 GHz, 42,5-43,5 GHz, 45,5-47 GHz, 47,2-50,2 GHz, 50,4-52,6 GHz, 66-76 GHz und 81-86 GHz im Hinblick auf die Nutzung für Mobilfunk in Betracht gezogen.<sup>33</sup>

Der ITU-R-Bericht M.2290<sup>34</sup> geht in seinen Berechnungen davon aus, dass bis 2020 ein Frequenzspektrum von mindestens 1.340 MHz für mobile Datenübertragungen zur Verfügung stehen muss, um den Anforderungen an das Netz der Zukunft in Bezug auf Datenvolumen und Latenz zu genügen.



<sup>25</sup> Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications (CEPT; deutsch: Europäische Konferenz der Verwaltungen für Post und Telekommunikation).

<sup>26</sup> Vgl.: [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/Orientierungspunkte.pdf](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/Orientierungspunkte.pdf), letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>27</sup> Vgl.: [http://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/RSPG16-032-Opinion\\_5G.pdf](http://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/RSPG16-032-Opinion_5G.pdf), letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>28</sup> Vgl.: [http://plattform-digitale-netze.de/app/uploads/2016/06/151105\\_Pf1\\_007\\_FG3\\_Rahmenbedingungen\\_5G.pdf](http://plattform-digitale-netze.de/app/uploads/2016/06/151105_Pf1_007_FG3_Rahmenbedingungen_5G.pdf), letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>29</sup> Vgl.: <http://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2017/04/25-mobile-connectivity-5g-technology/>, letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>30</sup> Vgl.: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Projekt2016\\_Frequenzauktion/projekt2016-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Projekt2016_Frequenzauktion/projekt2016-node.html), letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>31</sup> Vgl.: [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/Kompasspapier.pdf](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/Kompasspapier.pdf); jsessionid=614157ABE431327AEDCC874A4E894A30?\_\_blob=publicationFile&v=1, letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>32</sup> Vgl.: RSPG16-032, „Strategic Roadmap towards 5G for Europe“, letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>33</sup> Vgl.: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/oth/0c/0a/R0C0A00000C0014PDFE.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0c/0a/R0C0A00000C0014PDFE.pdf), letzter Aufruf 26.05.2017.

<sup>34</sup> Vgl.: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2290-2014-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2290-2014-PDF-E.pdf), letzter Aufruf 26.05.2017.

### 3

## INFRASTRUKTURELLE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR 5G

Mit dem flächendeckenden Roll-out von 5G werden neue Anforderungen an den Ausbau der Netzstruktur von schnellen Glasfasernetzen gestellt. Gerade im ländlichen und halbstädtischen Bereich werden Glasfasernetze als Transfernetz für die schnellen 5G-Übertragungen gebraucht.

Die Verteilung von Mobilfunkstandorten verändert sich durch die Einführung von 5G von wenigen zentralen Standorten zu vielen dezentralen Standorten. Die gleichzeitige Kommunikation der 5G-Endgeräte zu mehreren Standorten mit unterschiedlichen Frequenzen und unterschiedlichen Mobilfunkzellgrößen wird dazu führen, dass die hierfür notwendigen Mobilfunkstandorte immer näher an den Kunden gebracht werden müssen.

5G erfordert in absehbarer Zeit eine starke Verdichtung der Funkzellen und damit der Standorte, um ein Netz zu schaffen, das den zukünftigen Anforderungen der mobilen Versorgung genügt. Dies betrifft sowohl die Anforderungen hinsichtlich des Datenvolumens, das durch Mobilfunknetze heute und in Zukunft abgewickelt werden muss, also auch die Anforderungen neuer Anwendungsfelder im Bereich Latenz, aber auch die Frage nach der Verfügbarkeit der Netze in der Fläche. Um die Einführung von 5G zu erleichtern ist aktuell ein Umdenken bei der Planung von Festnetzprojekten notwendig, sei es durch Anbindung von zusätzlichen Standorten per Glasfaser oder durch die Schaffung von Bauraum in den Versorgungsstrukturen (z. B. Verteilerkästen), die auf Glasfasernetzebene 5G-Mobilfunkstandorte möglich machen.

### 3.1

## 5G-FREQUENZEN BILDEN DEN RAHMEN FÜR INFRASTRUKTURÜBERLEGUNGEN

Für den Ausbau von 5G werden neue Frequenzbereiche mit unterschiedlichen Zellgrößen für den Mobilfunk erschlossen, die neue Herausforderungen im Netzwerkmanagement an die Mobilfunkbetreiber stellen. In Kapitel 2 „5G - Entwicklung einer neuen Mobilfunkgeneration“ wurden bereits Frequenzbereiche, die für 5G zur Debatte stehen, dargestellt. In Hinblick auf Infrastrukturüberlegungen sind die physikalischen Eigenschaften der geplanten 5G-Frequenzen entscheidend. Sie definieren die Rahmenbedingungen, die bei der Planung und dem Aufbau neuer Mobilfunkstandorte berücksichtigt werden müssen. Hierfür lassen sich zwei grundlegende Aussagen treffen:

1. Der Frequenzbereich ist entscheidend für die Ausbreitungseigenschaften und die Reichweite einer Funkzelle. Hier gilt: Je niedriger die Frequenz (größere Wellenlänge), desto größer der Senderradius (vgl. Abbildung 3).
2. Die Kanalbandbreite ist der entscheidende Faktor für die Datenmenge, die in einem Frequenzbereich übertragen werden kann. Hier gilt: Je höher der Frequenzbereich, desto größer sind die verfügbaren Kanalbandbreiten und damit die mögliche übertragbare Datenmenge pro Zeiteinheit (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 3 gibt einen skizzenhaften Überblick zur Entwicklung der Datenraten verschiedener 5G-Frequenzen in Abhängigkeit zur Distanz zum Sender. Grundlage dieser Projektion ist die Formel der Freiraumdämpfung (F):

$$F = 20 \log_{10}(r) + 20 \log_{10}(f) - 147,55$$

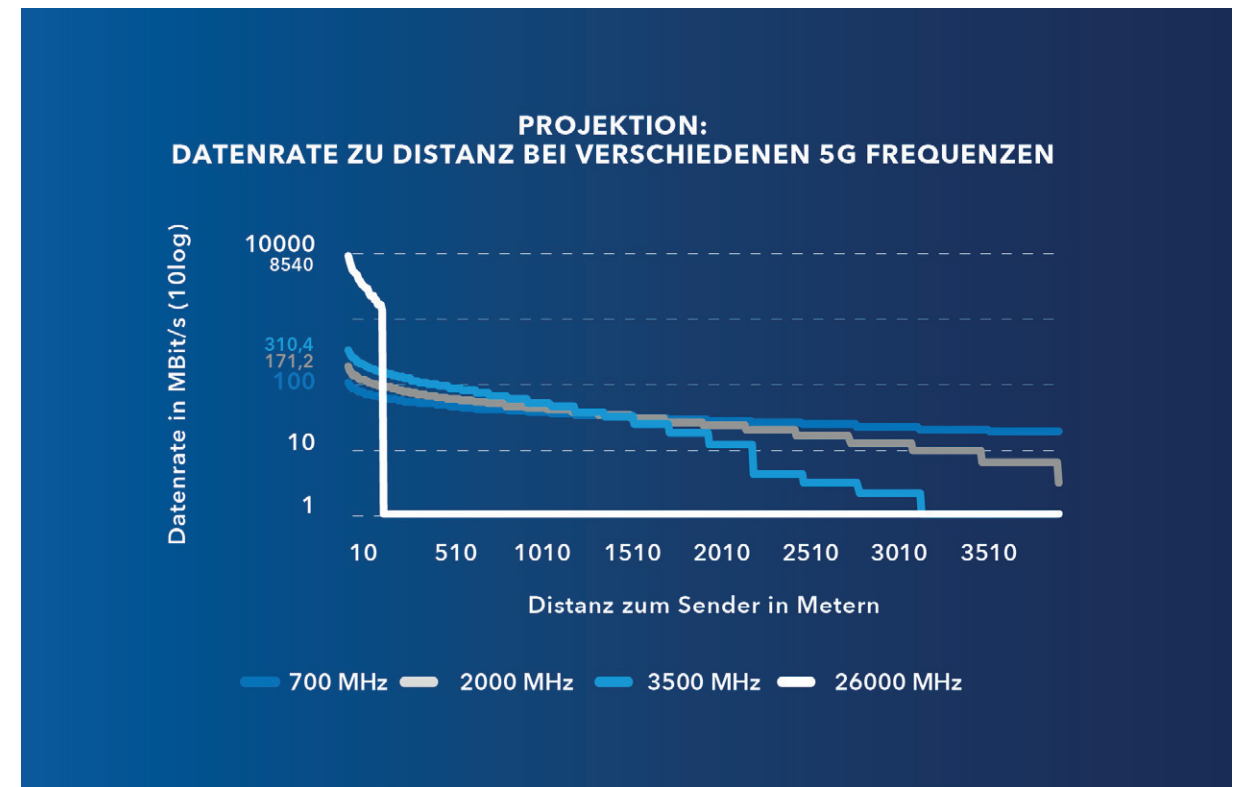


Abbildung 3: Projektion: Entwicklung der realisierbaren Datenraten verschiedener 5G-Frequenzen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Sender. (Grafik: ateneKOM)

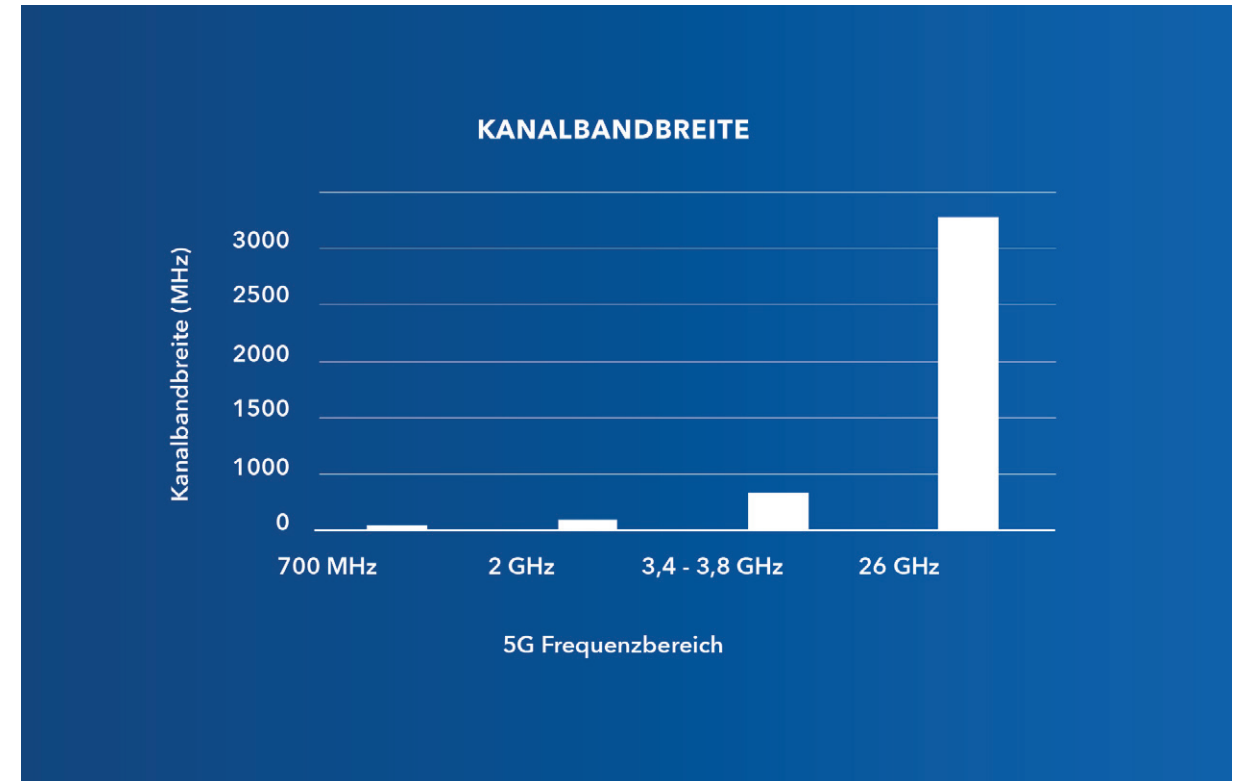


Abbildung 4: Kanalbandbreite in verschiedenen für 5G geplanten Frequenzbereichen (Grafik: ateneKOM)



Deutlich wird: In hohen Frequenzbereichen sind zwar hohe Datenraten möglich, jedoch nur auf kurzer Distanz. In niedrigen Frequenzbereichen ist dagegen eine (relativ niedrige) konstante Datenrate zu erwarten. Durch andere Modulationsverfahren sind von dieser Darstellung abweichende Datenraten möglich, die insbesondere im Nahbereich des Senders deutlich höher liegen können. Die Veränderung des Modulationsverfahrens in Abhängigkeit zur Signalqualität wird in dieser Darstellung nicht berücksichtigt.

Um die Kapazität einer Funkzelle signifikant zu erhöhen, müssen deutlich breitere Frequenzbänder (höhere Kanalbandbreiten) verwendet werden als bislang. Für die effektive Nutzung von hohen Datenraten ist es notwendig, Kanäle von mehr als 100 MHz als Trägerfrequenz zu nutzen. Für extrem große Datenmengen eignen sich Frequenzbereiche über 6 GHz, da dort entsprechend große Kanalbandbreiten zur Verfügung stehen, beispielsweise im 26 GHz-Band (vgl. Abbildung 4). Eine gesteigerte Datenrate lässt sich prinzipiell auch durch technische Entwicklungen erreichen, die die Spektraleffizienz verbessern.<sup>35</sup> Die daraus gewonnenen Kapazitätsverbesserungen sind jedoch begrenzt und unterliegen dem Shannon-Hartley-Gesetz.<sup>36</sup> Kanalbandbreiten mit denen Datenraten im zweistelligen GBit/s-Bereich übertragen werden können und die damit die eUMB Anforderungen erfüllen, stehen erst in Frequenzbereichen über 6 GHz zur Verfügung.

Neben den Frequenzbereichen, die große Kanalbandbreiten und damit hohe Datenraten ermöglichen, werden für 5G auch Frequenzbänder benötigt, die in der Fläche möglichst viele Mobilfunkteilnehmer versorgen und auch eine stabile Verbindung in Bezug auf mMTC und URLLC Anwendungsszenarien (vgl. Kapitel 2.1) sicherstellen. Geeignet sind insbesondere Frequenzbänder im niedrigen Frequenzbereich unter 1 GHz. Für 5G ist hier der 700 MHz-Bereich eingeplant.

Für Infrastrukturüberlegungen sind vor allem die Frequenzbereiche 3,4-3,8 GHz und > 6 GHz relevant, da Frequenzbänder in diesem Bereich bislang nicht für den Mobilfunk verwendet wurden und sie sich in ihren physikalischen Eigenschaften von den bereits genutzten unterscheiden. Dies trifft insbesondere auf die > 6 GHz-Frequenzbereiche zu. Hier können zwar extrem hohe Datenraten realisiert werden, allerdings sinkt die Sendereichweite: Mit steigender Frequenz wird die Dämpfung in einem definierten Abstand zum Sender größer (vgl. Abbildung 5) und die Durchdringung von Gebäuden und anderen Hindernissen zunehmend schwieriger. Das Ergebnis ist ein deutlich geringerer Senderadius für hohe Frequenzen. Höhere Frequenzbereiche werden in ihrer Leistungsfähigkeit auch stark von den Witterungsbedingungen beeinflusst. Die Werte auf der X-Achse in Meter zeigen, bis zu welchem Abstand von der Antenne eine stabile Verbindung gesichert ist. Auch hier ist zu erkennen: Je höher die Frequenz, desto geringer wird der mögliche Abstand zum Sender. Die Darstellung basiert auf den Dämpfungswerten von LTE und ist als Prognose zu verstehen; große Abweichungen davon sind auch in 5G-Netzen nicht zu erwarten.

