

Frequenzmanagement:
Lokale/regionale Anwendungsfälle bei 5G
für bundesweite Mobilfunknetzbetreiber
sowie für regionale und lokale Betreiber

unter besonderer Betrachtung der
europäischen Länder sowie
von China, Südkorea und
den Vereinigten Staaten von Amerika

Autoren:
Bernd Sörries
Lorenz Nett

Bad Honnef, Dezember 2019

Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik.org
www.wik.org

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführerin und Direktorin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor Abteilungsleiter Post und Logistik	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Direktor Abteilungsleiter Regulierung und Wettbewerb	Dr. Bernd Sörries
Leiter der Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzende des Aufsichtsrates	Dr. Daniela Brönstrup
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7225
Steuer-Nr.	222/5751/0722
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.

ISSN 1865-8997

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen	III
Tabellen	III
Zusammenfassung	V
Summary	VI
1 Einleitung	1
2 5G-Campus-Netze als die prominenteste Form lokaler privater dezidierter 5G-Netze	4
2.1 Generierung lokaler dezidierter Netze durch die Mobilfunknetzbetreiber über Network-Slices	9
2.2 Die Errichtung eigener dezidierter lokaler Netze auf Basis von eigenen Frequenznutzungsrechten	10
2.3 Regionale Plattformbetreiber generieren lokale 5G-Dienste	11
3 Frequenzzuteilungen als Grundressource für den Aufbau lokal dezidierter 5G-Netze	12
3.1 Einleitung	12
3.2 Gegenwärtig für 5G vorgesehene bzw. priorisierte Frequenzbänder	13
3.3 Weitere zukünftig für 5G-nutzbare Frequenzbänder, die potentiell auf der WRC-2019 identifiziert werden	15
4 Aktuelle bzw. intendierte 5G-Frequenzzuteilungen in ausgewählten Ländern, die insbesondere auch für Campus-Netze nutzbar sind	17
4.1 5G-Frequenzzuteilungen mit nationalem Frequenznutzungsrecht in China, Südkorea, den Vereinigten Staaten von Amerika und ausgewählten Ländern in Europa	17
4.1.1 5G-Frequenzzuteilungen in China	17
4.1.2 5G-Frequenzzuteilungen in Südkorea	21
4.1.3 5G-Frequenzzuteilungen in den Vereinigten Staaten von Amerika	24
4.1.4 Stand der Frequenzzuteilungen für 5G-Nutzungen in Europa	27
4.1.4.1 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen in Frankreich	27
4.1.4.2 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen in Italien	30
4.1.4.3 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen in Österreich	31
4.1.4.4 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen in Spanien	32
4.1.4.5 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen in der Schweiz	33
4.1.4.6 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen im Vereinigten Königreich	34

4.2 Maßnahmen im Rahmen des Frequenzmanagement zur Förderung von 5G-Campus-Netzen in Europa	35
4.2.1 Belgien	36
4.2.2 Dänemark	36
4.2.3 Deutschland	36
4.2.4 Irland	37
4.2.5 Italien	38
4.2.6 Kroatien	39
4.2.7 Litauen	39
4.2.8 Luxemburg	40
4.2.9 Niederlande	40
4.2.10 Polen	42
4.2.11 Portugal	42
4.2.12 Schweden	43
4.2.13 Slowakei	43
4.2.14 Slowenien	44
4.2.15 Tschechische Republik	44
4.2.16 Vereinigtes Königreich	45
4.2.17 Zypern	46
4.3 Zwischenfazit	47
5 Fazit mit Blick auf 5G-Campus-Netze und Frequenzmanagement	49
Literaturverzeichnis	52

Abbildungen

Abbildung 1:	Schematische Darstellung eines Campus-Netzes	5
Abbildung 2:	Wichtige Elemente (Campus-Netz-Portfolio) bei der Errichtung von Campus-Netzen	7
Abbildung 3:	Kosten eines 5G-Campus-Netzes	8
Abbildung 4:	Primär genutzte Frequenzbänder, die für 5G-Anwendungen in Europa getestet wurden	15

Tabellen

Tabelle 1:	Anwendungsfälle von 5G-Campus-Netzen	6
Tabelle 2:	5G-nutzbare Frequenzbänder in mittleren Frequenzlagen	13
Tabelle 3:	Gegenwärtige Frequenzzuteilungen an Mobilfunknetzbetreiber (MNB) in China unterhalb von 3 GHz (in MHz)	18
Tabelle 4:	Gegenwärtige Frequenzzuteilungen an Mobilfunknetzbetreiber (MNB) in Südkorea unterhalb von 3 GHz (in MHz)	21
Tabelle 5:	Frequenzzuteilungen im Bereich 3.420 – 3.700 MHz als Ergebnis der Frequenzversteigerung 2018 in Südkorea	22
Tabelle 6:	Frequenzzuteilungen im Bereich High-band (26,5 GHz – 28,9 GHz) als Ergebnis der Frequenzversteigerung 2018 in Südkorea	23
Tabelle 7:	Gegenwärtige Frequenzzuteilungen für kommerzielle mobile Dienste in den USA (in MHz)	25
Tabelle 8:	Lokale Frequenzvergaben im Bereich 3,6 GHz in Europa	47

Zusammenfassung

Der neue Mobilfunkstandard 5G eröffnet im Vergleich zu den bisherigen Mobilfunktechnologien neue Anwendungsmöglichkeiten über Sprachtelefonie und mobiles Breitband hinaus. Aufgrund der technischen Features und funktionalen Eigenschaften der neuen Funktechnologie und Systemarchitektur geht man davon aus, dass 5G insbesondere geschäftlich in den Bereichen Intelligente Mobilität, Industrie 4.0, Intelligente Versorgungsnetze, Logistik, E-Health oder in der Landwirtschaft einsetzbar ist. Hier wird auch das wirtschaftliche Potential des neuen Standards gesehen. Neben dem Angebot von Telekommunikationsdiensten auf Basis von 5G in der Fläche, versprechen sich gewerbliche Anwender von sogenannten „Campus-Netzen“ eine besondere Bedeutung bei der Digitalisierung von Wertschöpfungsprozessen. 5G-Campus-Netze werden in einer breiteren Öffentlichkeit insbesondere im Kontext von Industrie-4.0-Anwendungen diskutiert. Frequenzzuteilungen der für 5G relevanten Frequenzen sind von Seiten der Frequenzmanagementbehörden im Gange, vorwiegend Auktionen, bei denen nationale Frequenznutzungsrechte vergeben werden. Einige Frequenzmanagementbehörden fördern jedoch gezielt die Möglichkeit der Errichtung eigenständiger lokal dezidierter 5G-Netze, die dann als 5G-Campus-Netze bezeichnet werden. Beispielsweise Deutschland, die Niederlande und das Vereinigte Königreich teilen lokal Frequenznutzungsrechte zu. Hierbei erhalten Unternehmen die Möglichkeit, Frequenznutzungsrechte für den Einsatz auf ihrem Betriebsgelände zu erwerben und eigene 5G-Campus-Netze bedarfsgerecht selbst mit eigenen exklusiven Frequenznutzungsrechten zu errichten und zu betreiben. Das könnte einen Paradigmenwechsel in der Frequenzpolitik mit der Folge darstellen, dass neue Anbieter und Nachfrager die bisher durch nationale Anwendungen charakterisierten Mobilfunkmärkte betreten.

Ziel des vorliegenden Diskussionsbeitrags ist die Darstellung der Frequenzmanagementpolitik der nationalen Frequenzmanagementbehörden in Europa, China, Südkorea und den Vereinigten Staaten von Amerika, die darauf ausgerichtet ist, lokale dezidierte private 5G-Netze zu ermöglichen bzw. zu fördern. Diese Informationen wurden primär im Rahmen einer Befragung der Frequenzmanagementbehörden von Seiten der Bundesnetzagentur in Zusammenarbeit mit dem WIK eruiert.