Um eine Konnektivität der Endgeräte zu ermöglichen, werden bei der Benutzung von sehr hohen Frequenzen entweder Geräte mit einer wesentlich höheren Eingangsempfindlichkeit benötigt, was technisch nur als Evolution von Mobilfunkgeneration zu bewerkstelligen ist, oder durch eine Reduzierung der Distanz zwischen Sender und Empfänger durch die allgemeine Etablierung viel kleinerer Funkzellen (small cells).

<sup>35</sup> z. B. Massive-MIMO, Full-Duplex und neue Modulationsverfahren.

<sup>36</sup> Das Shannon-Hartley-Gesetz beschreibt die theoretische Obergrenze der wahrscheinlich möglichen erreichbaren und dabei noch fehlerfreien Datenrate eines Übertragungskanal, abhängig von der Bandbreite und dem Signal/Rausch-Verhältnis.

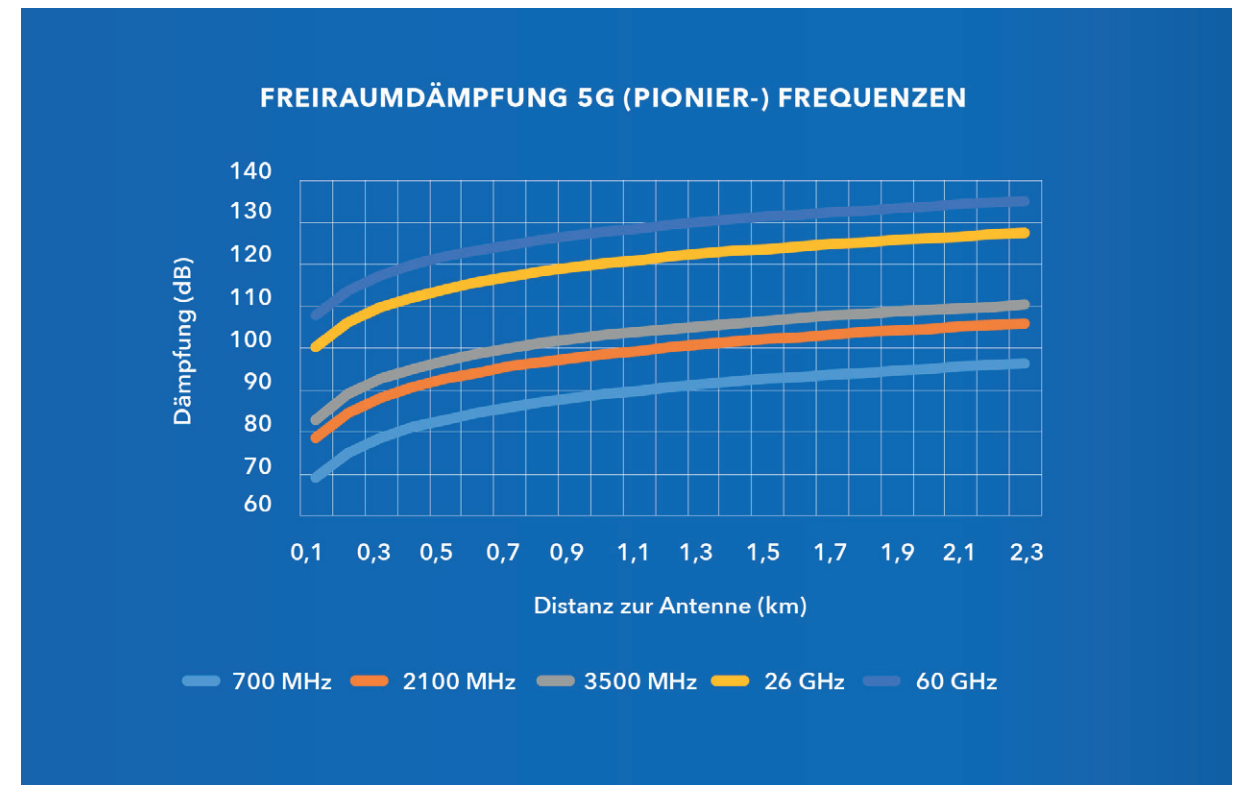


Abbildung 5: Die Dämpfungseigenschaften in Frage kommender 5G Frequenzen. (Grafik: ateneKOM)

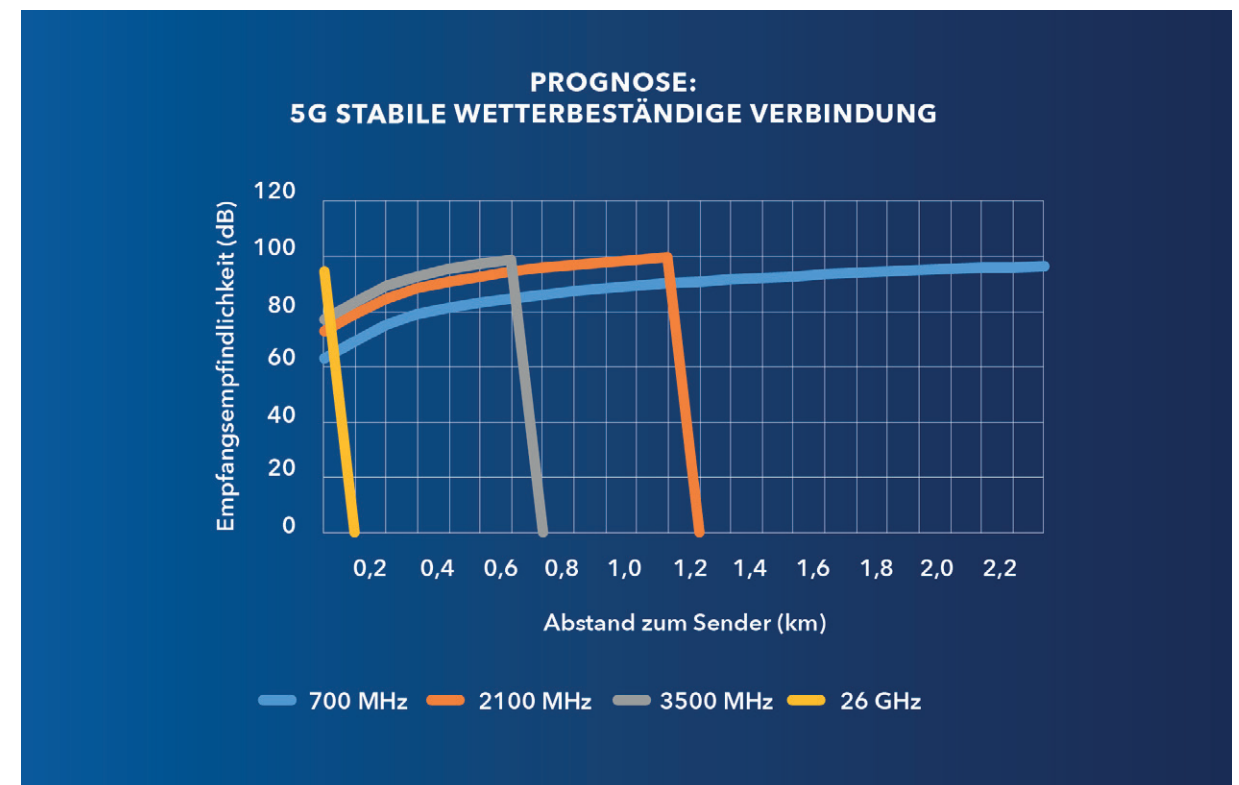


Abbildung 6: Prognose: Empfangsempfindlichkeit verschiedener Frequenzbereiche bei ungünstigen Witterungsbedingungen. (Grafik: ateneKOM)

Die Erhöhung der Sendeleistung wäre eine weitere Möglichkeit, um den Senderadius zu vergrößern. Aufgrund gesetzlicher Vorgaben zum Immissionschutz stellt dies in vielen Fällen jedoch keine realisierbare Option dar. Ab einer Sendeleistung von 10 Watt äquivalenter isotroper Strahlungsleistung (Equivalent Isotropically Radiated Power, EIRP), benötigen ortsfeste Funkanlagen eine Standortbescheinigung und es muss ein vorgeschriebener Sicherheits-

abstand zur Sendeanlage garantiert werden.<sup>37</sup> Das gilt auch für ortsfeste Funkanlagen, die erst durch die Aufrüstung mit 5G eine Sendeleistung von 10 Watt EIRP oder mehr erreichen.<sup>38</sup> Der erforderliche Sicherheitsabstand stellt für die Netzbetreiber eine Hürde dar, da er viele mögliche Standorte von vornherein ausschließt, die hierfür nicht die nötigen Anforderungen erfüllen.

700 MHz	3,4-3,8 GHz	> 6 GHz (26 GHz BAND)
<b>WANN WIRD AUSGEBAUT?</b>		
Relativ schneller Ausbau, Aufrüstung von bestehenden Sendeanlagen, die Frequenzen sind bereits zugeteilt. Die i. d. R. notwendige Beantragung einer Standortbescheinigung kann zu Verzögerungen führen.	Ein zeitnaher flächendeckender Ausbau ist nicht zu erwarten, da neue Standorte für Sendeanlagen gefunden und erschlossen werden müssen.	Da voraussichtlich nur lokal sehr begrenzt ausgebaut wird, könnte der Ausbau relativ zügig erfolgen.
<b>WO WIRD AUSGEBAUT?</b>		
Mit 700 MHz ist ein weiträumiger Ausbau geplant und realisierbar. Ballungszentren können genau wie der ländliche Raum versorgt werden.	In Ballungsgebieten, an Verkehrsknotenpunkten, Einkaufszentren, überall dort, wo die mit 4G erreichbare Bandbreite nicht ausreicht.	An Hotspots, wie Stadien, Flughäfen und Bahnhöfen oder Forschungszentren. Aber auch temporärer Aufbau bei Großveranstaltungen wie Fanmeilen.
<b>WOFÜR WIRD AUSGEBAUT?</b>		
Realisierung von 5G Anwendungen, die viele Geräte pro Fläche und sehr geringe Latenzzeiten erfordern (mMTC und URLLC), wie z. B. die intelligente Verkehrssteuerung.	Deutliche Erhöhung der Kapazität im Vergleich zu heutigen LTE-A Datenraten, um die stark ansteigenden Datenmengen in den Mobilfunknetzen durchleiten zu können.	Durchleiten extremer Datenraten (eUMB) im zweistelligen Gbit/s Bereich.
<b>WELCHEN ABSTAND HABEN DIE SENDEANLAGEN VONEINANDER?</b>		
Durch sehr gute Ausbreitungseigenschaften reichen in der Regel Abstände von mehreren Kilometern zwischen den Sendeanlagen für die Versorgung in der Fläche.	Die notwendigen Abstände sind ortsspezifisch sehr unterschiedlich, jedoch geringer als bei heutigen Anlagen, da der 3,4-3,8 GHz-Bereich schlechtere Ausbreitungseigenschaften hat als die bislang für den Mobilfunk verwendeten Frequenzbereiche.	Für eine Versorgung in der Fläche ist dieser Frequenzbereich nicht geeignet, da die Sendereichweite extrem gering ist. Es ist anzunehmen, dass Abstände von deutlich unter 100 Metern notwendig wären.

Tabelle 2: Eigenschaften der verschiedenen Frequenzbereiche

<sup>37</sup> Vgl.: [http://www.bdbos.bund.de/DE/Umwelt\\_und\\_Gesundheit/Funkstandorte/Standortbescheinigung/standortbescheinigung\\_node.html](http://www.bdbos.bund.de/DE/Umwelt_und_Gesundheit/Funkstandorte/Standortbescheinigung/standortbescheinigung_node.html), letzter Aufruf 26.05.2017.

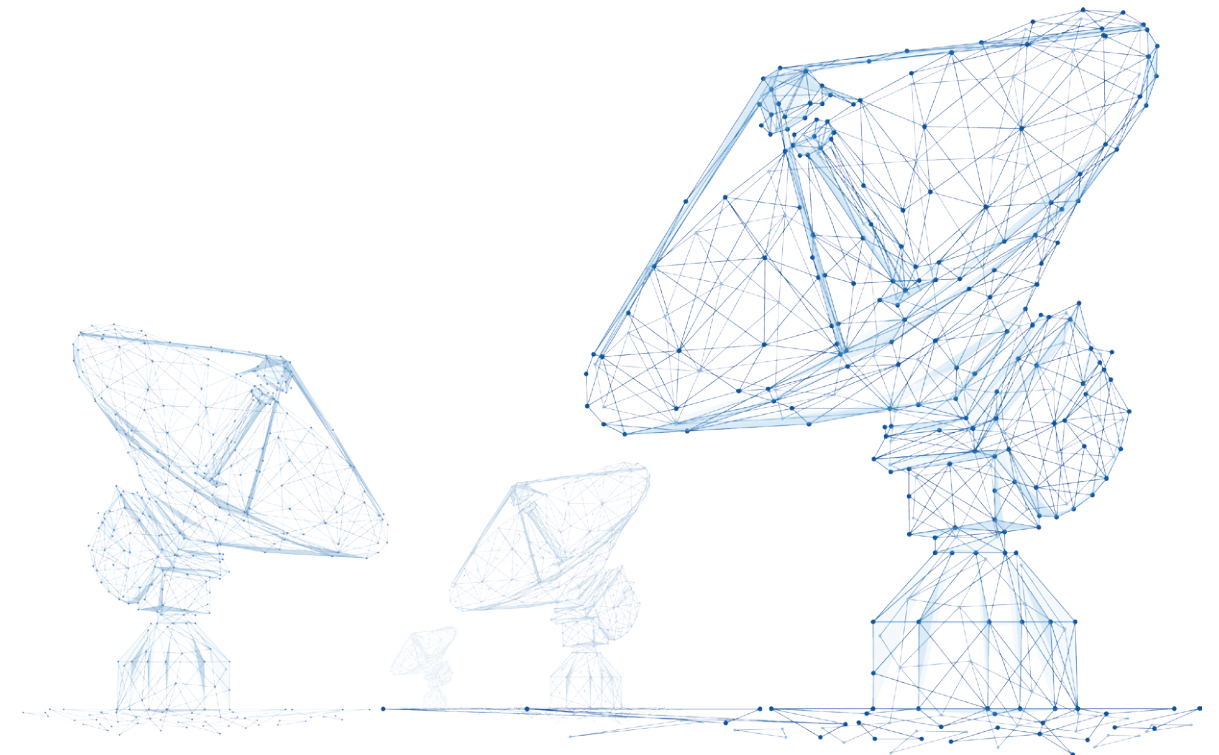
<sup>38</sup> Vgl.: [https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_26/BJNR196600996.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_26/BJNR196600996.html), letzter Aufruf 26.05.2017.

Somit wird ein Ausbauszenario mit vielen kleinen Mobilfunkzellen zum einen durch die gesetzlichen Vorgaben zum Immissionsschutz und zum anderen durch den geringen Senderadius hoher Frequenzen sehr wahrscheinlich.

Aufgrund der geringen Sendereichweite ist die Etablierung von Sendeanlagen in Frequenzbereichen über 6 GHz zunächst nur an hochfrequentierten Orten wie Bahnhöfen und Stadien oder bei Großveranstaltungen zu erwarten. Eine flächendeckende Versorgung in diesem Frequenzband würde eine extreme Verdichtung der Mobilfunkzellen und die Erschließung sehr vieler neuer Mobilfunkstandorte voraussetzen. Im städtischen Bereich wird der Einsatz des 3,4-3,8 GHz-Bereiches voraussichtlich eine größere Rolle spielen. Der Senderadius in diesem Frequenzband ist größer als im Bereich über 6 GHz und mit 400 MHz-Kanalbandbreite ist genügend Potenzial vorhanden, um den Datendurchsatz pro Flächeneinheit deutlich zu erhöhen. Die geringere notwendige Dichte der 3,4-3,8 GHz-Mobilfunkstationen im Vergleich zu > 6 GHz macht den Ausbau wirtschaftlicher.

Geringere Anforderungen an die Erweiterung der Infrastruktur stellt die Nutzung der 700 MHz-Frequenzen dar. Aufgrund des großen Senderadius können bestehende Sendeanlagen, die in vielen Fällen schon mit Glasfaser angebunden sind, aufgerüstet werden. Die Erweiterung bestehender 800 und 900 MHz-Sendeanlagen bietet eine Möglichkeit, den 700 MHz-Bereich schnell in der Fläche auszubauen. Die Reichweite ist in diesem Frequenzbereich sehr hoch, so dass eine Verdichtung der Funkzellen nicht in dem Maße notwendig sein wird. Die Kanalbandbreite ermöglicht jedoch lediglich mit LTE vergleichbare Datenraten.