Es zeigt sich, dass das Frequenzmanagement in Europa zunehmend darauf ausgerichtet ist, dass Unternehmen und Institutionen lokal die Möglichkeit erhalten, mit eigenen Frequenznutzungsrechten 5G-Campus-Netze errichten zu können. Als Vorreiter in Europa stellen Deutschland und das Vereinigte Königreich hierzu exklusiv Frequenznutzungsrechte lokal zur Verfügung. Die Bundesnetzagentur 100 MHz im Bereich 3,6 GHz, Ofcom in verschiedenen Frequenzlagen (1.781,7 – 1.785 MHz gepaart mit 1.876,7 – 1.880 MHz „gemeinsam genutzte 1800-MHz-Frequenzen“, 2.390 – 2.400 MHz, 3,8 – 4,2 GHz und 24,25 – 26,5 GHz (indoor)). Ofcom ermöglicht somit den Unternehmen, ein aus ihrer Sicht optimales Frequenzportfolio aus verschiedenen Frequenzlagen zu nutzen. Andere Frequenzmanagementbehörden befinden sich noch in der Entscheidungsfindung.

Summary

The new 5G mobile communications standard opens up new applications beyond voice telephony and mobile broadband compared to previous mobile communications technologies. Due to the technical features and functional characteristics of the new wireless technology and system architecture, it is presumed that 5G can be used in particular for business purposes in the areas of intelligent mobility, industry 4.0, intelligent supply networks, logistics, e-health or agriculture. The economic potential of the new standard is also seen here. In addition to offering telecommunication services based on 5G over a wide area, commercial users of so-called „campus networks“ are expecting special significance in the digitization of value-added processes. 5G campus networks are discussed in a broader public, particularly in the context of industry 4.0 applications. Frequency assignments of the frequencies relevant for 5G are underway on the part of the frequency management authorities, mainly auctions in which national frequency usage rights are awarded. However, some frequency management authorities are specifically promoting the possibility of setting up independent, locally dedicated 5G networks, which are then referred to as 5G campus networks. For example, Germany, the Netherlands and the UK allocate spectrum rights locally. This allows companies to acquire frequency usage rights for use on their premises and to build and operate their own 5G campus networks with their own exclusive frequency usage rights as required. This could represent a paradigm shift in spectrum policy with the result that new suppliers and customers enter the mobile communications markets, which have so far been characterized by national applications.

The aim of this document is to present the frequency management policy of the national frequency management authorities in Europe, China, South Korea and the United States of America, aimed at enabling and promoting local dedicated private 5G networks. This information was primarily obtained through a survey of the frequency management authorities by the Federal Network Agency in cooperation with WIK.

It is evident that spectrum management in Europe is increasingly geared towards enabling companies and institutions to build 5G campus networks locally with their own spectrum usage rights. As pioneers in Europe, Germany and the United Kingdom are providing exclusive frequency usage rights locally for this purpose. The Federal Network Agency 100 MHz in the 3.6 GHz range, Ofcom in various frequency ranges (1,781.7 - 1,785 MHz paired with 1,876.7 - 1,880 MHz “the shared 1800 MHz spectrum”, 2,390 - 2,400 MHz, 3.8 - 4.2 GHz and 24.25 - 26.5 GHz (indoor). Ofcom thus enables companies to use what they consider to be an optimal frequency portfolio from various frequency bands. Other frequency management authorities are still in the decision-making process.

1 Einleitung

5G ist der neue Mobilfunkstandard, der aufgrund seiner technischen Leistungsmerkmale vielfältige, und in ihren technischen Ausprägungen sehr unterschiedliche neue Anwendungen und Dienste ermöglicht. Neben dem verbesserten mobilen Breitband mit höheren Datenübertragungsraten unterstützt 5G auch andere Anwendungsfälle wie hochzuverlässige und latenzarme Kommunikation sowie massive maschinelle Kommunikation, wie sie das Internet der Dinge prägt.¹ Diese Anwendungsfälle decken insbesondere Anwendungen wie Smart Farming und eine automatisierte Industrieproduktion, Smarte Fußballstadien etc. ab, die ein dediziertes, aber nur lokales 5G-Netzwerk mit anwendungsspezifischem Design (d. h. in Bezug auf Latenz, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Anzahl der Verbindungen, Kapazität, Versorgungsbedarf etc.) des Netzwerks erfordern. Häufig handelt es sich dabei, um sogenannte Campus-Netzwerke.

Private lokale dedizierte 5G-Netzwerke (PLD-5GN) wie Campus-Netzwerke oder City-Area-Networks als drahtlose Netzwerke sind auf Frequenzen als unverzichtbare Ressourcen angewiesen. Nur durch Nutzung dieser sind Funkübertragungen möglich. Für mögliche Betreiber von derartigen Netzen stellt sich somit die Frage, wie sie Frequenznutzungsrechte erwerben können, die es ihnen erlauben, Frequenzen für ihre Zwecke zu verwenden. Andernfalls sind sie darauf angewiesen, über andere Frequenzzuteilungsnehmer, in der Regel öffentliche Mobilfunknetzbetreiber, ihr lokales 5G-Netz aufbauen und betreiben zu lassen. Unterschiedliche Frequenzmanagementkonzepte können den Verticals² den Zugang zu Frequenznutzungsrechten ebnen.

Die Nutzungsrechte von Frequenzen werden von den nationalen Frequenzmanagementbehörden vergeben. Frequenznutzungsrechte können auf verschiedene Weise vergeben und erworben werden, entweder exklusiv lizenziert, als partiell gemeinsam genutzte Frequenzen oder als generelle Allgemeinzuteilung. oder als gemeinsames Nutzungsrecht (allgemeine Berechtigung), das einen umfassenden Satz von Benutzerbedingungen umfasst, um Störungen bzw. Interferenzen³ zu vermeiden und eine wirk-

1 Siehe hierzu DotEcon und Axon (2017): Study on implications of 5G Deployment of Future Business Modells, Studie für Body of European Regulators for Electronic Communications (BEREC), No BEREC/2017/02/NP3. sowie BMVi (2019): Mobilfunkstrategie – 5-Punkte-Plan zur Beschleunigung von Planung, Genehmigung und Ausbau von 4G- und 5G-Netzen sowie zur Schließung von Mobilfunklücken im 4G-Netz, Berlin, September 2019, verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Mobilfunkstrategie.pdf?__blob=publicationFile.

2 Verticals ist ein Synonym geschäftliche Anwender in einer Reihe von Branchen oder Industrien, wie z.B. Manufacturing (Maschinenbau), Public (öffentliche Hand), Retail (Einzelhandel), Utilities (Versorgungsunternehmen), Healthcare, Finance and Insurance, Luftfahrt, Transportwesen, Telekommunikation u.v.m.

3 „Interferenz (lat. inter ‚zwischen‘ und ferire über altfrz. s’entreferir ‚sich gegenseitig schlagen‘) beschreibt die Änderung der Amplitude bei der Überlagerung von zwei oder mehr Wellen nach dem Superpositionsprinzip – also die vorzeichenrichtige Addition ihrer Auslenkungen (nicht der Intensitäten) während ihrer Durchdringung. Interferenz tritt bei allen Arten von Wellen auf, also bei Schall-, Licht-, Materiewellen usw. An Orten, wo sich die Wellen dabei gegenseitig auslöschen, herrscht destruktive Interferenz. An Orten, wo sie sich verstärken, herrscht konstruktive Interferenz. Ein Zeichen für das Auftreten von Interferenz zweier Wellenfelder sind abwechselnde Maxima und Minima der Intensität, wo jedes Wellenfeld für sich eine gleichmäßige Intensität hatte. Diese Folge von konstruktiver und destruktiver Interferenz wird als Interferenzmuster bezeichnet.“ (siehe hierzu [https://de.wikipedia.org/wiki/Interferenz_\(Physik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Interferenz_(Physik))) Wenn zum Beispiel zwei Radiosender in benachbar-

same Nutzung zu fördern. Frequenznutzerrechte können national, regional oder lokal vergeben werden (geografisch typischerweise beschränkter als eine Region, z. B. auf ein Betriebsgelände). „Some countries, including Germany, Japan, the Netherlands and Hong Kong, are backing the award of localised spectrum to verticals. But others who one might expect to go the same way, such as France and South Korea, have not, citing a lack of demand from industry. So the picture is mixed.“⁴

Die Eigenschaften des Spektrums (wie Ausbreitungseigenschaften) hängen vom spezifischen Spektralbereich ab. In niedrigen Frequenzlagen ist typischerweise eine höhere Übertragungsreichweite sowie eine bessere Indoor-Versorgung möglich. Gemeinhin wird mit Blick auf 5G in drei Kategorien zwischen 5G-Low-Band (Sub-1 GHz) wie 700-MHz-Spektrum, 5G-Mid-Band (1 – 6 GHz) wie das 3,4-GHz- bis 3,8-GHz-Spektrum und 5G-High-Band (über 6 GHz) wie das 26-GHz- und 28-GHz-Spektrum unterschieden.⁵ Die Menge des zugeordneten Spektrums variiert in den verschiedenen Bereichen. Typischerweise ist die Menge des zugewiesenen Spektrums im niederbandigen Spektrum geringer als in höheren Frequenzbereichen. Darüber hinaus variiert die zugestandene Frequenznutzungsdauer. Im Ergebnis bestimmt der nationale Rahmen der Frequenzpolitik, in welcher Weise lokale dezidierte 5G-Netze wie beispielsweise Campus-Netze errichtet werden können. Es gibt keine Vorgaben auf der EU-Ebene, beispielsweise im EKEK (Europäischer Kodex für die elektronische Kommunikation).

Der vorliegende Beitrag fokussiert darauf, darzustellen, welche frequenzpolitischen Maßnahmen nationale Frequenzregulierungsbehörden im Rahmen der Frequenzvergabe und -zuteilung ergriffen haben bzw. intendieren, um die Errichtung derartiger spezifischer räumlich beschränkter bzw. dezidierter 5G-Netze zu ermöglichen. Parallel dazu soll dargestellt werden, welche Unternehmen bzw. Institutionen die Errichtung derartiger lokaler 5G-Netze intendieren bzw. lokale Frequenznutzungsrechte nachfragen.

Da bereits in anderen Studien⁶ auf die technischen Möglichkeiten von 5G sowie potentieller Anwendungen ausführlich eingegangen wird, verzichten wir hier auf eine vergleichbare Analyse.

Die nachfolgende Studie gliedert sich wie folgt:

- *Kapitel 2* charakterisiert 5G-Campus-Netze als die prominente Form lokal privater dezidierter 5G-Netze. Ferner liegt der Fokus darauf, in welcher Weise diese generiert werden können bspw. von nationalen Netzbetreibern durch Network-Slicing, durch die Nutzung eigener Frequenznutzungsrechte etc.

ten Städten beide auf 95,5 FM senden, wäre das Ergebnis, dass auf halbem Weg zwischen den beiden Standorten keiner der Sender hörbar wäre.

⁴ Policy Tracker (2019, 5G verticals, Jun 14, 2019 by Richard Handford Asia Editor, verfügbar unter <http://www.policytracker.com/5g-verticals/>

⁵ Siehe beispielsweise Analysys Mason (2019). Global race to 5G – update, Final report for CTIA

⁶ Siehe Franken, M. und M. Wissner (2019): Entwicklung der funkbasierten Digitalisierung in der Industrie, Energiewirtschaft und Landwirtschaft und spezifische Frequenzbedarfe, WIK-Diskussionsbeitrag, Dezember 2019.

- Frequenzen sind die essentielle Ressource für 5G-Netze. Zunächst wird somit in *Kapitel 3* dargelegt, welche Frequenzen insbesondere in Europa aktuell und zukünftig für 5G genutzt werden können, bzw. von Anwenderseite als attraktiv angesehen werden. Hierbei wird auch der aktuelle Stand hinsichtlich der WRC 2019 dokumentiert, da hier die zukünftig für 5G vorgesehenen Frequenzbänder festgelegt werden.
- Schließlich präsentieren wir in *Kapitel 4* die aktuellen bzw. intendierten 5G-Frequenzzuteilungen in ausgewählten Ländern, die insbesondere für Campus-Netze nutzbar sind. Zunächst liegt der Fokus auf den nationalen Frequenzzuteilungen in China, Südkorea und den Vereinigten Staaten von Amerika. Im Anschluss stellen wir den Stand der nationalen Frequenzzuteilungen in Europa dar. Komplettiert wird das Kapitel durch einen Überblick über Maßnahmen im Rahmen des Frequenzmanagements zur Förderung von 5G-Campus-Netzen in den ausgewählten Ländern. Letztere Information beruht auf der Auswertung der Antworten auf einen Fragenbogen, der von der Bundesnetzagentur den Frequenzmanagementbehörden zur Beantwortung zugegangen ist.
- *Kapitel 5* beinhaltet das Fazit.

2 5G-Campus-Netze als die prominenteste Form lokaler privater dezidierter 5G-Netze

Es gibt eine Reihe von 5G-Anwendungen, die spezifisch konfigurierte, dezidierte 5G-Netze mit höheren Qualitätsstandards, nur lokal bzw. regional, benötigen als sie typischerweise über öffentlichen Mobilfunknetze angeboten werden. Dies betrifft beispielsweise die Resilienz der Netze. Damit ist insbesondere die örtliche und zeitliche Verfügbarkeit der nachgefragten Telekommunikationsnetze gemeint. Campus-Netze sind das prominenteste Beispiel einer derartigen lokalen 5G-Nachfrage. Diese erfordern häufig nur auf dem Betriebs- bzw. Werksgelände ein dezidiertes lokales 5G-Netz. Räumlich begrenzt können auch andere Anwendungen sein: Landwirtschaftsbetriebe benötigen ggf. 5G-Dienste für ihre landwirtschaftlichen Nutzflächen oder in Produktionsstätten (Gebäuden). Smart-City-Dienste auf der Basis von 5G werden nur innerhalb der spezifischen Stadtgrenzen angeboten.

Mit Blick auf lokale 5G-Netze haben Campus-Netze die größte Bedeutung. Campus-Netze sind maßgeschneiderte Mobilfunknetze für die produzierende Industrie aber auch Stadien, Musikarenen, Hafengelände, Minen etc. Ein lokales 5G-Netz könnte gezielt für die Kommunikation von Maschinen, zur Unterstützung von Produktionsprozessen etc. designt und betrieben werden. Bei lokalen Netzen kann das 5G-Kernnetz, das die jeweiligen Applikationen unterstützen muss, vor Ort sein. Die örtliche Rechen- und Speicherkapazität kann durch den Anwender besser kontrolliert werden. Dies ist insbesondere mit Blick auf latenzkritische Anwendungen wichtig.