In Hinblick auf die Ausbaugeschwindigkeit lässt sich daher zusammenfassend feststellen, dass zunächst der relativ schnell mögliche Ausbau von 700 MHz-Sendern zu erwarten ist. Damit werden als Erstes flächendeckend 5G-Anwendungen in den Bereichen URLLC und mMTC realisierbar. Um 5G-spezifische Datenraten (eUMB) zu erreichen und entsprechende Anwendungsszenarien umzusetzen, ist der Aufbau neuer Sendeanlagen und deren Anbindung an das Glasfasernetz notwendig.





## 3.2

### STANDORTFINDUNG AUS TECHNISCHER SICHT

Die für den 5G-Ausbau notwendige Standortverdichtung stellt die Mobilfunkbetreiber in technischer und auch wirtschaftlicher Sicht vor vollkommen neue Herausforderungen. So sind z.B. die Anforderungen der Bundesnetzagentur bezüglich der Standortanforderungen einzuhalten (siehe hierzu auch Kapitel 4.6). Die Wirtschaftlichkeit bei der Erschließung von Mobilfunkstandorten ist grundsätzlich ein nicht zu unterschätzender Faktor. Ein wesentlicher Kostenpunkt ist die Anbindung an eine funktionierende Glasfaserstruktur. Aufgrund der zu erwartenden geringen Standorthöhen für die 5G-Versorgung bieten sich Richtfunkverbindungen als Anbindung des Mobilfunkmastes im Regelfall nicht an, da nur in seltenen Fällen Sichtverbindungen zu Richtfunkmasten möglich sein werden.

Die Glasfaserinfrastruktur sollte, wenn möglich, unmittelbar oder zumindest im Radius von 30 Metern um den Mobilfunkstandort erfolgen, um die Gesamterschließungskosten gering zu halten. Je nach Erschließungslage sollten Möglichkeiten erwogen werden, oberirdische Glasfaserverteiler als Teil der Mobilfunkstruktur mit zu nutzen und in zweiter Linie auf Kleinmasten mit einer Höhe von bis zu 9 Metern auszuweichen. Hierbei ist zu bedenken, dass eine reine Glasfaserverteilung an vielen Stellen keine Stromversorgung hat, an denen ein Mobilfunksender jedoch eine Stromzufuhr benötigt. Insofern muss

eine Glasfaserplanung so weit wie möglich auch die Aspekte einer künftigen Mobilfunkversorgung auch in diesem Punkt berücksichtigen. Vorhandene Oberleitungsmasten, Straßenlaternen und weitere Standorte, an denen eine Stromversorgung möglich ist, sollten mit in die Planung einbezogen werden.

Der Nutzung vorhandener Verteilkästen dürfte im Regelfall nichts entgegenstehen, da der Anbieter beziehungsweise Vermieter der Glasfaserinfrastruktur oft auch gleichzeitig der Inhaber der Verteilkästen ist. Schwieriger wird es, wenn der Eigentümer der mitnutzbaren Infrastruktur und der Telekommunikations-Netzbetreiber nicht identisch sind, wie z.B. bei Straßenlaternen und Ampelanlagen. Hier gilt es die Vorgaben des Beihilfenrechts, sowie des Digi-Netz-Gesetzes zu beachten (siehe hierzu Kapitel 4). Das Glasfasernetz zwischen den Glasfaserverteilkästen sollte so ausgelegt sein, dass durch einen oder wenige Einspeisepunkte das gesamte Glasfasernetz des Mobilfunkbetreibers angebunden werden kann, wobei sich die Haupteinspeisung für Mobilfunk nicht an den Einspeisepunkten der weiteren Telekommunikationsinfrastruktur für Glasfaser orientieren muss. Erste Anregungen gibt hierzu das Materialkonzept des Bundes.<sup>39</sup>

Nachstehende Tabelle zeigt ein paar grundlegende Indikatoren zur Standortauswahl:



<sup>39</sup> Siehe auch <http://www.atenekom.eu/projekttraeger-breitband/downloads/?L=oyqqocflblhpoww>, letzter Aufruf 26.05.2017.

INDIKATOR	ERLÄUTERUNG
Gebäudehöhe	Die Anbringung von Sendeanlagen oberhalb von 10 Metern kann genehmigungspflichtig sein. Wenn die Sendeanlagen mehr als 10 Meter über ein genehmigtes Gebäude ragen, ist ggfs. eine zusätzliche Baugenehmigung notwendig.
Neuer Standort mit hoher Leistung	Für eine Standortbescheinigung der Bundesnetzagentur für neue Standorte mit mindestens 10 Watt (EIRP) Sendeleistung erfolgt durch die Bundesnetzagentur eine Standortbewertung. Hierbei wird der Standort von der Bundesnetzagentur selbst funktechnisch bewertet und alle Funkanlagen aus dem Umkreis der neuen Funkanlage, die auf den Standort einwirken, betrachtet. Die Mindestabstände und Anforderungen an den Sendestandort können von der Bundesnetzagentur durch Messung oder rein rechnerisch ermittelt werden. Für neue Standorte mit einer Sendeleistung von weniger als 10 Watt (EIRP) ist lediglich eine Meldung an die BNetzA erforderlich.
Standortbescheinigung bereits vorhanden	Liegt eine Standortbescheinigung vor, ist der Betreiber dafür verantwortlich, dass die bescheinigte Sendeleistung eingehalten wird. Soll die Sendeleistung eines vorhandenen Standortes erhöht werden, muss vor Inbetriebnahme eine neue Bescheinigung beantragt werden.
Glasfaseranschluss vorhanden	Es ist davon auszugehen, dass mehr Fasern pro Standort benötigt werden, je höher der Frequenzbereich ist. Es ist davon auszugehen, dass ein Standort mindestens 2 Fasern benötigt. An einem Versorgungsstrang mit 20 5G-Stationen sind mindestens 40 Fasern vorzusehen oder zumindest ein entsprechend dimensionierter Bauraum. Allgemein ist es sinnvoll, eine möglichst hohe Faserreserve und ggfs. Rohrreserve vorzuhalten. Hierzu macht u. a. das Materialkonzept des Bundes Vorschläge.
Wegerecht Standortmeldung	Der Eigentümer des Gebäudes, der Freifläche oder des Standortes sollte dokumentiert werden, um eine direkte Anfrage zu ermöglichen. Es gibt zwei Möglichkeiten: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Standort wird bei der Bundesnetzagentur gemeldet.</li> <li>2. Der Standort wird bei den Standortplanern des Mobilfunkbetreibers gemeldet.</li> </ol> Hierbei sind Daten zu verschiedenen Parametern anzugeben, z. B. wie viele Fasern zur Verfügung stehen, ob ein Stromanschluss am Installationsort vorhanden ist oder ob Strom zugeführt werden kann, welche Art von Leitung zur Verfügung steht, ob es an einem vorhandenen Stromzählerpunkt bereits einen gemeldeten Nutzer gibt und ob dieser bereit ist, den Zählerpunkt durch einen Stromzähler zur erweitern, der für Abrechnungszwecke geeignet ist (MID-Konform).

Tabelle 2: Eigenschaften der verschiedenen Frequenzbereiche

Für den 5G-Ausbau sind jedoch nicht nur die infrastrukturellen Rahmenbedingungen wichtig. Für den kommunalen Infrastrukturausbau muss eine Reihe rechtlicher Aspekte beachtet werden, die im Folgenden umrissen werden.

# 4

## RECHTLICHE ASPEKTE DES 5G-AUSBAUS

Der bevorstehende 5G-Netzausbau wirft diverse rechtliche Aspekte auf, die im gegenwärtigen Stadium noch nicht mit abschließender und rechtsverbindlicher Gewissheit geklärt werden können. Die Ungewissheit ergibt sich zum einen aus der Tatsache, dass relevante EU-Gesetzgebungsverfahren noch nicht abgeschlossen sind, und zum anderen daraus, dass zu einigen Rechtsfragen, beispielsweise im EU-Beihilfenrecht, noch kein einschlägiges Fallrecht besteht, auf das man sich stützen könnte. Vor diesem Hintergrund werden die folgenden Punkte thematisiert:

- Neue rechtliche Aspekte und Anforderungen für den 5G-Netzausbau, die sich im Zusammenhang mit dem EU-Kommissionsvorschlag für eine „Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über den europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation“ ergeben könnten (nachfolgend **„EU-Kommissionsvorschlag“**).<sup>40</sup>

Der EU-Kommissionsvorschlag befindet sich gegenwärtig noch im Gesetzgebungsverfahren; die neuen Aspekte und Anforderungen werden, soweit Informationen bereits zur Verfügung stehen, unten skizziert. Dies schließt auch die EU-Kommissionsmitteilung „5G for Europe: An Action Plan“ (nachfolgend **„Aktionsplan“**) ein.<sup>41</sup>

- Beihilfenrechtliche Aspekte, die im Rahmen der Gewährung von Zugang zu kommunaler Infrastruktur zu beachten sind.

Stellt die öffentliche Hand dem Telekommunikationsmarkt ihre Infrastruktur zur Verfügung, kann es sich um eine Beihilfe bzw. Wettbewerbsverzerrung handeln. Gleiches kann für den Einsatz von Mobilfunkstationen durch kommunale Unternehmen gelten. In Kapitel 4.2 wird hierzu ausgeführt, welche beihilfenrechtlichen Überlegungen anzustellen sind und wie Lösungsansätze gestaltet werden können.

- Aspekte im Hinblick auf die Anwendung der NGA-Rahmenregelung für den 5G-Netzausbau.

Die NGA-Rahmenregelung enthält die Möglichkeit, die Anbindung von Mobilfunkstationen zu fördern. Die Rahmenbedingungen unterliegen verschiedenen, durch die EU KOM geforderten spezifischen Anforderungen.

- Rechtliche Überlegungen im Zusammenhang mit dem DigiNetzG. Die Mitverlegung von Breitbandinfrastruktur kann einen wesentlichen Faktor für den Ausbau von 5G-Netzen ausmachen.

- Weitere rechtliche Aspekte, die bei einem 5G-Netzausbau zu berücksichtigen sind.

<sup>40</sup> KOM(2016) 590 endg./2 vom 12.10.2016. Deutsche Fassung unter [https://www.umwelt-online.de/cgi-bin/parser/Drucksachen/drucknews.cgi?texte=0612\\_2D16\\_28zu\\_29](https://www.umwelt-online.de/cgi-bin/parser/Drucksachen/drucknews.cgi?texte=0612_2D16_28zu_29), letzter Aufruf 24.05.2017.

<sup>41</sup> KOM(2016) 588 endg. vom 14.9.2016. Deutsche Fassung unter [https://www.umwelt-online.de/cgi-bin/parser/Drucksachen/drucknews.cgi?texte=0538\\_2D16](https://www.umwelt-online.de/cgi-bin/parser/Drucksachen/drucknews.cgi?texte=0538_2D16), letzter Aufruf 26.05.2017.

# 4.1

## EU-KOMMISSIONSVORSCHLAG UND 5G-AKTIONSPLAN

Ein effizienter 5G-Netzausbau erfordert Flexibilität und eine gute Koordinierung beim Zugang zu Funkfrequenzen und deren Nutzung. Hierfür sind Anpassungen des Rechtsrahmens notwendig, um verbindliche und durchsetzbare Vorschriften für eine bessere Koordinierung der Frequenzverwaltung in der EU unter besonderer Berücksichtigung der Anpassung der Frequenzvorschriften an das künftige 5G-Umfeld einzuführen.

Zielsetzung der EU-KOM ist die Anpassung des Rechtsrahmens an die für eine flächendeckende Netzanbindung und den 5G-Auf- und Ausbau notwendigen Entwicklungen. Auch die Kohärenz der Aktivitäten der Mitgliedstaaten steht im Fokus, insbesondere bei Maßnahmen, die sich auf den Wettbewerb und die wirtschaftliche Regulierung beziehen. Hierbei geht es um rechtlich durchsetzbare Instrumente und einen Peer-Review-Mechanismus, der es dem Gremium Europäischer Regulierungsstellen für elektronische Kommunikation (GEREK), der EU-Kommission und den nationalen Regulierungsbehörden ermöglicht, diejenigen Elemente der nationalen Zuteilungsverfahren zu überprüfen, die größere Auswirkungen auf die Markt- und Unternehmensentwicklungen haben.

In diesem Zusammenhang werden sich auch die bevorstehenden rechtlichen Änderungen aufgrund des EU-Kommissionsvorschlags schwerpunktmäßig auf die Funkfrequenzen und die Lizenzvergabe auswirken.

So sieht beispielsweise Artikel 28 des EU-Kommissionsvorschlags eine verpflichtende Koordinierung zwischen den Mitgliedstaaten vor, um Probleme wegen grenzüberschreitender funktechnischer Störungen unter Einbeziehung der Gruppe für Frequenzpolitik (RSPG) zu beheben. Ergänzend dazu erhält die EU-Kommission Durchführungsbefugnisse für den Erlass verbindlicher Maßnahmen zur Beilegung grenzüberschreitender Streitigkeiten, unter weitgehender Berücksichtigung der Stellungnahmen der Gruppe für Frequenzpolitik.

Weiterhin gibt der EU-Kommissionsvorschlag den nationalen Regulierungsbehörden (NRB) Zuständigkeiten in Bezug auf Aspekte der Marktregulierung und der wirtschaftlichen Regulierung der Zuteilung von Funkfrequenzen für elektronische Kommunika-

tionsdienste. Außerdem werden die NRB zuständig sein für Entscheidungen über die Auferlegung außergewöhnlicher Verpflichtungen in Bezug auf die gemeinsame Nutzung von Netzen und Funkfrequenzen, und für das nationale Roaming, um Netzversorgungslücken zu schließen. Dabei müssen sich die NRB auf diesem Gebiet auf eine solide wirtschaftliche und vergleichende Analyse der Märkte stützen.

Zur Gewährleistung einer unionsweit einheitlichen Anwendung der Zuteilungsbedingungen, die sich auf Wirtschaftsaspekte, Marktbedingungen und die Wettbewerbssituation und somit auf die Funktionsweise der Märkte auswirken, wird durch Artikel 35 des EU-Kommissionsvorschlags ein Begutachtungsmechanismus (Peer-Review) geschaffen, bei dem das GEREK nationale Frequenzzuteilungsentwürfe auf Aspekte der Marktregulierung und der wirtschaftlichen Regulierung prüft und dazu unverbindliche Stellungnahmen abgibt.

Artikel 37 des EU-Kommissionsvorschlags führt einen Rahmen für die Mitgliedstaaten ein, um freiwillige EU-weite oder länderübergreifende Zuteilungsverfahren zu erleichtern.

Artikel 45 des EU-Kommissionsvorschlags enthält eine Klarstellung der allgemeinen Ziele, die den Mitgliedstaaten als Richtschnur für die Verwaltung der Funkfrequenzen auf nationaler Ebene dienen. Darin geht es um Einheitlichkeit und Verhältnismäßigkeit in den Genehmigungsverfahren, die Bedeutung der Gewährleistung einer angemessenen Versorgung, zeitliche Vorgaben für die Bereitstellung von Funkfrequenzen, die Vermeidung grenzüberschreitender oder nationaler funktechnischer Störungen, die Festlegung des Grundsatzes des Verfalls bei Nichtnutzung („Use it or lose it“) und die Förderung einer gemeinsamen Frequenznutzung wie auch den Frequenzhandel und die Frequenzvermietung. Außerdem sieht Artikel 45 einen Mechanismus vor, der unter eindeutig festgelegten Bedingungen eine zeitweilige alternative Nutzung harmonisierter Funkfrequenzen ermöglicht.

Artikel 46 des EU-Kommissionsvorschlags rückt Allgemeinereignisse gegenüber individuellen Lizenzen sowie eine im Einklang mit dem EU-Recht erfolgende gemeinsame Frequenznutzung in den



Vordergrund. Dies soll dafür sorgen, dass die nationalen Behörden vorausschauend die für 5G-Entwicklungen am besten geeigneten Genehmigungsmodelle ausarbeiten. Weiterhin erhält die EU-Kommission die Befugnis zum Erlass verbindlicher Maßnahmen, um für Einheitlichkeit innerhalb der verschiedenen Arten von Genehmigungsregelungen zu sorgen.

Die Genehmigungsbedingungen, die an eine Allgemeingenehmigung für Funkfrequenzen und die zugehörigen Nutzungsrechte geknüpft werden, sind in Artikel 47 des EU-Kommissionsvorschlags festgelegt. Außerdem sind Durchführungsmaßnahmen der EU-Kommission vorgesehen, um die Einheitlichkeit bestimmter Bedingungen zu sichern. Dies betrifft beispielsweise die Kriterien für die Festlegung und Bemessung von Versorgungsverpflichtungen, deren Bedeutung als Teil einer effizienten Frequenznutzung gestärkt wird. Darüber hinaus werden Verpflichtungen (wie die zur gemeinsamen Infrastrukturnutzung) hervorgehoben, um die Netzanbindung der Endnutzer insbesondere in weniger dicht besiedelten Gebieten zu verbessern.

Die Artikel 48 bis 54 des EU-Kommissionsvorschlags regeln wichtige Frequenzgenehmigungsaspekte, um die Genehmigungspraxis der Mitgliedstaaten zu vereinheitlichen, und zwar:

- Mindestlaufzeiten für Lizenzen (25 Jahre);
- ein klares und vereinfachtes Verfahren für Frequenzhandel und Frequenzvermietung;
- objektive Kriterien für eine einheitliche und auf den Grundsätzen des Wettbewerbsrechts fußende Anwendung wettbewerbsfördernder Maßnahmen wie Frequenzobergrenzen, Reservierung von Funkfrequenzen für neue Marktteilnehmer und Zugangsverpflichtungen auf der Vorleistungsebene;
- Verfahren zur Verbesserung der Kohärenz und Vorhersehbarkeit bei der Erteilung und Verlängerung individueller Nutzungsrechte;
- klarere Bedingungen für die Beschränkung oder den Entzug bestehender Rechte, auch nach dem Grundsatz des Verfalls bei Nichtnutzung, und Stärkung der Durchsetzungsaufgaben der nationalen Behörden.

Außerdem geben die Artikel 48 bis 54 der EU-Kommission die Befugnis zum Erlass von Maßnahmen, um gemeinsame Höchstfristen für die Genehmigung der Nutzung harmonisierter Funkfrequenzen in allen Mitgliedstaaten festzusetzen, die Hauptaspekte von Auswahlverfahren zu koordinieren und Kriterien für deren Ausgestaltung festzulegen.

Weitere Anhaltspunkte dafür, welche Entwicklungen die EU-Kommission hinsichtlich 5G anstrebt, bietet der Aktionsplan „5G für Europa“.<sup>42</sup> Der Aktionsplan stellt flankierende Maßnahmen auf, um die 5G-Technologie voranzubringen. Die Maßnahmen betreffen dabei folgende Themen<sup>43</sup>:

- Angleichung der Fahrpläne und Prioritäten mit Blick auf einen koordinierten 5G-Aufbau in allen EU-Mitgliedstaaten, Vorbereitung der ersten Netzeinführung bis 2018 und Übergang zu einer großflächigen Einführung auf kommerzieller Basis bis spätestens Ende 2020.
- Bereitstellung provisorischer Frequenzbänder für 5G noch vor der Weltfunkkonferenz 2019 (WRC-19), welche so bald wie möglich durch weitere Frequenzbänder zu ergänzen sind, sowie Hinarbeiten auf eine empfohlene Vorgehensweise bei der Genehmigung der spezifischen 5G-Frequenzbänder über 6 GHz.
- Förderung der frühzeitigen Einführung in städtischen Ballungsräumen und entlang wichtiger Verkehrswege.
- Förderung europaweiter Testläufe unter Beteiligung zahlreicher Akteure, um die Weiterentwicklung von technologischen Innovationen zu voll einsatzfähigen gewerblichen Lösungen zu beschleunigen.
- Förderung der Schaffung eines Risikofonds zur Förderung von 5G-basierten Innovationen, unter Führung der Privatwirtschaft.
- Verbindung führender Akteure bei der Arbeit zur Förderung globaler Standards.

<sup>42</sup> Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/5g-europe-action-plan>, letzter Aufruf 26.05.2017

<sup>43</sup> Siehe hierzu auch „5G für Europa: ein Aktionsplan“, Seite 4 ff., abrufbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-5g-europe-action-plan-and-accompanying-staff-working-document>, letzter Aufruf 20.05.2017

## 4.2

### EU-BEIHILFERECHT

Die kostenlose Bereitstellung von öffentlicher Infrastruktur, wie z.B. Stadtmöbel, Verkehrsanlagen, Gebäude etc., kann sich als zielführend für die Errichtung von Senderstandorten erweisen. Stellt die öffentliche Hand jedoch dem Telekommunikationsmarkt (TK-Anbieter) ihre Infrastruktur kostenlos zur Verfügung, kann es sich um eine Beihilfe bzw. Wettbewerbsverzerrung handeln. Gleiches gilt für den Einsatz von

Mobilfunkstationen durch kommunale Unternehmen. Dabei ist zunächst festzustellen, ob ein kommunales Unternehmen selbst als Betreiber oder nur als Bereitsteller der Infrastruktur agiert. Nachfolgend soll herausgestellt werden, welche beihilfenrechtlichen Überlegungen anzustellen sind und wie Lösungsansätze gestaltet werden können.

### 4.2.1

#### ANWENDUNG DES ARTIKEL 107 ABS. 1 AEUV

Nach Artikel 107 Abs. 1 AEUV<sup>44</sup> „sind staatliche oder aus staatlichen Mitteln gewährte Beihilfen gleich welcher Art, die durch die Begünstigung bestimmter Unternehmen oder Produktionszweige den Wettbewerb verfälschen oder zu verfälschen drohen, mit dem Binnenmarkt unvereinbar, soweit sie den Handel zwischen Mitgliedstaaten beeinträchtigen.“

Eine Maßnahme wird daher als Beihilfe im Sinne dieser Bestimmung eingestuft, wenn alle folgenden Voraussetzungen kumulativ erfüllt sind:

- Die Maßnahme ist dem Staat zuzurechnen und wird aus staatlichen Mitteln finanziert („staatliche Ressourcen“),
- sie verschafft einem Unternehmen einen Vorteil,
- dieser Vorteil ist selektiv und
- die Maßnahme verfälscht den Wettbewerb oder droht ihn zu verfälschen und beeinträchtigt den Handel zwischen Mitgliedstaaten.

Unter den Beihilfebegriff fallen sowohl die finanzielle Unterstützung durch den Staat als auch Sachbeihilfen, beispielsweise in Form der Zurverfügungstellung einer aus staatlichen Mitteln errichteten Infrastruktur. Der Vorteil besteht darin, dass das begünstigte Unternehmen den Ausbau der Infrastruktur nicht (vollständig) aus eigenen Mitteln vornehmen muss.<sup>45</sup>

Nicht als Beihilfe anzusehen sind klassische Verwaltungstätigkeiten oder die Wahrnehmung typischer hoheitlicher Aufgaben.

Stellt die öffentliche Hand Infrastruktur zur Nutzung zur Verfügung, so kann hierin grundsätzlich eine Übertragung bzw. ein Verzicht staatlicher Ressourcen gesehen werden. Den Empfängern dieser staatlichen Ressourcen entsteht ein selektiver Vorteil, beispielsweise, wenn sich die Maßnahme nur auf TK-Anbieter oder einen bestimmten Teil von TK-Anbietern beschränkt. Wird für die Nutzung der Infrastruktur kein Entgelt gezahlt, obwohl die Zurverfügungstellung am Markt in der Regel nur entgeltlich erfolgt, verzichtet die öffentliche Hand auf Einnahmen. Es entsteht ggfs.

<sup>44</sup> AEUV = Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union.

<sup>45</sup> Für den Bereich des Breitbandausbaus siehe insofern die Ausführungen in „Staatliche Beihilfen im Zusammenhang mit dem Breitbandausbau“, Informationsbroschüre des Breitbandbüros des Bundes im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, abrufbar unter <http://www.breitbandbuero.de/mediathek/>, letzter Aufruf: 29.05.2017.

ein wettbewerbsverzerrender „selektiver“ Vorteil. Dadurch kann die Gewährung des Zugangs zu öffentlichen Bereichen oder natürlichen Ressourcen oder die Gewährung besonderer oder ausschließlicher Rechte ohne marktübliche Vergütung einen Verzicht auf staatliche Mittel darstellen und die Gewährung eines selektiven Vorteils darstellen.<sup>46</sup>

Soweit es sich bei der bereitgestellten Infrastruktur um eine allgemeine Infrastruktur handelt, die für alle gleichermaßen zugänglich ist und von allen genutzt werden kann (z.B. öffentliche Straßen), ist fraglich, ob es sich überhaupt um eine Gewährung staatlicher Mittel handelt. Wird nämlich eine aus staatlichen Mitteln finanzierte Infrastruktur durch die öffentliche Hand nicht wirtschaftlich genutzt und kostenlos zur Verfügung gestellt, verzichtet der Staat in diesem Fall nicht auf Einnahmen. Es erfolgt also in diesem Fall auch kein beihilferelevanter Einsatz staatlicher Mittel.<sup>47</sup> Anhaltspunkt für diese Einordnung kann sein, dass Gegenstand der fraglichen Maßnahme nicht die Finanzierung der Errichtung der maßgeblichen Infrastruktur ist, sondern vielmehr der Zugang zur relevanten Infrastruktur und die Errichtung der Infrastruktur der Erreichung eines anderweitigen regulatorisch vorgesehenen Zieles dienen, wie beispielsweise im öffentlichen Straßenverkehr dem Ziel der Erleichterung des öffentlichen Straßenverkehrs.

Sofern die Zurverfügungstellung der Infrastruktur – wenngleich kostenlos – zu einer selektiven Bevorzugung einzelner Marktteilnehmer führt, kann die Maßnahme ebenfalls als Beihilfe angesehen werden. Der Staat kann grundsätzlich zur Erreichung eines regulatorisch vorgesehenen Zieles den Nutzern einer von den Behörden nicht wirtschaftlich genutzten öffentlichen Infrastruktur ein Recht auf bevorzugten Zugang zu dieser gewähren, ohne dass hierin zwangsläufig ein wirtschaftlicher Vorteil gesehen wird. Die Feststellung der Ziele und die Festlegung der geeigneten Zuweiskriterien liegen im Ermessen der nationalen Behörden. Die Maßnahme muss jedoch zur Zielerreichung geeignet sein und das Gebot der Diskriminierungsfreiheit beachten, d.h. eine Differenzierung bzw. Ungleichbehandlung trotz einer vergleichbaren tatsächlichen und rechtlichen Lage muss ausgeschlossen sein.<sup>48</sup> Andernfalls könnte eine Verpflichtung der öffentlichen Hand zur Erhebung einer Gegenleistung für die bevorzugte

Nutzung bestehen, um eine Begleichung des Werts des wirtschaftlichen Vorteils zu erzielen.

Ebenfalls nicht unter das Beihilfeverbot des Art. 107 Abs. 1 AEUV fallen Maßnahmen, die Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse im Sinne von Art. 106 Abs. 2 AEUV (DAWI) beinhalten und bestimmte Kriterien erfüllen.<sup>49</sup> Festzulegen, welche Arten von Leistungen als DAWI anzusehen sind, ist Aufgabe der nationalen Gesetzgeber. In der Regel bezieht sich die Aufgabe jedoch auf die Ebene der Errichtung der maßgeblichen Infrastruktur, nicht hingegen auf die Bereitstellung der Dienste. Sollte die Errichtung von 5G-Netzen also zukünftig als DAWI aufgefasst werden, würde die Aufgabe zur Bereitstellung einer 5G-Infrastruktur bei der öffentlichen Hand liegen, könnte aber, ohne unter das Beihilfeverbot des Art. 107 Abs. 1 AEUV zu fallen, an ein privates Unternehmen übertragen werden, wenn nachweisbar eine solche Infrastruktur nicht in naher Zukunft errichtet wird und die folgenden Kriterien erfüllt sind:<sup>50</sup>

- Das begünstigte Unternehmen muss mit der Erfüllung klar definierter gemeinwirtschaftlicher Verpflichtungen betraut sein, d.h. es muss einen Übertragungsakt geben (z.B. eine öffentlich-rechtliche Konzession oder auch eine Übertragung durch privatrechtlichen Vertrag).
- Bereits vor Betrauung des Unternehmens müssen die Konditionen für die Ausgleichszahlung objektiv und transparent festgelegt werden, um eine willkürliche Bestimmung auszuschließen.
- Die Ausgleichszahlung darf nur diejenigen Kosten umfassen, die zur Erfüllung der gemeinwirtschaftlichen Pflichten unter Berücksichtigung der dabei erzielten Einnahmen und eines angemessenen Gewinns erforderlich sind (sog. Nettomehrkostenprinzip).
- Die Höhe der Ausgleichszahlungen ist auf der Grundlage einer Analyse derjenigen Kosten zu kontrollieren, die ein durchschnittlich geführtes und angemessen mit Produktionsmitteln ausgestattetes Unternehmen bei der Erfüllung der betreffenden Verpflichtung gehabt hätte (sog. objektiver Kostenmaßstab).

Die Bereitstellung verschiedener öffentlicher Infrastrukturen und Einrichtungen kann ebenfalls Bestandteil einer DAWI sein. Wird diese öffentliche Infrastruktur zu einem anderen Zweck als ihrem eigentlichen Widmungszweck (beispielsweise die Bereitstellung von Straßenmöbeln zum Zwecke der Aufstellung von Mobilfunksende-einrichtungen) zur Verfügung gestellt, ist dies nicht mehr von der originären Aufgabe in Bezug auf die Herstellung der DAWI gedeckt.

Ob durch die Bereitstellung der öffentlichen Infrastruktur eine Wettbewerbsverzerrung und Beeinträchtigung des Handels vorliegt, ist – ebenso wie die Prüfung der anderen Voraussetzungen des Art. 107 Abs. 1 AEUV – im Einzelfall zu prüfen und abhängig von der konkreten Ausgestaltung der Maßnahme. Der Nachweis einer tatsächlichen Beeinträchtigung wird hier in der Regel nicht verlangt. Auch gibt es nach der Rechtsprechung des EuGH keine Schwelle und keinen Prozentsatz, bis zu der oder ab dem davon ausgegangen werden könnte, dass der Handel zwischen Mitgliedstaaten nicht beeinträchtigt ist. Maßgeblich und im Einzelfall zu prüfen ist, ob sich die Chancen der in anderen Mitgliedstaaten niedergelassenen Unternehmen, in diesen Markt einzudringen, verringern.<sup>51</sup>

Vom Fehlen einer solchen Wirkung wird in der Regel bei sogenannten De-minimis-Beihilfen<sup>52</sup> ausgegangen: Sofern die Gesamtsumme der einem Unternehmen zugewendeten Mittel den Wert von 200.000 Euro innerhalb von drei Jahren nicht über-

steigt, erfüllen diese Zuwendungen nicht den Beihilfetatbestand. Maßgeblich für die Schwellenwerte sind die Bruttobeträge, d.h. die Beträge vor Abzug von Steuern und sonstigen Abgaben. Sofern eine Beihilfe nicht in Form eines Zuschusses gewährt wird, entspricht der Beihilfebetrags ihrem Bruttosubventionsäquivalent. Dieses muss im Voraus ohne das Erfordernis einer Risikobewertung (sog. transparente Beihilfe) genau berechnet werden können. Genaue Vorgaben zur Berechnung des Bruttosubventionsäquivalents sind in Art. 4 der Verordnung (EU) Nr. 1407/2013 enthalten.

Festzuhalten ist somit, dass die kostenlose Nutzung einer üblicherweise wirtschaftlich genutzten öffentlichen Infrastruktur durch TK-Anbieter, grundsätzlich als Beihilfe i. S. d. Artikel 107 Abs. 1 AEUV zu qualifizieren ist.

Wenn Kommunen (beispielsweise auch durch in ihrer Hand befindliche oder von ihnen beherrschte Stadtwerke) als Unternehmen tätig werden, dann gelten grundsätzlich die gleichen Voraussetzungen und Überlegungen wie oben ausgeführt.