Die Deutsche Telekom beschreibt Campus-Netze wie folgt:

CAMPUS-NETZE

„Ein Campus-Netz ist eine Kombination aus dem öffentlichen Mobilfunknetz und einem privaten Netz. Beide Netze decken gemeinsam ein definiertes Firmengelände, eine Universität oder einzelne Gebäude ab. Dabei ist das private Netz von außen nicht zugänglich. Das bedeutet, die Kapazität des Campus-Netzes steht dem Kunden zu jeder Zeit exklusiv zur Verfügung. Außerdem verlässlich bei Campus-Netzen: die Frist, innerhalb derer das Netz reagiert, also die so genannte Latenz oder Reaktionszeiten im Netz. So können zum Beispiel Maschinen miteinander oder mit einem Rechenzentrum ohne Verzögerung kommunizieren. Aufgrund der geringen Latenz können sich auch Fahrzeuge mit Hilfe von Sensoren autonom über das Firmengelände bewegen.“

Durch die parallele Versorgung des Campus mit dem öffentlichen Mobilfunknetz sind auf dem Campus auch externe Anwendungen problemlos möglich, wie zum Beispiel die Fernwartung von Maschinen durch die Herstellerfirma.

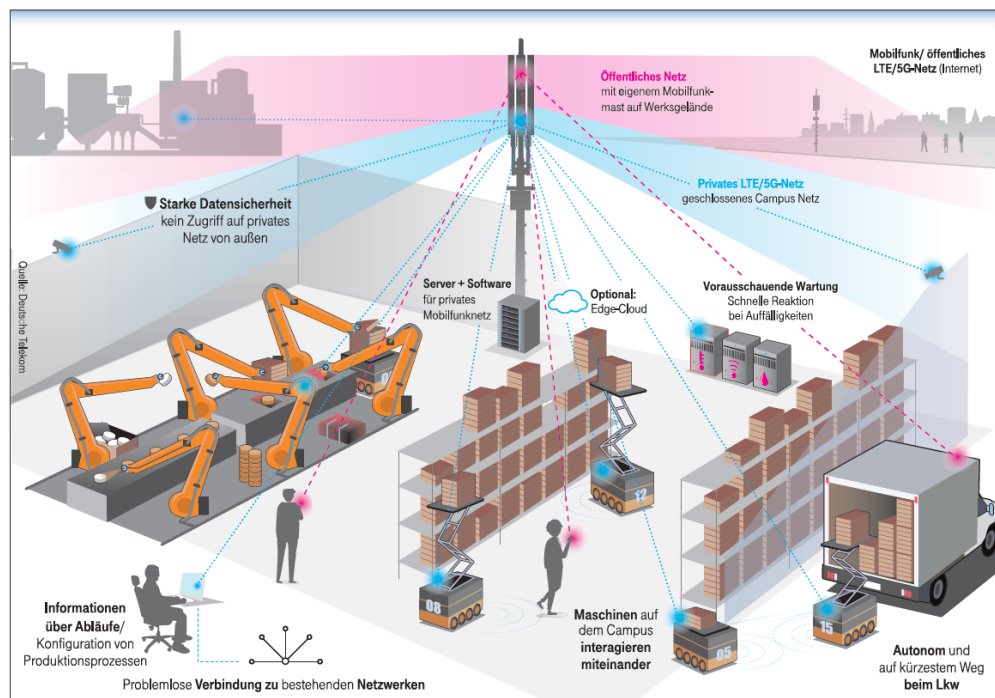
Weitere Vorteile der Campus-Netze: starke Datensicherheit, schnelle Datenübertragung und hohe Zuverlässigkeit. Eigenschaften, die für digitalisierte Produktionsstätten unverzichtbar sind.“

Quelle: Deutsche Telekom: <https://www.telekom.com/de/konzern/details/campus-netz-564090>

Bisherige drahtlose Technologien (d. h. Wifi, 4G) erfüllten nicht die erforderlichen Eigenschaften beispielsweise mit Blick auf Verfügbarkeit, Handover, Datenübertragungsraten und Latenz, die mit Blick auf die Zukunft erwünscht sind. Erst mit 5G sind diese möglich.

Nachfolgende Abbildung 1 präsentiert eine schematische Darstellung eines möglichen Campus-Netzes.

Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Campus-Netzes



Quelle: Deutsche Telekom: <https://www.telekom.com/de/konzern/details/campus-netz-564090>

Grundsätzliche Anwendungsfälle in Campus-Netzen sind in der folgenden Tabelle 1 gelistet. Der Anreiz solche 5G-Campus-Netze zu errichten besteht darin, Effizienzgewinne zu erzielen, flexibler zu sein und die Betriebssicherheit zu erhöhen. Die kritischen Anforderungen und die jeweils benötigten Qualitätsanforderungen sind ebenfalls in der Tabelle 1 zu finden.

Tabelle 1: Anwendungsfälle von 5G-Campus-Netzen

Use cases	Impact on Industry	Critical requirements	Estimated value
Cell automation: devices in an assembly line and control units communicate wirelessly	Flexible and highly efficient production	Latency Reliability	< 0.5 ms >99.99999%
Automated guided vehicle: autonomous vehicles to transfer goods in a factory	Increased safety, efficiency	Mobility Reliability	> 10 m/s > 99.999%
Process automation: a high number of low maintenance sensors and actuators communicate wirelessly with control units	Increased efficiency, flexibility, lower inventory	Reliability	>99.99999%
Logistics tracking: track flow of goods from raw material to delivery	Increased efficiency (cost and time)	Connection density	> 1000000 /km ²
Remote assistance and robot control: remote control of robot to fulfill operations such as measurements, digging	Increased product/process quality	Reliability	> 99.999%
Augmented reality (AR): live direct or indirect view of a physical environment for training and maintenance	Increased efficiency, worker satisfaction, safety	Data throughput	> 500 Mbps

Quelle: DotEcon und Axon

Folgende Trends bestehen mit Blick auf die Errichtung von Campus-Netzen nach Arthur D. Little (ADL):

- Das Marktforschungsunternehmen Arthur D. Little schätzt das globale monetäre Marktvolumen für 5G-/LTE-Campus-Netze bis 2025 auf 60 bis 70 Mrd. EUR.⁷
- 15 Mio. derartiger Campus-Netze könnten nach Auffassung von ADL weltweit entstehen.⁸
- Vorsichtige Schätzungen gehen davon aus, dass in Deutschland Potential für 2.000 größere Campus-Netze besteht.
- Erste Pilotprojekte von Campus-Netzen in Deutschen sind: OSRAM (Telekom), Audi, Hamburger oder Rotterdamer Hafen.
- ADL sieht neue disruptive Player mit einfachen „Out-of-the-Box“-Netzwerklösungen auf den Markt drängen, um derartige Campus-Netze zu erstellen bzw. zu betreiben. Neue Anbieter (z. B. Ruckus) sowie kleinere Systemintegratoren (z. B. Aispan, Challenge Networks) vermarkten aktiv derartige private Netzwerklösungen.

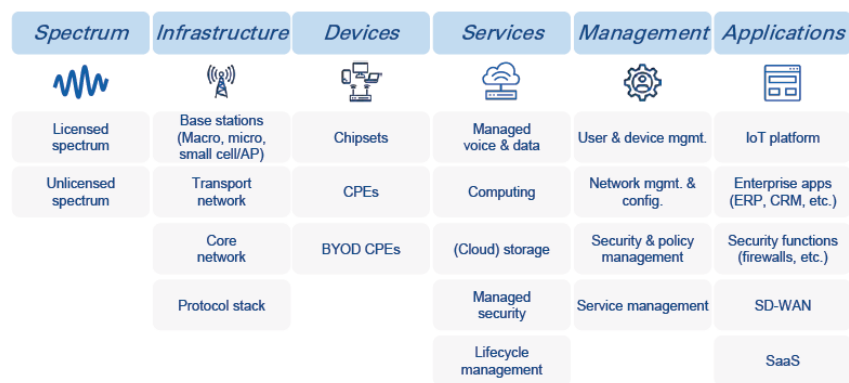
⁷ Arthur D. Little (2019): Private Campus Networks, Viewpoint, verfügbar unter: https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl_private_campus_networks-min_0.pdf.

⁸ Arthur D. Little (2019): Private Campus Networks, Viewpoint, verfügbar unter: https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl_private_campus_networks-min_0.pdf.

- Alte LAN-/Wi-Fi-Lösungen in Verbindung mit leitungsgebundenen Verbindungen erfüllen nicht mehr die Qualitätsanforderungen, die zukünftig im Wettbewerb erforderlich sind.
- Homogene Innen- und Außenabdeckung, technologieübergreifende Integration sowie erhöhte Kontrolle und Sicherheit ebnen den Weg für die Digitalisierung aus Netzwerksicht.

Dasjenige Unternehmen, welches ein 5G-Campus-Netz errichten will, muss zuvor eine komplexe und konsistente Entscheidung zu den in Abbildung 2 dargestellten Elementen, die man in Summe als Campus-Netz-Portfolio bezeichnen kann, treffen.

Abbildung 2: Wichtige Elemente (Campus-Netz-Portfolio) bei der Errichtung von Campus-Netzen



Quelle: Arthur D. Little (2019)

Nachfolgende Abbildung 3 berechnet für Beispielszenarien die Kosten für die Errichtung eines 5G-Campus-Netzes.

Abbildung 3: Kosten eines 5G-Campus-Netzes⁹

Das kostet ein 5G-Campusnetz					
Beispielszenarien für den Ausbau von lokalen Netzen mit einer Laufzeit von 10 Jahren					
Produzierendes Unternehmen: ein Bürogebäude und zwei Produktionshallen Anwendungsbereich: Industrie 4.0 Versorgungsfläche: 30 000 m ² Siedlungs-/Verkehrsfläche					
Bandbreite	Frequenzgebühr	Planung/Engineering	Systemtechnik	Laufende Kosten für den Betrieb über 10 Jahre	Gesamtkosten
30 MHz	1 500 €	15 000 €	150 000 €	180 000 €	346 500 €
Fußballstadion/Eventlocation mit 40 000 Zuschauerplätzen Anwendungsbereich: Live-Übertragung und vernetzte Kameras Versorgungsfläche: 40 000 m ² Siedlungs-/Verkehrsfläche					
100 MHz	2 000 €	35 000 €	400 000 €	480 000 €	917 000 €
Mittelgroßes Krankenhaus mit 1 000 Betten und drei Klinikgebäuden mit Außenflächen Anwendungsbereich: vernetzte Patientenakten, Überwachung von Messgeräten und Robotern Versorgungsfläche: 250 000 m ² Siedlungs-/Verkehrsfläche					
50 MHz	5 000 €	60 000 €	800 000 €	800 000 €	1 665 000 €
Landwirtschaftlicher Betrieb mit Tierhaltung und Feldern zur Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse Anwendungsbereich: genaues Ausbringen von Düngemittel, Steuerung von selbstfahrenden Traktoren Versorgungsfläche: 5 km ²					
30 MHz	8 500 €	25 000 €	200 000 €	240 000 €	473 500 €
Flughafen mit Intralogistik mit Bürogebäude, Frachthallen und Außengelände Anwendungsbereich: vernetzte Erfassung von Fracht und Sensoren Versorgungsfläche: 15 km ² Siedlungs-/Verkehrsfläche					
50 MHz	225 000 €	100 000 €	1 500 000 €	1 500 000 €	3 325 000 €
HANDELSBLATT • Rechnung geht von eigenständigen Netzen ohne Anbindung an ein öffentliches Mobilfunknetz aus und berücksichtigt nicht die Kosten für eventuelle Infrastrukturinvestitionen (z. B. Verlegen von Glasfaserkabeln) • Quellen: Mugler, eigene Berechnungen					

Quelle: Mugler, Handelsblatt

Im Folgenden fokussieren wir darauf, welche Maßnahmen in ausgewählten Ländern getroffen wurden, Frequenzen für lokale Campus-Netze zur Verfügung zu stellen. Private LTE- oder WLAN-Campus-Netze, die bereits zumindest im Testbetrieb sind, demonstrieren den Bedarf de facto. Auch in Anhörungen bei geplanten Frequenzvergaben und durch Lobbyismus-Aktivitäten wird der Nachfrage nach Frequenznutzungsrechten für private 5G-Campus-Netze Aus- und Nachdruck gegeben. In Deutschland haben bei der Entscheidung über die Vergabe von lokalen 5G-Frequenzen einige Unternehmen dies zum Ausdruck gebracht. Hierin dokumentiert sich ein erster Kreis von primär an lokalen Campus-Frequenzen interessierten Unternehmen. Explizit haben namhafte Firmen wie ABB, BASF, Bosch, Daimler, Sennheiser, Siemens und VW Interesse daran bekundet, eigene lokale oder regionale 5G-Netze bauen zu wollen.¹⁰

⁹ Handelsblatt, Montag, 18. November 2019, Nr. 222, Campusnetze – So viel kostet 5G für Firmen.

¹⁰ Siehe hierzu <https://www.computerwoche.de/a/alles-ueber-den-lte-nachfolger-5g,3546183>.

Es gibt grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten des Aufbaus von lokalen dezidierten Netzen.¹¹ Hierzu zählen

- Generierung lokaler dezidierter Netze durch die Mobilfunknetzbetreiber über Network-Slices
- Die Errichtung eigener dezidierter lokaler Netze auf Basis von eigenen Frequenznutzungsrechten (lokales Kernnetz und lokales Funknetz)
- Ein zentralisiertes Kernnetz mit lokalen Funknetzen

2.1 Generierung lokaler dezidierter Netze durch die Mobilfunknetzbetreiber über Network-Slices

Der Bedarf an lokal dezidierten Netzen kann durch die national agierenden Mobilfunknetzbetreiber gedeckt werden, die typischerweise über nationale 5G-Frequenznutzungsrechte verfügen. Insbesondere generierbare 5G-Network-Slices bieten Möglichkeiten, virtuelle private lokale Netzwerke zu schaffen. Hierbei können unterschiedliche Servicelevels mit spezifischen Key-Performance-Indicators (KPIs) wie Bitrate, Latenz, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit für verschiedene Kunden/Geschäftssegmente angeboten werden. Hierzu ist es hinreichend, wenn die Mobilfunknetzbetreiber über einen hinreichenden Umfang an Frequenznutzungsrechten in adäquaten Frequenzlagen haben.¹²

Gleichwohl gibt es individuelle Branchen, deren Belange von den nationalen Mobilfunkbetreibern z. B. aufgrund verschiedener Faktoren nicht ausreichend berücksichtigt werden können. Gründe hierfür könnten sein:

- Unternehmensspezifische Anwendungsbedürfnisse und -anforderungen werden ständig weiterentwickelt. Mobilfunkbetreiber könnten Schwierigkeiten haben, auf das Tempo dieser Entwicklung zu reagieren. Vielleicht könnten nur einige Ad-hoc-Dienste entwickelt werden.
- Einige der abzudeckenden Bereiche können anspruchsvoll sein (z. B. Indoor-, Challenge-Bereiche) und verlangen in hohem Maße spezifisches Know-how beim Aufbau des Netzes.

¹¹ Siehe hierzu RSPG (2019): Strategic spectrum roadmap towards 5G for Europe – RSPG Opinion on 5G implementation challenges (RSPG 3rd opinion on 5G, RSPG19-007 FINAL, verfügbar unter https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2019/05/RSPG19-007final-3rd_opinion_on_5G.pdf.