Ist das Vorliegen der Voraussetzungen für eine Beihilfe im Einzelfall zu bejahen, dann sollte grundsätzlich dafür gesorgt werden, dass die TK-Anbieter ein „marktübliches“ Entgelt für die Nutzung der Infrastruktur entrichten, um so die Annahme einer Beihilfe auszuschließen (in diesem Fall würde für die TK-Anbieter kein Vorteil i. S. d. Artikel 107 Abs. 1 AEUV vorliegen).



<sup>46</sup> Siehe Rn. 53 und 55 in der Bekanntmachung der EU-Kommission zum Beihilfebegriff (2016/C 262/01), EU-ABl. C 262 vom 19.7.2016, S. 1, 12.

<sup>47</sup> Vgl. etw. EuGH, Urteil vom 14.01.2015 – C-518/13 –, Rn. 43 ff.

<sup>48</sup> EuGH, Urteil vom 14.01.2015 – C-518/13 –, Rn. 48 ff.

<sup>49</sup> Altmark-Urteil des Europäischen Gerichtshofs, EuGH, Urteil vom 24.07.2003, Altmark Trans GmbH und Regierungspräsidium Magdeburg/Nahverkehrsgesellschaft Altmark GmbH, Rechtssache C-280/00, Slg. 2003, I-7747.

<sup>50</sup> EuGH, Urteil vom 24.07.2003, Altmark Trans GmbH und Regierungspräsidium Magdeburg/Nahverkehrsgesellschaft Altmark GmbH, Rechtssache C-280/00, Slg. 2003, I-7747.

<sup>51</sup> EuGH, Urteil vom 14.01.2015 – C-518/13 –, Rn. 68 ff.

<sup>52</sup> Vgl. die Verordnung (EG) Nr. 994/98 des Rates vom 07.05.1998 über die Anwendung der Art. 92 und 93 EGV auf bestimmte Gruppen horizontaler Beihilfen, ABl. Nr. L 142/1 vom 14.05.1998; Verordnung (EU) Nr. 1407/2013 der Kommission vom 18.12.2013 über die Anwendung der Artikel 107 und 108 des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union auf De-minimis-Beihilfen, ABl. Nr. L 352/1 vom 24.12.2013.



## 4.2.2

### FREISTELLUNG

Sollten die Voraussetzungen für das Vorliegen einer Beihilfe erfüllt sein, so greift das Beihilfeverbot des Art. 107 Abs. 1 AEUV. Dies bedeutet, dass die Maßnahme nicht durchgeführt werden kann, solange diese nicht bei der Europäischen Kommission angemeldet und von dieser genehmigt wurde (Einzelnotifizierungsverfahren gemäß Art. 108 AEUV). Die Kommission überprüft hier im Wesentlichen, ob die staatliche Unterstützungsleistung in Form der Beihilfemaßnahme als gerechtfertigt angesehen werden kann.

Ausgenommen von dieser Anmeldepflicht sind die in Art. 107 AEUV selbst enthaltenen Ausnahmetatbestände sowie die unter die Allgemeine Gruppenfreistellungsvereinbarung (AGVO)<sup>53</sup> fallenden Beihilfen. Zu den durch die AGVO freigestellten Gruppen zählen auch Investitionsbeihilfen für den Ausbau der Breitbandversorgung, die den Schwellenwert von 70 Mio. EUR Gesamtkosten pro Vorhaben nicht überschreiten. Die freigestellten Vorhaben sind der EU-Kommission gegenüber nur anzuzeigen. Sie sind aber bei Überschreiten einer bestimmten Schwelle nunmehr im Rahmen einer Ex-post-Kontrolle zu evaluieren. Die AGVO enthält auch einen Freistel-

lungstatbestand für Maßnahmen zur Errichtung von Breitbandinfrastrukturen (vgl. Art. 1 Ziff. 1.lit i) AGVO). Der Aufbau einer 5G-Versorgung ist nach dem derzeitigen Stand der technischen Entwicklung jedoch weder unter die in Art. 2 Rn. 133 und 138 AGVO enthaltenen Definitionen der Breitbandgrundversorgung noch der Zugangsnetze der nächsten Generation (NGA-Netze) zu fassen. Insofern besteht für die reine Maßnahme zur Errichtung von 5G-Netzen aktuell kein Freistellungstatbestand. Dennoch können im Rahmen einer freistellungsfähigen Breitbandausbaumaßnahme oder gegebenenfalls im Rahmen einer unter einen anderen Freistellungstatbestand fallenden Maßnahme die für die Anbindung von Mobilfunkmasten erforderlichen Breitbandinfrastrukturen geschaffen werden.

Sollen die Unwägbarkeiten einer Genehmigung der Maßnahme durch die EU-Kommission und der damit verbundene Zeitverzug umgangen werden, ist die Maßnahme derart auszugestalten, dass nach den von der EU-Kommission und dem Europäischen Gerichtshof aufgestellten Kriterien bereits gar nicht vom Vorliegen einer Beihilfe auszugehen ist.

## 4.2.3

### MITNUTZUNG VON STADTMÖBELN UND STANDORTENTGELTE

Wie im vorangehenden Abschnitt ausgeführt, ist in der Regel dann vom Vorliegen einer Beihilfe auszugehen, wenn eine üblicherweise wirtschaftlich genutzte Infrastruktur kostenlos zur Verfügung gestellt wird. Hiervon kann im Bereich von Telekommunikationsinfrastruktur, aber auch bei anderer öffentlicher Versorgungsnetzinfrastruktur im Regelfall ausgegangen werden, zumindest auf der Ebene des Netzbetriebs. Ein Lösungsansatz könnte jedoch darin bestehen zu argumentieren, dass im Hinblick auf die Mitnutzung

ein anderer Beurteilungsmaßstab anzulegen ist. Im Falle der Mitnutzung einer öffentlichen Infrastruktur wird die Infrastruktur in der Regel zu einem anderen als ihrem eigentlichen Bestimmungszweck mitgenutzt. Ob die Nutzung zu ihrem eigenen Bestimmungszweck wirtschaftlich erfolgt oder nicht, dürfte daher für die Mitnutzung prinzipiell nicht maßgeblich sein, sondern allein die Frage, ob die Mitnutzung im Wege einer wirtschaftlichen Nutzung, also zur Erzielung von Einnahmen, erfolgt.

<sup>53</sup> Verordnung (EU) Nr. 651/2014 der Kommission vom 17. Juni 2014 zur Feststellung der Vereinbarkeit bestimmter Gruppen von Beihilfen mit dem Binnenmarkt in Anwendung der Artikel 107 und 108 des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AGVO), ABl. L 187/1 vom 26. Juni 2014.

Verfahren, Umfang und Ausgestaltung der Mitnutzung von passiven Netzinfrastrukturen öffentlicher Versorgungsnetzbetreiber sind in den §§ 77 ff. TKG umfassend geregelt. Das TKG gibt hierfür nicht nur eine klare Systematik vor, sondern auch eine klare Zielsetzung des Gesetzgebers. Die Erleichterung des Auf- und Ausbaus digitaler Hochgeschwindigkeitsnetze. § 77d Abs. 2 TKG sieht nämlich zwar grundsätzlich die Erhebung eines Mitnutzungsentgelts vor. Diese Entgelte müssen jedoch fair und angemessen sein. Maßstab für die Festsetzung der Mitnutzungsentgelte sollen die Mehrkosten sein, die sich durch die Mitnutzung für den Infrastrukturanbieter ergeben, zuzüglich einer angemessenen Verzinsung.<sup>54</sup> Aus der Gesetzesbegründung folgt weiterhin, dass die Möglichkeit zur Erhebung von Mitnutzungsentgelten vorrangig einen Anreiz zur Gewährung von Mitnutzungsansprüchen schaffen und damit primär die Erfüllung des Regelungsziels, nämlich die Erleichterung und Beschleunigung des Ausbaus von Hochgeschwindigkeitsnetzen, verfolgt.<sup>55</sup>

Da die Mitnutzung üblicherweise gegen Entgelt erfolgt, bedeutet dies nicht, dass nicht auch eine unentgeltliche Bereitstellung zur Mitnutzung vom Gesetzgeber als zulässig erachtet wird. Beihilferechtlich würde hier jedoch argumentiert werden können, dass der Staat auf Einnahmen, die er üblicherweise nach den Vorgaben des TKG generieren könnte, verzichtet. Die Voraussetzung der Gewährung von staatlichen Mitteln wäre in diesem Fall also erfüllt.

Eine Möglichkeit der pragmatischen Handhabung könnte darin bestehen, dass die Kommunen und Stadtwerke auf Einnahmen (Mitnutzungsentgelte) verzichten und die öffentliche Infrastruktur allen zur Verfügung stellen, in einer transparenten Art und Weise, sodass allen die Nutzungsbedingungen bekannt sind und alle TK-Anbieter die Chance bekommen, diese Infrastruktur zu nutzen. Dann könnte man von einer allgemeinen Maßnahme ausgehen, die nicht von Artikel 107 Abs. 1 AEUV erfasst wird, da sie keinen Marktteilnehmer selektiv bevorzugt.

Eine ähnliche Zielrichtung kann der Bekanntmachung der EU-Kommission zum Beihilfebegriff entnommen werden, die Folgendes ausführt:

„In diesen Fällen muss festgestellt werden, ob der Staat zusätzlich zu seiner Rolle als Verwalter der betreffenden öffentlichen Ressourcen auch als Regulierungsbehörde fungiert, die politische Ziele

verfolgt, indem sie die Auswahl der betreffenden Unternehmen von qualitativen Kriterien abhängig macht (die zuvor auf transparente und diskriminierungsfreie Weise festgelegt wurden). Wenn der Staat als Regulierungsbehörde fungiert, kann er legitim beschließen, auf eine Maximierung der Einnahmen, die er andernfalls hätte erzielen können, zu verzichten, ohne in den Anwendungsbereich der Beihilfavorschriften zu fallen, vorausgesetzt dass alle betroffenen Betreiber im Einklang mit dem Grundsatz der Nichtdiskriminierung behandelt werden und dass eine immanente Verbindung zwischen der Verwirklichung des regulatorischen Ziels und dem Einnahmeverzicht besteht.“<sup>56</sup>

Sofern allerdings davon auszugehen ist, dass die Mitnutzung der Infrastrukturen mit tatsächlichen Mehrkosten für den Betreiber bzw. Inhaber der öffentlichen Netzinfrastruktur verbunden ist (hiervon scheint auch der Gesetzgeber im Regelfall auszugehen), wäre es sinnvoll, diese Mehrkosten auch im Rahmen der Mitnutzung in Form eines Entgelts abzubilden, um dem Vorwurf einer indirekten Beihilfengewährung durch Übernahme der mit der Mitnutzung verbundenen Mehrkosten zu entgehen. Es wäre somit im Einzelfall für die jeweilige Art der Mitnutzung zu prüfen, ob die Mitnutzung tatsächlich mit einem Kostenaufwand für den Infrastrukturanhaber verbunden ist.

Des Weiteren ist zu beachten, dass möglicherweise Kapazitätsgründe oder technische Vorgaben die offene Zurverfügungstellung der Infrastruktur an alle Marktteilnehmer ausschließen.

Aus diesen Gründen und aufgrund der damit einhergehenden Unsicherheit im Hinblick auf die beihilferechtliche Zulässigkeit der Maßnahme wäre es sinnvoll, ein Mitnutzungsmodell zu entwickeln, das sowohl die Erhebung eines angemessenen und fairen Mitnutzungsentgelts allein zur Abdeckung des tatsächlichen Mehraufwands für den Inhaber der mitgenutzten passiven Netzinfrastruktur vorsieht (beispielsweise in Form einer transparenten Gebührenordnung), als auch die Auswahl der mitnutzenden TK-Anbieter in einem offenen, transparenten und diskriminierungsfreien wettbewerblichen Verfahren ermöglicht.

Wenn alle betroffenen Nutzer im Einklang mit dem Grundsatz der Nichtdiskriminierung behandelt werden, eine immanente Verbindung zur Verwirklichung des regulatorischen Ziels besteht und Behörden

<sup>54</sup> Vgl. Gesetzesbegründung zu § 77n Abs. 2 TKG, BT-Drucksache 18/8332 vom 04.05.2016, S. 55.

<sup>55</sup> Vgl. Gesetzesbegründung zu § 77f TKG, BT-Drucksache 18/8332 vom 04.05.2016, S. 47.

<sup>56</sup> Siehe Nr. 54 der Bekanntmachung der EU-Kommission zum Beihilfebegriff (2016/C 262/01) vom 19.07.2016 (EU ABl. C 262, 19.7.2016, Seite 1).

Waren oder Dienstleistungen auf der Grundlage von Ausschreibungsverfahren beziehen, die mit den EU-Vorschriften über die öffentliche Auftragsvergabe im Einklang stehen, bietet dies grundsätzlich hinreichend Anlass dafür, dass keine staatliche Beihilfe vorliegt.<sup>57</sup>

Vor diesem Hintergrund wäre zum einen eine zentrale Ausschreibung der Nutzungsrechte denkbar, aber auch die Schaffung eines anderweitigen Zugangssystems, beispielsweise in Form eines Antragsverfahrens, dessen Bedingungen transparent und nichtdiskriminierend ausgestaltet sind (festgelegte und veröffentlichte Mitnutzungsbedingungen mit Angaben zu den Zugangskriterien und -anforderungen sowie Kosten und mitzunutzenden Standorten).

JA	BEIHILFETATBESTAND DES ART. 107 ABS. 1 AEUV	NEIN
z. B. bei Verzicht auf Einnahmen	Gewährung staatlicher Mittel	z. B. bei nicht-wirtschaftlicher Nutzung öff. Infrastrukturen oder bei Erhebung eines mehrkostendeckenden Entgelts
UND		ODER
z. B. bei Begrenzung des Nutzerkreises	Selektive Begünstigung	z. B. wenn diskriminierungsfrei ausgestaltet
UND		ODER
z. B. bei verringerten Marktzutrittschancen	Wettbewerbsverfälschende Wirkung	z. B. „De-minimis“-Beihilfen
↓		↓
Beihilfenverbot greift Maßnahme EU rechtswidrig		keine Beihilfen
<b>LÖSUNG:</b> Schaffung eines transparenten, diskriminierungsfreien Mitnutzungsmodells oder Nutzung eines gültigen Beihilferahmens bzw. Anmeldung als Beihilfe bei der EU-Kommission		

Abbildung 8: Erfüllung des Beihilfetatbestands nach Art. 107 Abs 1 AEUV, Grafik: atene KOM GmbH

<sup>57</sup> Vgl. die Ausführungen in der Bekanntmachung der EU-Kommission zum Beihilfebegriff (2016/C 262/01) vom 19.07.2016 (EU ABl. C 262, 19.7.2016, Seite 1), insbesondere Rn. 54, 73 ff.

## 4.3

### NGA-RAHMENREGELUNG

Alle Projekte, die im Einklang mit den Bedingungen der NGA-Rahmenregelung (NGA-RR) stehen, können unmittelbar gefördert werden. Die NGA-RR bietet die beihilferechtliche Grundlage für eine notifizierungsfreie Förderung des Breitbandausbaus. Im Sinne der NGA-RR können Projekte in weißen NGA-Gebieten gefördert werden, das heißt in Gebieten, in denen es diese Netze noch nicht gibt und die in den kommenden drei Jahren vom Markt voraussichtlich auch nicht erschlossen werden. Die NGA-Rahmenregelung ermöglicht sowohl die Förderung einer nachzuweisenden Wirtschaftlichkeitslücke als auch verschiedene Varianten der Förderung von passiver Breitbandinfrastruktur. Dazu gehören unterschiedliche Formen der Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Hand und Netzbetreibern. Ziel ist es, Möglichkeiten für Investitionen zu schaffen, die den lokalen Gegebenheiten Rechnung tragen und einen wirtschaftlichen Betrieb der Infrastrukturen ermöglichen.