¹² Hierzu folgende Äußerungen des Vorstandsvorsitzenden der Deutschen Telekom im Handelsblatt vom Wochenende 4./5./6. Oktober 2019, Nr. 191 „Neuer Mobilfunkstandard – Industrie muss länger auf 5G-Frequenzen warten.“ Telekom-CEO Timotheus Höttges sagte: „Wir bieten uns als Partner an.“ Der DAX-Konzern könnte präzise auf den Bedarf einzelner Unternehmen zugeschnittene Lösungen anbieten. Sollten Firmen lokale 5G-Frequenzen erwerben, werde das Unternehmen auch schauen, wie eine sinnvolle Zusammenarbeit aussehen könnte. Die Telekom favorisiere, den Unternehmen Campus-Netze auf Basis des eigenen deutschlandweiten Netzes zur Verfügung zu stellen.

- Die Serviceanforderungen einiger Branchen könnten zu spezifisch oder wirtschaftlich nicht realisierbar sein (die „5G-Scheiben“ müssen vordefiniert sein, um auf einige von Branchen definierte KPI-Anforderungen zu reagieren).
- Auch ein mangelndes Geschäftsinteresse von Seiten der Mobilfunknetzbetreiber oder potentieller Host-Anbieter an einer spezifischen lokalen 5G-Abdeckung ist denkbar.
- Aus Datensicherheits-, Kosten- oder anderen Gründen können Unternehmen daran interessiert sein, eigene 5G-Campus-Netze zu errichten.

2.2 Die Errichtung eigener dezidiert lokaler Netze auf Basis von eigenen Frequenznutzungsrechten

Aufgrund spezifischer Serviceanforderungen an ein 5G-Netz und dem Wunsch nach Datensicherheit und Kontrolle des Netzes gibt es Unternehmen, die ein Interesse daran haben, ein derartiges lokales 5G-Netz selbst mit eigenen Frequenznutzungsrechten zu betreiben. Kontrolle über das Funknetz kann es dabei nur dann geben, wenn für die Campus-Netze lokale Frequenznutzungsrechte vergeben werden. Sofern die Anforderungen an die Anwendungen mit Blick auf Zuverlässigkeit und Datensicherheit hoch sind, bedarf es dazu einer exklusiven Zuteilung der jeweiligen Frequenznutzungsrechte – bei lokalen Nutzungen insbesondere in mittleren und höheren Frequenzlagen mit einem entsprechenden Umfang an Frequenznutzungsrechten.

Die Nachfrage dieser Verticals ist im Allgemeinen sehr unterschiedlich. Der Bedarf an dediziertem Spektrum auf lokaler Ebene wurde bisher beispielsweise in Deutschland und Schweden hauptsächlich von der Prozess- und Fertigungsindustrie geäußert. Einige Anforderungen können auch durch RLAN (Radio Local Area Network), IoT (Internet of Things) erfüllt werden, während andere Benutzer eine hohe Anforderung an die von 5G gelieferten spezifischen Merkmale haben können. Diese Kategorie bezieht sich im Allgemeinen auf Verticals mit Anforderungen an die lokale Abdeckung.

Bei möglichen Frequenzzuteilungen sind folgende Aspekte von Bedeutung.

- Gerade im 5G-Pionierband 3,6 GHz ist es möglich, einen Teil der Frequenzen lediglich lokal und nicht national zuzuteilen. Aufgrund der geringen Reichweiten sollten Interferenzprobleme besser als bei Frequenzen unterhalb von 1 GHz beherrschbar sein.
- In einem Band mit spezifischen Merkmalen wie dem 26-GHz-Band gibt es Möglichkeiten der gemeinsamen Frequenznutzung zwischen Mobilfunkbetreibern, die weiträumige Dienste und lokale vertikale Innenanwendungen anbieten.
- Neben dem Erwerb von Frequenznutzungsrechten unmittelbar über die Frequenzmanagementbehörde gibt es die Möglichkeit, über Frequenzhandel bzw.

Leasing,¹³ Frequenznutzungsrechte über verhandelbare Zeiträume exklusiv zu erwerben oder mit anderen zu teilen (Sharing).

2.3 Regionale Plattformbetreiber generieren lokale 5G-Dienste¹⁴

Diese regionalen Plattformbetreiber sind möglicherweise in der Lage, den aggregierten Bedarf an Frequenzen entweder durch sektorale repräsentative Organisationen auf europäischer oder nationaler Ebene durchzusetzen.

Beispiele für solche Verticals könnten Transportdienstleistungen, Versorgungsunternehmen wie Energieunternehmen sowie PPDR (Public Protection and Disaster Relief) - Anbieter, die intelligente (IoT-basierte) und/oder hochzuverlässige Dienste nutzen, sein.

Diese Verticals können unterschiedliche Anforderungen haben, die durch verschiedene Arten von Funklösungen abgedeckt werden können. 5G kann eine von vielen Technologien sein, um ihren Bedürfnissen gerecht zu werden. Lösungen können auch Technologien mit allgemeinen Berechtigungen (z. B. LPWAN (Low Power Wireless Access)-IoT) beinhalten. Dazu könnten auch hybride Lösungen gehören, z. B. ein Vertical mit eigenem privatem Netz sowie das Netz eines Mobilfunkanbieters.

Darüber hinaus könnte die Bereitstellung von Teilen des auf der europäischen Ebene harmonisierten Spektrums für diese Verticals ihnen die Möglichkeit geben, spezifische Anwendungen anzubieten (siehe 2,6 GHz TDD (Time Division Duplex) in Frankreich, 3,5 GHz TDD in den Niederlanden). Diese besondere Art der Nutzung könnte dann von Größenvorteilen und der Verfügbarkeit der Geräte profitieren, die sich aus harmonisierten technischen Bedingungen ergeben, die für drahtlosen Netzzugang (Wireless Broadband Access) geeignet sind.

Was die Frequenzberechtigung betrifft, so werden einzelne Lizenzen (auch auf lokaler Ebene) wahrscheinlich den Bedürfnissen dieser Benutzertypen entsprechen. Für den Fall, dass es keine Spektrums-Knappheit gibt, erscheint ein First-Come-First-Served-Zuteilungsverfahren sinnvoll zu sein.

Der Frequenznutzer ist im Falle einer Einzelgenehmigung entweder das Unternehmen selbst oder ein Dienstleister für Plattformbetreiber. Harmonisierte technische Bedingungen für 5G würden jedoch auch für diese Lizenz gelten.

Auch auf diese Weise könnten lokal dezidierte 5G-Netze mittelbar oder unmittelbar geschaffen werden.

¹³ Siehe <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L1972&from=EN>; No. 127.

¹⁴ Siehe hierzu RSPG19-007.

3 Frequenzzuteilungen als Grundressource für den Aufbau lokal dezidierter 5G-Netze

3.1 Einleitung

5G-nutzbare Frequenzen sind essentiell zur Generierung eines Angebots von 5G-basierten Diensten. Diese müssen von Seiten der jeweiligen nationalen Frequenzmanagementbehörden zugeteilt sein, damit Unternehmen diese nutzen können. Dies setzt zunächst voraus, dass die Frequenzbänder auf internationaler Ebene ITU (International Telecommunications Union) / WRC (World Radio Conference) für derartige Anwendungen zugewiesen werden und dann auf europäischer und nationaler Ebene in den entsprechenden Frequenznutzungsplänen für diese Anwendungen vorgesehen sind. Daneben bedarf es der technischen Standardisierung, damit die 5G-Dienste in den jeweiligen Frequenzlagen (weitgehend) störungsfrei mit und zu anderen Frequenznutzern genutzt werden können. Diese Standardisierungen erfolgen auf europäischer Ebene durch CEPT (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications) / IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Frequenzen können exklusiv oder allgemein zugeteilt werden. Exklusive Zuteilungen können in Bezug auf das Gebiet national oder aber auch räumlich weiter begrenzt lokal bzw. regional erfolgen. Im Falle von Knappheit der Frequenzen werden i. d. R. Frequenzauktionen durchgeführt. Dies insbesondere dann, wenn die Frequenzen national nutzbar sind (siehe 5G-Versteigerung in Deutschland 2019)¹⁵. Exklusive Zuteilungen erfolgen gemeinhin in niedrigen Frequenzlagen, die aufgrund der hohen Reichweite interferenzanfälliger und zudem wirtschaftlich besonders attraktiv sind. Dies gilt insbesondere für die sogenannten Flächenfrequenzen unterhalb von 1 GHz. Allgemeinzuteilungen können aufgrund der geringeren Reichweite der Frequenzen in höheren Lagen erfolgen. Exklusivzuteilungen gehen häufig mit aufwendigen Zuteilungsverfahren einher, da diesbezügliche Frequenznutzungsbestimmungen, insbesondere auch Versorgungsaufgaben häufig kontrovers diskutiert werden und die Auswahlverfahren durchaus komplexer Natur sind.

Der Zeitpunkt der Frequenzzuteilungen ist in einzelnen Ländern unterschiedlich (Ursächlich dafür sind beispielsweise bestehende Frequenzzuteilungen und landesspezifische administrative Prozesse.). Auch der Umfang der zugeteilten Frequenzen sowie die Frequenzlagen können im Ländervergleich unterschiedlich sein. Die Art der Frequenznutzungen ist de facto weltweit gesehen nicht einheitlich. Das 3,3-GHz- bis 3,8-GHz-Frequenzband (Teil des C-Bands (mittlere Frequenzlage)) ist global das erste Frequenzband, welches primär für 5G genutzt werden wird. In der nachfolgenden Tabelle 2

¹⁵ Siehe hierzu

https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html.

wird aufgezeigt, wie die für 5G zugewiesenen Frequenzbänder in Europa, China, Südkorea und den Vereinigten Staaten von Amerika variieren.

Tabelle 2: 5G-nutzbare Frequenzbänder in mittleren Frequenzlagen

	Für International-Mobile-Telecommunications (IMT)-Anwendungen verfügbar nach bestehenden Frequenznutzungsplänen	Potentielles Frequenzband für IMT-Anwendungen für die Zukunft
Europa	3,4 GHz – 3,8 GHz	3,8 GHz – 4,2 GHz
China	3,3 GHz – 3,6 GHz	
Südkorea	3,4 GHz – 3,7 GHz	3,7 GHz – 4,2 GHz
USA	3,5 GHz – 3,7 GHz	3,3 GHz – 4,2 GHz

Quelle: Detecon: Introduction into the 5G regulation, Amman, 15.01.2019, Vortrag im Rahmen des EMERG (European Mediterranean Regulators Group)¹⁶ - Projekts.

Von daher kann auch die Frequenzlage der zugeteilten 5G-Frequenzen weltweit differieren.

3.2 Gegenwärtig für 5G vorgesehene bzw. priorisierte Frequenzbänder

Das Spektrum, das heute in verschiedenen Ländern eingesetzt wird, ist typischerweise in Bändern, die für 5G (bzw. drahtlosen Netzzugang) international und regional identifiziert und harmonisiert wurden. In harmonisierten Frequenzbändern können Einsparungen aufgrund von Größenvorteilen (Economies of Scale) realisiert werden, Netzequipment und Endgeräte werden auf diese Frequenzbänder geeicht bereitgestellt.

Als die beiden 5G-Pionierbänder im Unter- und Mittelbereich gelten in Europa die 700-MHz-Frequenzen und die Frequenzen im Bereich 3,4 – 3,8 GHz. Letzteres Band gilt aktuell als der attraktivste Frequenzbereich, um mit dem 5G-Ausbau zu beginnen. Daneben ist der Frequenzbereich 24,25 – 29,5 GHz (inkl. 26 GHz und 28 GHz, diese können unterschiedlich in einzelnen Ländern sein) für 5G-Zuteilungen aktuell von besonderem Interesse. In beiden Frequenzlagen ist ein größerer Umfang an Frequenzen verfügbar als unterhalb von 1 GHz. Daher können damit hohe Datenübertragungsraten generiert werden. Allerdings ist die Reichweite der Frequenzen von spezifischen Standorten aus beschränkter. 3rd Generation Partnership Project (3GPP) sieht in mittleren Frequenzlagen 100 MHz Bandbreite als optimal und in höheren Frequenzlagen 400 MHz Bandbreite als optimal an.

¹⁶ Siehe <http://www.emergonline.org/>.

Die Europäische Kommission hat am 14. Mai 2019 eine Implementierungsentscheidung zur Harmonisierung des Frequenzspektrums im Frequenzbereich 24,25 – 27,5 GHz (oder 26 GHz) für die zukünftige Nutzung mit 5G verabschiedet.

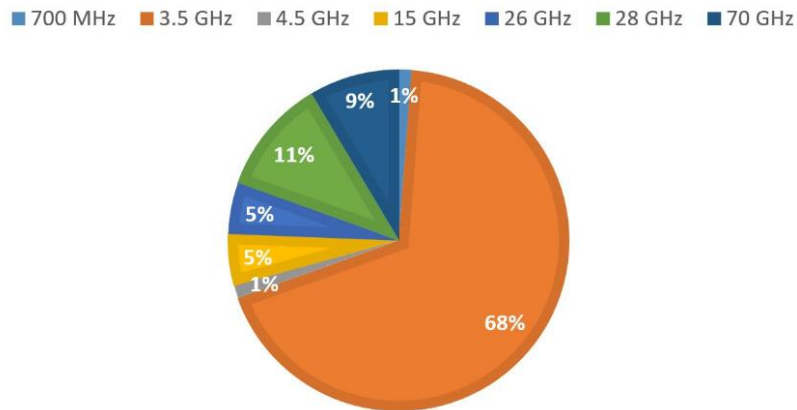
Der Ausbau von 5G-Netzen erfordert die rechtzeitige Verfügbarkeit einer ausreichenden Menge an harmonisiertem Spektrum. Auf dieser Grundlage können die Mitgliedstaaten gemeinsame technische Bedingungen festlegen und anschließend bis zum 31. Dezember 2020 die Nutzung des 26-GHz-Bandes für 5G-Systeme im Einklang mit dem Europäischen Kodex für elektronische Kommunikation zulassen. Die harmonisierten technischen Bedingungen zielen darauf ab, die Frequenznutzung durch mehrere 5G-Netze zu gewährleisten, gleichzeitig die Interferenzbelastungen zu verringern und die Kompatibilität mit etablierten Funkdiensten (z. B. Satellitendiensten) innerhalb des 26-GHz-Bandes und in angrenzenden Bändern sicherzustellen.

Das 26-GHz-Frequenzband umfasst die höchste Frequenzmenge und damit die größte Kapazität aller drei 5G-Pionier-Frequenzbänder, die auf EU-Ebene für den ersten 5G-Einsatz gemäß dem 5G-Aktionsplan festgelegt wurden. Die Harmonisierung ebnet daher den Weg für eine deutliche Verbesserung der verfügbaren Bandbreiten für Frequenznutzer, die ultrahohe drahtlose Breitbandgeschwindigkeiten ermöglichen. Mit der Einführung von 5G-Systemen im 26-GHz-Frequenzband wird sich Europa auf ein drahtloses Breitband mit Gigabit-Geschwindigkeit zubewegen, wobei neuartige Anwendungen, z. B. das Verbinden von Objekten und Geräten, nur eine der wichtigsten Innovationen sein werden.