Die NGA-RR sieht unter § 3 Abs. 1 lit. b ausdrücklich vor, dass Fördermittel auch mit anderen für die Telekommunikation oder andere Versorgungszwecke geeigneten Infrastrukturen wie z.B. die Anbindung von Mobilfunkmasten vernetzt und genutzt wer-

den sollen. Somit könnte die NGA-RR grundsätzlich auch in Anspruch genommen werden, wenn in weißen NGA-Gebieten NGA-Netze für den 5G-Ausbau errichtet werden. Eine Berücksichtigung kann demnach im Rahmen des Betreibermodells erfolgen. Voraussetzung ist, dass durch die Maßnahme, konkret beispielsweise bei der Glasfaseranbindung eines Mobilfunkmastes, möglichst innerhalb eines Jahres, spätestens jedoch bis zur Verfügbarkeit geeigneter Frequenzen, ein leistungsfähiges Netz entsteht. Dies muss durch einen Geschäftsplan objektiv nachvollzogen und in ein NGA-Gesamtprojekt eingebunden werden. Insofern können nach der NGA-Rahmenregelung bereits heute die infrastrukturellen Voraussetzungen und Anbindungen zur Vorbereitung von 5G mit Hilfe von Fördermitteln geschaffen werden, sofern sich aus der Planung ergibt, dass mit der Verfügbarkeit von 5G und aufgrund der Anbindung ein leistungsfähiges Netz entsteht.

Dies bedeutet jedoch auch, dass im Rahmen der Umsetzung der infrastrukturellen Voraussetzungen die Vorgaben der NGA-Rahmenregelung zwingend einzuhalten sind.

## 4.4

### DIGINETZG

Durch das am 10. November 2016 in Kraft getretene Gesetz zur Erleichterung des Ausbaus digitaler Hochgeschwindigkeitsnetze (DigiNetzG)<sup>58</sup> wurden mit den §§ 77a bis 77o TKG umfangreiche Regelungen zur Mitnutzung öffentlicher Versorgungsnetze sowie zur Mitverlegung im Rahmen von Bauarbeiten in das TKG eingeführt. Die Regelungen verpflichten insbesondere öffentliche Versorgungsnetzbetreiber (z. B. Stadtwerke), ihre gesamte bestehende und geplante passive Netzinfrastruktur für den Breitband-

ausbau zu öffnen, d.h. zur Mitnutzung und Mitverlegung gegen ein angemessenes Entgelt (vgl. §§ 77b–77g TKG). Darüber hinaus wird die Möglichkeit eröffnet, im Rahmen anderweitiger Bauarbeiten passive Infrastrukturen sowie Glasfaser mitzuverlegen. Im Falle ganz oder teilweise aus öffentlichen Mitteln finanzierter Bauarbeiten sind die öffentlichen Versorgungsnetzbetreiber sogar verpflichtet, zumutbaren Anträgen auf Koordinierung von Bauarbeiten im Hinblick auf eine Mitverlegung stattzugeben

<sup>58</sup> Bundesgesetzblatt 2016 Teil I Nr. 52 vom 09.11.2016, S. 2473 ff.

(§ 77i Abs. 3 TKG). Im Rahmen von ganz oder teilweise aus öffentlichen Mitteln finanzierten Straßenbauarbeiten mit einer Dauer von mehr als acht Wochen ist eine bedarfsgerechte Mitverlegung von Glasfaserkabeln sicherzustellen. Bei der Erschließung von Neubaugebieten muss die Mitverlegung von Glasfasern ebenfalls durch die Kommune gewährleistet werden (§ 77i Abs. 7 TKG).

Das DigiNetzG rundet damit den marktgetriebenen Ausbau und die Förderung von noch nicht mit Breitband erschlossenen Regionen ab. Nach dem DigiNetzG besteht auch die Möglichkeit, dass Telekommunikationslinien, zu denen explizit auch Mobilfunkantennen zu zählen sind (siehe die Ausführungen im vorangehenden Abschnitt), oberirdisch verlegt werden. Zudem umfasst es auch die entgeltliche Mitnutzung von Laternen und Ampeln, die nach der neuen Begriffsdefinition der passiven Netzinfrastruktur in § 3 Nr. 17b TKG ausdrücklich zu den passiven Netzinfrastrukturkomponenten zählen. Die Mitnutzung dieser passiven Netzinfrastrukturen kann durch den TK-Anbieter bei dem Eigentümer oder Betreiber des öffentlichen Versorgungsnetzes beantragt werden. Das Antragsverfahren richtet sich

nach § 77d TKG. Der Mitnutzungsanspruch erstreckt sich gemäß § 77e im Falle der Mitnutzung eines Elektrizitätsversorgungsnetzes auch auf Dachständer, Giebelanschlüsse und die Hauseinführung sowie die Zurverfügungstellung eines entgeltlichen Anschlusses zum Bezug des Betriebsstroms für die eingebauten Komponenten des digitalen Hochgeschwindigkeitsnetzes. Ein den Anforderungen des § 77d TKG entsprechendes Mitnutzungsbegehren kann von dem Versorgungsnetzbetreiber nur dann versagt werden, wenn nachweislich einer der sieben in § 77g Abs. 2 abschließend aufgelisteten Versagungsgründe vorliegt. Zu den Versagungsgründen gehören beispielsweise die fehlende technische Eignung der passiven Netzinfrastruktur für die beabsichtigte Mitnutzung, der aktuell oder zukünftig fehlende Platz für die beabsichtigte Unterbringung der Netzkomponenten, Anhaltspunkte für eine zu erwartende erhebliche Störung des Versorgungsdienstes durch die Mitnutzung oder der Überbau von bestehenden Glasfasernetzen, die einen diskriminierungsfreien, offenen Netzzugang zur Verfügung stellen. Im Streitfall kann über § 77n TKG die Bundesnetzagentur als nationale Streitbeilegungsstelle eine verbindliche Entscheidung im Hinblick auf die beantragte Mitnutzung treffen.

## 4.5

### WEGERECHT UND ZUWEGUNG

Die mit 5G stark steigende Zahl der Mobilfunkstandorte auch an bisher ungewöhnlichen Orten und Einrichtungen erfordert, dass Unternehmen, welche Mobilfunknetze errichten und betreiben, diese Standorte zum einen erreichen und zum anderen wenn nötig erschließen können müssen. Entsprechend ist damit zu rechnen, dass es zu umfangreichen Tiefbauarbeiten zur Verlegung von Backhulanbindungen für neu zu errichtende Sendestandorte kommt.

Besonders in dicht besiedelten Gebieten entstehen damit neue Herausforderungen sowohl für die Unternehmen als auch für die Kommunen. Ein Beispiel hierfür ist der Zugang zu Ampelanlagen oder anderen mitgenutzten Infrastruktureinrichtungen.

Nach TKG ist der Bund befugt, Verkehrswege für die öffentlichen Zwecken dienenden Telekommuni-

kationslinien unentgeltlich zu benutzen. Der Bund überträgt diese Nutzungsberechtigung gemäß § 69 TKG durch die Bundesnetzagentur auf Antrag an die Eigentümer oder Betreiber öffentlicher Telekommunikationsnetze. Dies gilt auch für Betreiber von 5G-Netzen.

Dabei betrifft das Nutzungsrecht die Telekommunikationslinie insgesamt, d.h. „unter- oder oberirdisch geführte Telekommunikationskabelanlagen, einschließlich der zugehörigen Schalt- und Verzweigungseinrichtungen, Masten und Unterstützungen, Kabelschächte und Kabelkanalrohre, sowie weitere technische Einrichtungen, die für das Erbringen von öffentlich zugänglichen Telekommunikationsdiensten erforderlich sind“.<sup>59</sup> Der Gesetzesbegründung nach sollen durch die Aufnahme des Begriffs der weiteren technischen Einrichtungen neben Fernspeiseeinrich-

tung und DSLAMS explizit auch Mobilfunkantennen von dem Begriff der Telekommunikationslinien umfasst sein.<sup>60</sup>

Für die Verlegung oder die Änderung von Telekommunikationslinien ist zusätzlich die Zustimmung des Trägers der Wegebauart erforderlich (vgl. § 68 Abs. 3 TKG).

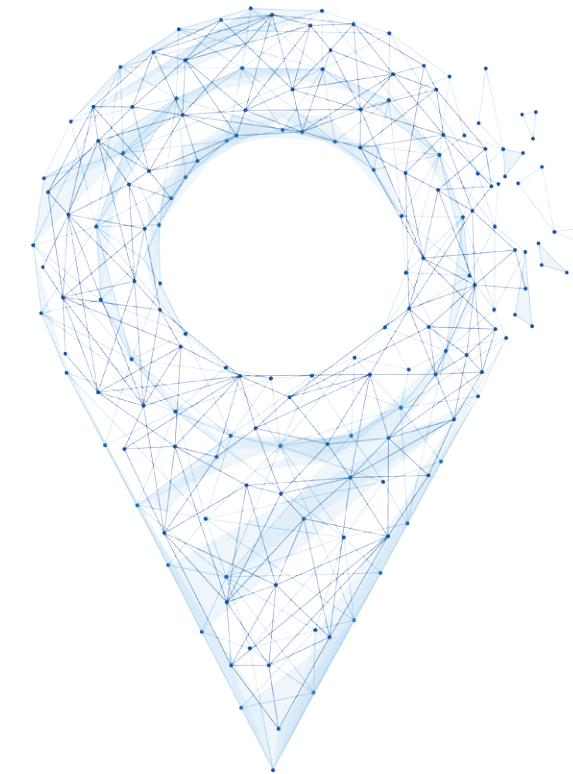
Bei der Zustimmung handelt es sich um einen dem Grunde nach gebundenen Verwaltungsakt. Die Zustimmung ist zu erteilen, wenn die besonderen Voraussetzungen der Nutzungsberechtigung erfüllt sind, also die Telekommunikationslinie den Widmungszweck des Verkehrsweges nicht dauerhaft beschränkt und den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung sowie den anerkannten Regeln der Technik genügt. Ein Ermessen seitens des Trägers der Wegebauart besteht nur im Hinblick auf die Ausgestaltung der Zustimmung, d.h. die Zustimmung kann mit Nebenbestimmungen versehen sowie von der Leistung

einer angemessenen Sicherheit abhängig gemacht werden. Die Nebenbestimmungen dürfen nur

- die Art und Weise der Errichtung der Telekommunikationslinie sowie
- die dabei zu beachtenden Regeln der Technik,
- die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs,
- die im Bereich des jeweiligen Wegebauartsträgers übliche Dokumentation der Lage der Telekommunikationslinie nach geografischen Koordinaten und
- die Verkehrssicherungspflichten

regeln.

§ 68 Abs. 3 TKG enthält zudem eine Zustimmungsfiktion, d.h. die Zustimmung gilt nach Ablauf einer Frist von drei Monaten nach Eingang des vollständigen Antrags als erteilt. Die Frist kann um einen Monat verlängert werden, wenn dies wegen der Schwierigkeit der Angelegenheit gerechtfertigt ist.



<sup>59</sup> Vgl. die Begriffsdefinition in § 3 Nr. 26 TKG.

<sup>60</sup> Vgl. die Erläuterung zur Begriffsdefinition in § 3 Nr. 26 TKG, BT-Drucksache 18/8332 vom 04.05.2016, S. 36.



## 4.6

### STANDORTBESCHEINIGUNGEN/STANDORTVERFAHREN

Von vielen Kommunen wird die Mitnutzung von bestehenden Mobilfunk-Standorten durch mehrere Netzbetreiber gefordert. Das stellt insbesondere in städtischen Gebieten eine Herausforderung für die Genehmigung von Antennenstandorten im Standortverfahren dar. Unter Nutzung bestehender Berechnungsverfahren ist der Ausbau von Zellen (mit Überlagerung mehrerer Frequenzen) nur noch erschwert umsetzbar.

Beim Standortverfahren werden ortsfeste Funkanlagen mit einer (Gesamt-)Strahlungsleistung von mehr als 10 Watt auf die Einhaltung der Grenzwerte zum Schutz von Personen überprüft. Ein Betrieb der Anlage ist nur dann zugelassen, wenn am Installationsort die Einhaltung der Personenschutzgrenzwerte gewährleistet ist (Standortverfahren). Grundlage für das Standortverfahren bildet die Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV). Für die Beantragung einer Standortbescheinigung stellt die Bundesnetzagentur Formblätter bereit.<sup>61</sup>

Im Rahmen des Standortverfahrens können auf Antrag an die Bundesnetzagentur sog. Standortbescheinigungen für ortsfeste Mobilfunk-Standorte erstellt werden. Standorte, die potenziell die Grenzwerte überschreiten könnten, können durch die Bundesnetzagentur überprüft werden. Auch die Genehmigung, weitere Sender zu installieren, wird von der Bundesnetzagentur erteilt. Zum Standort gehören alle Funkanlagen, die auf demselben Standort oder in unmittelbarer Nähe von einander betrieben werden. Im Rahmen des Standortverfahrens berücksichtigt die Bundesnetzagentur sämtliche am Standort vorhandene Sendefunkantennen und alle Sendeanlagen die in unmittelbarer Nähe auf den Standort einwirken. Eine Standortmitbenutzung ist der BEMFV entsprechend (insbesondere § 6 BEMFV) vorgesehen.

Eine Funkanlage darf nur dann betrieben werden, wenn sich innerhalb des standortbezogenen Sicherheitsabstands keine Personen aufhalten, es sei denn aus betriebstechnischen Gründen. Der standortbe-

zogene Sicherheitsabstand ist der erforderliche Abstand zwischen der Bezugsantenne und dem Bereich, in dem die Grenzwerte nach § 3 der BEMFV (Satz 1) eingehalten werden. Die Bestimmung der Sicherheitsabstände erfolgt in der Regel rechnerisch. Im Einzelfall kann auch eine messtechnische Erteilung von Standortbescheinigungen erfolgen. Im Hinblick auf die Schaffung der Rahmenbedingungen für einen schnellen 5G-Ausbau und eine weitere Verdichtung der Netze regt die Branche verschiedene Maßnahmen an:

- Die Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Sicherheitsabstände sollten insofern optimiert werden, dass unnötige Überschätzungen vermieden werden. Auch Gebäudedämpfungen könnten darin Berücksichtigung finden.
- Im Rahmen von Anpassungen im Bauplanungs- und Bauordnungsrecht sollte geprüft werden, die zulässige Höhe von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung für verfahrensfreie Bauvorhaben von 10 m auf 15 m heraufzusetzen. Flächennutzungspläne sollten dergestalt ausgewiesen sein, dass Mobilfunkstandorte nicht länger vorzugsweise in die Außenbereiche verlagert, sondern auch in den Ortszentren errichtet werden können.
- Darüber hinaus sollten die Voraussetzungen geschaffen werden, verstärkt Standorte des Bundes, der Länder und Kommunen der Verkehrsträger sowie die Mitnutzung entsprechender Liegenschaften und Infrastruktur in die Ausbauplanung einzubeziehen

Insbesondere für die kommunale Planung ist zu klären, ob und inwiefern die Standorte der Kommune bekannt sind und diese ggfs. bei der Standortsuche und Planung z. B. auch im Zuge des Glasfaserausbaus unterstützen kann. Hierzu wäre es auch notwendig, dass eine Anzeige über die In- und Außerbetriebnahme von ortsfesten Funkanlagen (Basisstationen) in öffentlichen Telekommunikationsnetzen mit Leistungen von weniger als 10 Watt (EIRP) gemäß BEMFV §11, Abs. 2, erfolgt.

<sup>61</sup> Siehe Internetseite: <http://emf3.bundesnetzagentur.de/stob.html>

## 5

### HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Auch wenn die Herstellung von Mobilfunkversorgung im Interesse der Telekommunikationsanbieter liegt, so kann die Kommune oder der Landkreis durch überlegtes und synergetisches Handeln den Ausbau beschleunigen und den Abdeckungsgrad erhöhen. Insbesondere wenn der Ausbau von Glasfasernetzen oder andere Infrastrukturbauprojekte in Planung vorgesehen sind, lohnt es sich diese Planungen zu prüfen. Auch bei kleineren Maßnahmen wie

z.B. dem Aufbau neuer Bushaltestellen und Ampelanlagen oder der Erneuerung eines Radwegs kann ein Mehrwert geschaffen werden, ohne dass hiermit automatisch hohe Kosten verbunden sind. Die nachfolgenden Empfehlungen gehen von einem iterativen Vorgehen aus, so dass sukzessive Vorarbeiten für einen Roll-out geleistet bzw. Anfragen von Mobilfunkanbietern behandelt werden können.