Daneben sind auch technologieneutral zugeteilte Frequenzen für Mobilfunkanwendungen grundsätzlich für 5G nutzbar. Aktuell werden die an Mobilfunknetzbetreiber zugeteilten Frequenzen für andere Mobilfunkstandards und diesbezügliche Dienste genutzt. Mit der Abschaltung beispielsweise von 3G-Netzen können diese dann auch grundsätzlich für 5G genutzt werden. Damit dies technisch und faktisch möglich ist, ist es jedoch erforderlich dass entsprechende technische Standards für diese Frequenzlagen auf internationaler Ebene angepasst werden. Zudem ist es unabdingbar, dass die Equipment-Hersteller geeignetes 5G-Equipment für diese Frequenzlagen produzieren und bereitstellen, sowohl mit Blick auf Netzinfrastrukturelemente als auch hinsichtlich geeigneter Endgeräte.

Nachfolgende Abbildung 4 zeigt, in welchen Frequenzbändern primär 5G-Tests vorgenommen wurden. Das 3,5-GHz-Frequenzband ist aktuell das am meisten genutzte Frequenzband für Testzwecke. Es folgt das 28-GHz-Band.

Abbildung 4: Primär genutzte Frequenzbänder, die für 5G-Anwendungen in Europa getestet wurden



IDATE, 12 Dec 2018

Quelle: IDATE

3.3 Weitere zukünftig für 5G-nutzbare Frequenzbänder, die potentiell auf der WRC-2019 identifiziert werden¹⁷

Mit Blick auf die mögliche Frequenznutzung werden internationale Vereinbarungen auf der Ebene der ITU (International Telecommunications Union) getroffen. Diese sind rechtlich bindend und beschränken die möglichen nationalen Nutzungsmöglichkeiten. Die Weltfunkkonferenz (WRC) wird von der International Telecommunications Union (ITU) organisiert, um die Funkordnung, den internationalen Vertrag über die Nutzung des Funkfrequenzspektrums zu überprüfen und gegebenenfalls zu überarbeiten. Sie findet alle drei bis vier Jahre statt. Die letzte Weltfunkkonferenz (WRC-19) fand jüngst vom 28. Oktober bis 22. November 2019 in Scharm El-Scheich, Ägypten statt.

Ein wichtiger Themenpunkt war, welche zusätzlichen Frequenzbänder für 5G nutzbar gemacht werden. Im Fokus standen diesbezüglich mmWave-Frequenzbänder für 5G. Einige dieser Bänder wurden bereits in den USA, Italien, Südkorea und Japan für 5G-Nutzungen bereitgestellt. Die zusätzlich auf der WRC-2019 identifizierten Frequenzbänder umfassen die Frequenzlagen 24,25 – 27,5 GHz, 37 – 43,5 GHz, 45,5 – 47 GHz, 47,2 – 48,2 und 66 – 71 GHz.¹⁸ Insgesamt wurden somit 17,25 GHz für 5G identifiziert. 14,75 GHz davon, also ca. 80 %, werden weltweit harmonisiert nutzbar sein.

¹⁷ Vgl. Hierzu Marcus, M.J. (2019): WRC-19 Issues: A Survey, Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7864779>

¹⁸ Siehe hierzu <https://news.itu.int/wrc-19-agrees-to-identify-new-frequency-bands-for-5g/>

Nachdem entsprechende Frequenzbänder für 5G nutzbar gemacht wurden, ist davon auszugehen, dass auf europäischer Ebene technische Standardisierungsbedingungen festgelegt werden und die Frequenznutzungspläne auf europäischer und dann auf nationaler Ebene entsprechend angepasst werden, sodass weitere Frequenzen für 5G dann von den nationalen Frequenzmanagementbehörden zur Verfügung gestellt werden.

Vor diesem Hintergrund stellen wir nun in Kapitel 4 dar, welche Frequenzen in den Ländern China, Südkorea und den Vereinigten Staaten zugeteilt wurden bzw. in naher Zukunft zugeteilt werden.

4 Aktuelle bzw. intendierte 5G-Frequenzzuteilungen in ausgewählten Ländern, die insbesondere auch für Campus-Netze nutzbar sind

Die zugeteilten Frequenzen schaffen das Potential für das Angebot von 5G-Diensten. Nur durch die Nutzung dieser Frequenzen können 5G-Dienste generiert bzw. an die Endkunden bereitgestellt werden. Welche Frequenzen in welchem Umfang in den einzelnen Ländern zugeteilt wurden bzw. zugeteilt werden sollen, ist das Thema im Folgenden. Hierbei wird in folgende Kategorien unterschieden:

- *Low-Band-Spektrum* (Frequenzen in unteren Frequenzlagen (unterhalb von 1 GHz))
- *Mid-Band-Spektrum* (Mittenband-Spektrum (im Bereich von 1 GHz bis 6 GHz))
- *High-Band-Spektrum* (Frequenzen in oberen Frequenzlagen (im Bereich oberhalb von 6 GHz)).

Im Folgenden wird ausgeführt, welche Frequenzen in Europa (auswahlweise), China, Südkorea und den Vereinigten Staaten von Amerika bereits zugeteilt wurden. Hierbei wird insbesondere deutlich, welche Frequenzen aktuell nutzbar sind. Sofern diese national zugeteilt wurden, wird hier die Möglichkeit für die Mobilfunknetzbetreiber geschaffen, über Network-Slices lokale Netze zu genießen. Daneben werden spezifische frequenzpolitische Maßnahmen für die Errichtung lokaler Netze dargestellt.

4.1 5G-Frequenzzuteilungen mit nationalem Frequenznutzungsrecht in China, Südkorea, den Vereinigten Staaten von Amerika und ausgewählten Ländern in Europa

4.1.1 5G-Frequenzzuteilungen in China

Die Regulierung der Mobilfunkdienste in China ist in der Verantwortlichkeit des Ministry of Industry and Innovation Technology (MIIT). Die State Radio Regulation of China (SRRC) ist eine spezialisierte technische Behörde des MIIT, welche für Frequenzmanagement und die Funküberwachung zuständig ist.

Low-Band-Spektrum

Folgende Frequenzzuteilungen bestehen in China unterhalb von 3 GHz.

Tabelle 3: Gegenwärtige Frequenzzuteilungen an Mobilfunknetzbetreiber (MNB) in China unterhalb von 3 GHz (in MHz)

MNBs	850 MHz	900 MHz	1,8 GHz	1,9 GHz	2,1 GHz	2,3 GHz	2,6 GHz	insgesamt
China Unicom		12	60		50	20		142
China Mobile		40	50	50		50	160 (Test-Lizenzen)	350
China Telecom	20		30		40	(20)		90
Gesamt	20	52	140	50	90	70	160	582

Quelle: MIIT¹⁹, APT²⁰

MIIT intendiert, weitere Frequenzen für IMT zuzuteilen: 10 MHz im Band 1,8 GHz, 5 MHz im Bereich 1,9 GHz, 30 MHz im Bereich 2,1 GHz, 30 MHz im Bereich 2,3 GHz und 30 MHz im 2,6-GHz-Frequenzband.²¹ Insgesamt würden dann 687 MHz in diesen Frequenzlagen für mobile Anwendungen zugeteilt sein.

Mid-Band-Spektrum²²

Im Dezember 2018 verkündete MIIT, dass Lizenzen (Frequenznutzungsrechte) für 5G-Testzwecke an die etablierten Mobilfunknetzbetreiber zugeteilt werden sollen.²³ Hierzu erfolgten folgende vorübergehende („trial licences“) Frequenzzuteilungen:

- China Mobile erhielt den Frequenzbereich 2.514 – 2.675 MHz und 4,8