### 5.1

#### STATUS QUO-ANALYSE

Zielführend ist die Aufstellung eines regionalen Ausbauplans für den Breitbandausbau, welcher auch den Aufbau von 5G-Netzen berücksichtigt. In einer möglichst kartografischen Darstellung sollte der Status quo (z.B. unter Nutzung des Infrastrukturatlas der Bundesnetzagentur<sup>62</sup> sowie der EMF-Datenbank<sup>63</sup>) herausgearbeitet werden. Die Analyse sollte ebenfalls Schwerpunkte für künftige Bedarfe enthalten. Ggfs. gekoppelt an einen Masterplan für Festnetzinfrastrukturen, sollten insbesondere vorhandene nutzbare Standorte für Sendeanlagen erhoben werden. Hierzu gehören u. a.

- Straßenlaternen
- Ampeln
- Parkautomaten
- Stadtmöbel (Bushaltestelle, digitale Werbemittel)
- digitale Parkleitsysteme
- hohe Gebäude
- WLAN-Standorte
- Kabelverzweiger und Standorte regionaler Energieversorger
- öffentliche Gebäude.

Ein wesentlicher Faktor für die Ausbreitung von Mobilfunknetzen wird die Stromversorgung der entsprechenden Standorte sein. Insofern sollten, soweit möglich, diese miterhoben und vermerkt werden. Auch ist die Erhebung möglicher bereits in nahem Umfeld bestehender Sendeanlagen von Bedeutung, um ggfs. erforderliche Standortbescheinigungen (siehe Kapitel 4 „Rechtliche Aspekte des 5G-Ausbaus“) rechtzeitig einholen zu können.

<sup>62</sup> [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/ZIdB/Einsichtnahmeberechtigte/einsichtnahmeberechtigte-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/ZIdB/Einsichtnahmeberechtigte/einsichtnahmeberechtigte-node.html), letzter Aufruf 29.05.2017

<sup>63</sup> <http://emf2.bundesnetzagentur.de/karte/default.aspx>, letzter Aufruf: 29.05.2017

## 5.2

### ENTWICKLUNGSERHEBUNG

Aufbauend auf Gesprächen mit zukünftigen Bedarfsträgern und vorhandenen Analysen werden die künftigen Nutzererfordernisse erhoben. So sollten als Bedarfsträger u. a.

- Wirtschaftsverbände und lokale Unternehmen
- Wohlfahrtsverbände und ambulante, sowie stationäre Kranken- und Pflegedienste
- Logistik-, Transport und Beförderungsunternehmen
- der Einzelhandels- und Tourismussektor
- ÖPNV und sicherheitsrelevante Akteure wie z.B. Polizei und Feuerwehr

eingebunden werden.

Falls vorhanden, sollten bestehende Verkehrsflussanalysen, Parkleitsysteme und andere Konzepte, die Aufschluss über den künftigen Nutzungsgrad geben, berücksichtigt werden.

## 5.3

### SYNERGIEN BEI BAUPROJEKTEN

Nicht in jedem Bauprojekt kommt es zwangsläufig zu Synergien mit dem Mobilfunkausbau, dennoch kann einiges „vorgedacht“ werden. Für den weiteren Verlauf ist die Erhebung von Tiefbaumaßnahmen (um im Netzausbau Kosten zu sparen) sowie auch im Hochbau (um neue Standorte identifizieren zu können), notwendig.

Tiefbauprojekte sind insbesondere für die Erschließung der Standorte mit dem leistungsstarken Backhaul interessant. Die 5G-Standorte sollten mit Glasfaseranbindungen ausgestattet werden. Da noch nicht

alle bestehenden Mobilfunkstandorte an das Glasfasernetz angeschlossen sind und für die Vielzahl neuer Standorte Glasfasern verfügbar sein müssen, lohnt es sich bei „offenem Graben“ für entsprechende Rohr- und Faserkapazitäten zu sorgen. Siehe hierzu auch „Anlage A Musterleistungsbild Gigabitgesellschaft“ des Leitfadens zum Bundesförderprogramm.<sup>64</sup>

Auch die Aufnahme von Hochbaumaßnahmen (im Idealfall im 3-D-Landschaftsmodell) kann für eine „lebende“ Weiterentwicklung des Mobilfunks entscheidend sein.

<sup>64</sup> [http://www.atenekom.eu/fileadmin/user\\_upload/Dokumente/BFP/Leitfaden\\_zum\\_Bundesfoerderprogramm.pdf](http://www.atenekom.eu/fileadmin/user_upload/Dokumente/BFP/Leitfaden_zum_Bundesfoerderprogramm.pdf), letzter Aufruf: 29.05.2017

## 5.4

### MIGRATIONSKONZEPT

In vielen Regionen wird der 5G-Roll-out nicht auf einen Schlag von den Telekommunikationsanbietern umgesetzt werden. Es wird ein stetiges Vorschreiten und eine Weiterentwicklung mit der städtischen Entwicklung geben. Auch im ländlichen Raum wird bei neu ausgewiesenen Flächen und erhöhten Anforderungen nachgerüstet. Breitband wie auch Mobilfunk sind als Gegenstand raumplanerischer Maßnahmen zu betrachten.

Um den Ausbau koordinieren und für flächendeckende Versorgung eintreten zu können, ist insbesondere bei 5G die Unterstützung der Kommune notwendig. Aus diesem Grunde sollten die Geoinformations-Mitarbeiter sowie Planungs-, Bau- und Naturschutzämter (siehe beispielsweise den Naturschutzleitfaden des Landes Hessen<sup>65</sup>) der Kommunen und des Landkreises die Besonderheiten des Mobilfunkausbaus kennen und z.B. im Baugenehmigungsverfahren (siehe auch Leitfaden des Breitbandbüro des Bundes<sup>66</sup>) die Umsetzung begleiten. Es wird empfohlen, auf der Website der Kommunen oder des Kreises einen festen Ansprechpartner für die Mobilfunkunternehmen zu nennen.

## 5.5

### ENTGELTE- UND GEBÜHREN

Die Bereitstellung öffentlicher Infrastruktur kann für den schnellen 5G-Roll-out hilfreich sein. Aus dem europäischen Beihilfenrecht folgt das generelle Verbot der selektiven Bevorteilung einzelner Marktteilnehmer. Nur unter Einhaltung bestimmter Vorgaben können solche Maßnahmen als zulässig erachtet werden (siehe hierzu Kapitel 4 „Rechtliche Aspekte des 5G-Ausbaus“). Eine Möglichkeit, die im Rahmen der Beihilfengewährung stattfindende Bevorteilung einzelner Marktteilnehmer zu reduzieren, kann die öffentliche Ausschreibung der Mitnutzung von Ampelanlagen etc. sein. Falls ein zentraler Roll-out oder eine finanzielle Unterstützung der Kommunen geplant sind, erscheint dies denkbar. Auf Dauer ist ein derartiger Ansatz, insbesondere im „lebenden“ Ausbau, wenig praktikabel.

Eine Lösung kann eine Gebührenordnung sein, wie sie auch für andere Infrastrukturnutzungen erlassen wird. In diesem Fall sollte sie differenziert die entsprechende Mitnutzung von Anlagen, wie z.B. Ampeln, Straßenlaternen etc. ausweisen. Anfragende Mobilfunkunternehmen werden so gleichbehandelt. Gleichzeitig kann eine Gebührenordnung auch für andere Technologien, wie z.B. WLAN, gelten. Es wird empfohlen, über die Gebührenordnung ebenfalls eine Meldepflicht über die Installation, aber auch die Aufgaben der Sendeeinrichtungen einzuführen und Vorgaben für die Dokumentation einzuführen. So entwickelt sich im Laufe der Zeit ein lokales „Funkkataster“.

<sup>65</sup> [https://www.breitband-in-hessen.de/mm/Naturschutzleitfaden\\_Breitbandausbau\\_16\\_03\\_2015.pdf](https://www.breitband-in-hessen.de/mm/Naturschutzleitfaden_Breitbandausbau_16_03_2015.pdf), letzter Aufruf: 29.05.2017

<sup>66</sup> [http://breitbandbuero.de/wp-content/uploads/150730\\_BBBAusbauleitfaden\\_interaktiv.pdf](http://breitbandbuero.de/wp-content/uploads/150730_BBBAusbauleitfaden_interaktiv.pdf), letzter Aufruf: 29.05.2017

## 5.6

### EINBINDUNG REGIONALER ENERGIEVERSORGER

Mobilfunkanbindungen, so auch 5G, benutzen Sendeanlagen und -einrichtungen, die je nach Größe und Ausbreitung einen erhöhten Strombedarf haben. Daher sollte eine frühzeitige Abstimmung mit den regionalen Energieversorgern, insbesondere im Hinblick auf einen flächendeckenden Roll-out, erfolgen. Wichtig, und gleiches gilt für die Erhebung des Status quo, sind Fragen wie:

- Ist eine Stromversorgung vorhanden?
- Ist die Stromversorgung ausreichend?
- Entstehen Ausbaurkosten, z.B. für einen zusätzlichen Zähler?

Dienste wie autonomes Fahren und Elektromobilität verändern bereits den Energiefluss in der Region. Durch die Nutzung von 5G wird sich der Verbrauch durch die Senderstandorte, aber auch durch die hierdurch ermöglichten Dienste, verändern. Da die Anforderungen je nach Größe des Standortes und der Sendeanlagen unterschiedlich sein können, empfiehlt sich auch hier die frühzeitige Abstimmung mit den Mobilfunkversorgern. Grundsätzlich dürfen Gesamtenergieproduktion und -verbrauch der Region nicht vernachlässigt werden.

## 5.7

### DOKUMENTATION IM GEOINFORMATIONSSYSTEM

Die Standortdaten von Sendeanlagen, aber auch potenzieller neuer Standorte, sind essentiell für die Funkplanung. Es ist zu empfehlen entsprechende Daten zu erheben und fortlaufend zu dokumentieren. Die Kommune kann durch das Wissen über die örtlichen Gegebenheiten den Ausbau massiv unterstützen. Das TKG ermöglicht in § 68 (3) in Bezug auf die Standortsicherung entsprechende Vorgaben zur Dokumentation:<sup>67</sup>

„Die Zustimmung kann mit Nebenbestimmungen versehen werden, die diskriminierungsfrei zu gestalten sind; die Zustimmung kann außerdem von der Leistung einer angemessenen Sicherheit abhängig gemacht werden. Die Nebenbestimmungen dürfen

nur die Art und Weise der Errichtung der Telekommunikationslinie sowie die dabei zu beachtenden Regeln der Technik, die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs, die im Bereich des jeweiligen Wegebausträgers übliche Dokumentation der Lage der Telekommunikationslinie nach geografischen Koordinaten und die Verkehrssicherungspflichten regeln.“

Die Einrichtung eines Funkkatasters mit entsprechenden Standorten (siehe Abschnitt zur Status quo-Analyse) sowie die fortlaufende Pflege sollten durch die Kommune, den Landkreis, ggfs. auch durch Zweckverbände in Zusammenarbeit mit dem Land sichergestellt werden.

<sup>67</sup> Vgl. z.B.: [http://norm.bverwg.de/jur.php?tkg\\_2004,68](http://norm.bverwg.de/jur.php?tkg_2004,68), letzter Aufruf: 29.05.2017

## 6

### ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	vierte Mobilfunkgeneration
5G	fünfte Mobilfunkgeneration
5G-PPP	5G-Public Private Partnership
AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BNetzA	Bundesnetzagentur
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
EU-KOM	Europäische Kommission
FDD	Frequency Division Duplexing
FTTB	Fibre To The Building
FTTC	Fibre To The Curb
FTTH	Fibre To The Home
GEREK	Gremium Europäischer Regulierungsstellen für elektronische Kommunikation
GHz	Gigahertz
HFC	Hybrid-Fibre-Coax
HTAI	Hessen Trade & Invest GmbH
IMT	International Mobile Telecommunications
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
IVSG	Intelligente Verkehrssysteme Gesetz
LTE	Long Term Evolution
m2m	machine to machine
Mbit/s	Megabit pro Sekunde
MHz	Megahertz
mMTC	massive Machine Type Communication
NGA	Next Generation Access
NRB	Nationale Regulierungsbehörden
OTT	Over The Top
QoS	Quality of Service
RSPG	Radio Spectrum Policy Group
SDL	Supplementary Downlink
UHD	Ultra High Definition
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication
V2N	Vehicle to Networks
V2P	Vehicle to Pedestrian
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to everything
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
WLAN	Wireless Local Area Network
WRC	World Radiocommunication Conference



## GLOSSAR

### 5G

Bezeichnung für die fünfte Mobilfunkgeneration, Nachfolgestandard des derzeit aktuellen Mobilfunknetzes (4G). Mit dem neuen Standard sollen technische Fortschritte wie z. B. höhere Datenübertragungsraten, sehr geringe Reaktionszeiten oder auch eine sehr viel höhere Gerätedichte eine Vielzahl neuer digitaler Anwendungsmöglichkeiten im Mobilfunk ermöglichen.

### 5G Private Public Partnership (5GPPP)

Bei der 5GPPP handelt es sich um eine von der EU-Kommission als Public-Private-Partnership eingesetzte Institution mit öffentlichen und privatwirtschaftlichen Partnern, welche in Projekten und Arbeitsgruppen 5G-Technologien und -Lösungen vor dem Hintergrund des Aktionsplans „5G für Europa“ der Europäischen Kommission erarbeiten.

### Augmented Reality (AR)

Auf Deutsch auch als „erweiterte Realität“ bezeichnet, beschreibt die computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung. Mittels Smartphone oder spezieller Brillen werden visuelle Wahrnehmungen um digitale Informationen ergänzt und kombiniert oder überlagert dargestellt. AR unterscheidet sich insofern von Virtual Reality (VR), dass die Grundlage der dargestellten Information die reale Umgebung des Nutzers darstellt.

### Backhaul

In der Netzwerk- und Telekommunikationstechnik die Bezeichnung für die Anbindung eines vorgelagerten, untergeordneten Netzknotens. Im Mobilfunkbereich kann hierunter die Anbindung der Sendeeinrichtung an das übergelagerte Netz verstanden werden. Für 5G-Sendeeinrichtungen kann davon ausgegangen werden, dass der Backhaul zumeist in Form von Glasfaserverbindungen realisiert wird. Die Notwendigkeit von Glasfaser-Backhaul-Verbindungen stellt eine der Herausforderungen im 5G-Ausbau dar.

### Backbone

Backbone (engl. für Rückgrat, Hauptstrang, Basisnetz) bezeichnet einen verbindenden Kernbereich eines Telekommunikationsnetzes mit sehr hohen Datenübertragungsraten, der meist aus einem Glasfasernetz sowie satellitengestützten Kommunikationselementen besteht.

### Bandbreite (Kanalbandbreite)

In der funkbasierten Signalübertragung bezeichnet die Kanalbandbreite die Breite eines Intervalls im Funkspektrum. Umgangssprachlich wird der Begriff Bandbreite häufig auch zur Beschreibung der maximal erreichbaren Datenübertragungsrate eines Zugangsprodukts verwendet.

### CEPT

Abkürzung für „Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications; dt.: Europäische Konferenz der Verwaltungen für Post und Telekommunikation“

Die CEPT versteht sich als europäisches Forum für regulatorische Abstimmungen der Mitgliedsstaaten im Bereich Post und Telekommunikation. Behandelt werden u. a. Grundsatzfragen zur harmonisierten, effizienten Nutzung von Funkfrequenzen.

### Critical Communications/Ultra reliable and low latency communications (URLLC)

Unter dem Begriff versteht man ein Anforderungsprofil von Anwendungen, welche durch eine hohe Verfügbarkeit und Ausfallsicherheit des Telekommunikationsdienstes und durch ultrakurze Latenzzeiten gekennzeichnet sind. Diese Anforderungen sollen auch bei einer hohen Mobilität der Netzteilnehmer (zwischen den Funkzellen und mit hoher Geschwindigkeit innerhalb der Funkzelle) gewährleistet werden. Die Erfüllung dieses Anforderungsprofils ist ein zentrales Leistungsmerkmal des zukünftigen 5G-Standards.

### DVB-T/DVB-T2

Abkürzung für „Digital Video Broadcasting - Terrestrial“; Standard für die Funkübertragung von digitalem Fernsehen und Hörfunk über terrestrische Kanäle. DVB-T2 ist der Nachfolgestandard und ist durch eine höhere spektrale Effizienz charakterisiert, was eine höhere Anzahl von Programmen und eine höhere Qualität der übertragenen Inhalte ermöglicht. Die Technologie spielt für die Einführung von 5G eine Rolle, da die für DVB-T verwendeten Frequenzen im 700 MHz Bereich liegen und zukünftig für Mobilfunk eingesetzt werden sollen. Mit der Umstellung auf DVB-T2 bis zum Jahr 2020 werden die entsprechenden Frequenzen für den Mobilfunk freigegeben.

### Dienstgüte/Quality of Service (QoS)

Beschreibt die Güte oder auch Qualität eines Kommunikationsdienstes aus der Sicht des Anwenders. Zu den Parametern der Dienstgüte gehören beispielsweise die Zuverlässigkeit der Verbindung, die Stabilität der erreichten Datenübertragungsrate oder auch die für den Verbindungsaufbau nötige Zeit.

### E-Government

Unter E-Government versteht man die digitale Umsetzung von Verwaltungsprozessen zur Information, Kommunikation oder Transaktion zwischen und innerhalb von staatlichen Institutionen sowie darüber hinaus mit privaten Organisationen und Bürgern.

### E-Health

Abkürzung für Electronic Health. Unter dem Begriff werden Dienste, Produkte und Verfahren im Gesundheitsbereich zusammengefasst, die mittels digitaler Technologien ermöglicht werden. Hierzu gehören vielfältige Anwendungsfelder von der Vorbeugung über die Diagnose bis hin zur Behandlung von Krankheiten oder auch die Überwachung von Vitaldaten von Patienten.

### Enhanced Mobile Broadband (eMBB)/ Enhanced Ultra Mobile Broadband (eUMB)

Unter diesen Fachbegriffen werden 5G-Funktionalitäten verstanden, welche den Einsatz von mobilen Diensten mit sehr hohen Datenübertragungsraten ermöglichen. Durch den Einsatz neuer Technologien wie massive MIMO und die Nutzung von sehr hohen Frequenzen im Millimeterwellen-Bereich könnten höhere Datenraten im Up- und Downstream sowie eine höhere Kapazität pro Flächeneinheit innerhalb der Funkzelle erreicht werden.

### Frequenzduplex

Der Begriff Frequenzduplex (engl. frequency division duplex, FDD) bedeutet, dass Daten im Up- und Download jeweils mit einer eigenen Trägerfrequenz übertragen werden. Dadurch kann ein Endgerät gleichzeitig senden und empfangen.

### HFC (Hybrid fibre coax)

Hybrid Fibre Coax ist eine Technologie, die durch eine Segmentierung der (häufig bestehenden) TV-Kabelnetze mit Anbindung der einzelnen Segmente durch Glasfasertechnologie die Leistungsfähigkeit von Kabelnetzen zur digitalen Datenübertragung erhöht. HFC ermöglicht es den Providern, ihren Kunden auf Basis der Kabelnetze digitale Zugangsprodukte mit hohen Datenübertragungsraten anzubieten. Da es sich bei TV-Kabel-Segmenten um ein sog. Shared Medium handelt, kann durch die Segmentierung und leistungsfähige Rückanbindung mittels Glasfaser die mittlere Leistung pro Nutzer deutlich erhöht werden.

### IMT-2020 International Mobile Telecommunication for 2020 and beyond

IMT-2020 ist der Arbeitstitel der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) für den Standardisierungsprozess der 5. Mobilfunkgeneration.

### Intelligente Verkehrssysteme

Sammelbegriff für digitale Systeme im Bereich der Verkehrsinfrastruktur im Zusammenspiel mit digitalen vernetzten Technologien in Fahrzeugsystemen. Durch die Entwicklung und den Einsatz intelligenter Verkehrssysteme soll der Verkehr effizienter, sicherer und umweltfreundlicher werden. 5G-Mobilfunk gilt als wichtige Infrastruktur für die Errichtung intelligenter Verkehrssysteme. Vgl. auch: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/ivs-im-strassenverkehr.html> (letzter Aufruf: 29.05.2017)

### Intelligente Verkehrssysteme Gesetz (IVSG)

Das Intelligente Verkehrssysteme Gesetz (IVSG) ist am 21. Juni 2013 in Kraft getreten. Mit dem Intelligente Verkehrssysteme Gesetz (IVSG) wurde die Richtlinie 2010/40/EU zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern (IVS-Richtlinie) in nationales Recht umgesetzt. Vgl. auch: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/ivs-im-strassenverkehr.html> (letzter Aufruf: 29.05.2017)

### IoT Internet of Things

Deutsch: Internet der Dinge. Mit dem Begriff wird die fortschreitende Vernetzung von Geräten aller Art, Sensornetzwerken, Maschinen, Bauteilen und weiteren physischen Objekten über das Internet bezeichnet. IoT-Technologien stellen eine wichtige Grundlage für Entwicklungen im Bereich Industrie 4.0 dar. Durch 5G-Mobilfunk soll eine sehr viel größere Anzahl von gleichzeitig aktiven Teilnehmergeräten pro Funkzelle im Vergleich zu bestehenden Technologien ermöglicht werden. 5G stellt damit eine wichtige Voraussetzung für verschiedene IoT-Anwendungsfelder dar.

### Industrie 4.0

Der Begriff steht für die vierte industrielle Revolution, in welcher industrielle Wertschöpfungsprozesse mittels digitaler Systeme vernetzt werden. Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkte kommunizieren dabei direkt und automatisiert miteinander im Wertschöpfungsprozess. Dadurch sollen letztlich komplett digitalisierte und vernetzte Wertschöpfungsketten realisiert werden, die die Entwicklung neuer individueller Produkte und Dienstleistungen ermöglichen und die Produktionsprozesse optimieren.

### ITU - International Telecommunications Union (dt.: Internationale Fernmeldeunion)

Die Internationale Fernmeldeunion ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen. Sie befasst sich als offizielle Institution weltweit mit technischen Aspekten der Telekommunikation.

### **ITU-R - International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector (dt.: Internationale Fernmeldeunion - Funkkommunikation)**

Die ITU-R ist der zuständige Sektor der ITU für internationale Angelegenheiten im Zusammenhang mit Funkkommunikation und insofern in den Standardisierungsprozess von 5G-Mobilfunk involviert.

### **Latenz**

Unter Latenz wird in der Telekommunikation die Reaktions- oder Verzögerungszeit zwischen einer Aktion und der dazugehörigen Reaktion bezeichnet. Bei der Übertragung von Signalen über eine Kombination von Funkstrecken und nachgelagerten Netzabschnitten ist damit die Signallaufzeit bis zum Ziel gemeint. Die Latenz wird maßgeblich durch die Verarbeitungsgeschwindigkeit der aktiven Komponenten innerhalb eines Systems beeinflusst. Mit 5G sollen durch sehr kurze Latenzzeiten von unter 1 ms URLLC-Anwendungen des sog. „taktilem Internets“ ermöglicht werden.

### **Long Term Evolution (LTE)**

Bezeichnet eine Mobilfunktechnologie der dritten Mobilfunkgeneration. Unter dem Namen LTE-Advanced wurden abwärtskompatible Erweiterungen mit erweiterten Leistungsmerkmalen entwickelt, die eine höhere maximale Datenübertragungsrate ermöglichen. LTE-Advanced ist aufgrund der Leistungsdaten der 4. Mobilfunkgeneration (IMT-Advanced) zuzuordnen. LTE-Advanced ist aktuell eine der modernsten Mobilfunktechnologien.

### **Machine to Machine Communication (M2M)**

Der Begriff steht für den automatisierten Informationsaustausch zwischen Geräten wie Maschinen, Fahrzeugen, Endgeräten oder auch umgebende Fertigungsanlagen. Hierzu gehört sowohl die Steuerung als auch die Überwachung und Kontrolle der einzelnen Geräte. Durch den Informationsaustausch lassen sich automatisierte Wertschöpfungsketten im Sinne von Industrie 4.0 realisieren.

### **Massive MIMO**

Abkürzung (engl.) für „massive Multiple Input Multiple Output“. Bezeichnet bei Funkübertragungssystemen ein Verfahren, welches unter Nutzung mehrerer Sende- und Empfangsantennen sowohl beim Empfänger als auch beim Sender eine deutliche Erhöhung der Datenübertragungsrate gegenüber Einzelantennensystemen ermöglicht.

### **Massive Internet of Things (mIoT)/Massive Machine-Type Communication (mMTC)**

Unter diesem Begriff werden neuartige Anwendungsprofile in der Telekommunikation verstanden, welche sich durch eine sehr hohe Gerätedichte pro Flächeneinheit in Form von IoT-Geräten, auch in Kombination mit vernetzten Maschinen oder Fahrzeugen und angrenzenden Systemen auszeichnen. Ermöglicht werden diese Anwendungen mittels 5G-Mobilfunk durch Fortschritte bei der Energieeffizienz und der stark steigenden Anzahl gleichzeitig verwaltbarer Endgeräte pro Funkzelle. So können beispielsweise dichte Sensornetze ihre Umgebung jederzeit überwachen.

### **Millimeterwellen - Millimeter Wave (mmWave)**

Millimeterwellen sind Funkwellen, deren Wellenlänge im Millimeterbereich liegt (1-10 mm), was einem Frequenzband von 30 GHz bis 300 GHz entspricht. Der Einsatz von Frequenzbändern in diesem Bereich für 5G-Mobilfunk wird derzeit in den internationalen Gremien diskutiert. Für den 5G-Ausbau würden sich sehr kleinräumige so genannte Small- und Micro-Cells zur Versorgung von Räumen mit besonders hohem Nutzeraufkommen eignen.

### **Modulationsverfahren**

Modulation bezeichnet einen Vorgang in der Nachrichtentechnik, mit dem das zu übertragende Nutzsignal auf ein so genanntes Trägersignal aufgebracht (moduliert) wird. Durch die technologische Fortentwicklung der Modulationsverfahren und der Leistungsfähigkeit der benötigten Modulations- und Demodulationstechnologien kann die Spektraleffizienz gesteigert werden. Im Mobilfunk ist heute die Quadraturamplitudenmodulation in unterschiedlicher Konfiguration das etablierte Modulationsverfahren.

### **Next Generation Networks (NGN)/**

### **Next Generation Access (NGA)/**

### **Next Generation Mobile Networks (NGMN)**

Netzwerktechnologien, für welche einheitliche paketvermittelnde Übertragungsverfahren (IP-Netze) zum Einsatz kommen. Sie lösen damit die traditionellen leitungsvermittelnden Verfahren z. B. aus der Telephonie, dem analogen Kabelfernsehen oder auch der analogen und digitalen Übertragungsverfahren in Mobilfunknetzen ab. Dienste wie Sprache, Videokommunikation, Fernsehen u. v. m. werden damit mit einem einheitlichen Übertragungsverfahren angeboten.

### **Open Access Network (OAN)**

Bezeichnet in der Telekommunikation Netze, in denen die Nutzung der Netze von der Errichtung und dem Betrieb getrennt sind. Dadurch wird ermöglicht, dass eine Vielzahl konkurrierender Diensteanbieter z. B. Zugangsprodukte mit individuellen Leistungsmerkmalen den Endkunden anbieten können. Eine Netzinfrastruktur steht damit einer Vielzahl von Anbietern offen.

### **Radio Spectrum Policy Group (RSPG)**

Die Radio Spectrum Policy Group ist ein beratendes Gremium der Europäischen Kommission für frequenzpolitische Themen. Es unterstützt die Kommission in diesem Bereich zur Koordinierung der politischen Ansätze und Maßnahmen in den Mitgliedsstaaten mit dem Ziel der Errichtung eines harmonisierten europäischen Binnenmarkts. In Deutschland ist das BMWi als Vertreter in diesem Gremium, unterstützt durch die Bundesnetzagentur.

### **Taktiler Internet**

Unter Anwendungen des taktilen Internets versteht man Dienste und Anwendungen, welche eine extrem kurze und damit für Menschen nicht wahrnehmbare Latenzzeit aufweisen bzw. erfordern. Hierzu gehören beispielsweise Anwendungen im E-Health-Bereich (z. B. Telechirurgie) oder auch Anwendungen im Kontext der intelligenten Verkehrssteuerung, etwa bei der V2X-Kommunikation.

### **Shannon-Hartley-Gesetz**

Beschreibt die theoretische Obergrenze der wahrscheinlich möglichen erreichbaren und dabei noch fehlerfreien Datenrate eines Übertragungskanal, abhängig von der Bandbreite und dem Signal/Rausch-Verhältnis.

### **Small Cells/Micro-Cells/Macro-Cells**

Während Macro-Cells durch eine hohe Reichweite einen großen Sende- und Empfangsradius abdecken und so für eine flächendeckende Versorgung mit Mobilfunk eingesetzt werden, dienen so genannte Small-Cells und Micro-Cells zur Versorgung von Gebieten mit einem hohen Aufkommen von Mobilfunkteilnehmern auf engem Raum wie z. B. in Stadtzentren, Bahnhöfen oder Stadien. Durch eine Vielzahl von diesen Funkzellen mit einem deutlich kleineren Radius kann die verfügbare Datenübertragungskapazität auf weniger Teilnehmer verteilt werden. Mit 5G werden Small- und Micro-Cells voraussichtlich an Bedeutung gewinnen. Insbesondere im Frequenzbereich über 6 GHz sind nur noch Funkzellen mit vergleichsweise kleinem Radius möglich.

### **Smart City**

Unter dem Begriff werden Konzepte, Technologien und Innovationen verstanden, die das Ziel verfolgen, Städte in ihren verschiedensten Funktionsbereichen effizienter, umweltschonender, technologisch fortschrittlicher, sozialer und damit insgesamt „intelligenter“ zu machen. Dabei werden neue Technologien mit sozialen und wirtschaftlichen Innovationen kombiniert. Der Telekommunikationsinfrastruktur und damit auch 5G kommt damit eine zentrale Ermöglichungsfunktion für eine Vielzahl unterschiedlicher Dienste und Systeme zu.

### **Spektraleffizienz**

Unter Spektraleffizienz oder auch Bandbreiteneffizienz versteht man das Verhältnis zwischen der Datenübertragungsrate und der Bandbreite des Signals, im Mobilfunk also der Bandbreite im verwendeten Funkfrequenzband. Mit 5G soll eine Steigerung der Spektraleffizienz einhergehen und so die Datenübertragungskapazität der Funkzellen gesteigert werden.

### **Supplementary Downlink (SDL)**

Der Supplementary Downlink ist ein Bereich im Frequenzband, der zusätzlich zum bestehenden Downlinkkanal verwendet wird, um die Kanalbandbreite im Downlink zu erhöhen und somit höhere Datenraten zu ermöglichen. Das führt zu einem deutlich verbesserten Nutzererlebnis, da der größere Teil des Datenverkehrs in der Regel im Downlink entsteht.

### **Virtual Reality (VR)**

Auf Deutsch auch als „virtuelle Realität“ bezeichnet, steht der Begriff für die Darstellung und möglichst intensive Wahrnehmung einer computergenerierten, interaktiven virtuellen Umgebung, z. B. durch Einsatz von so genannten VR-Brillen. In Abgrenzung zu Augmented Reality wird die reale Umgebung des Nutzers nicht in die Anwendung integriert.

### **Vehicle-to-Everything (V2X)**

Der Begriff sammelt verschiedene digitale Kommunikationsfunktionen im Kontext von intelligenten Verkehrssystemen und autonomer Mobilität. Es geht dabei um den Austausch von Informationen zwischen einem Fahrzeug und den umgebenden Systemen. Bei dem Kommunikationspartner kann es sich sowohl um andere Fahrzeuge handeln (Vehicle-to-Vehicle, V2V) aber beispielsweise auch um Verbindungen zur umgebenden Infrastruktur (Vehicle-to-Infrastructure, V2I) oder zu Energienetzen (Vehicle-to-Grid, V2G). Dabei ist die Liste der Varianten nicht abgeschlossen und es ist eine Vielzahl weiterer Kombinationen vorstellbar.

Herausgeber:



Projekträger:

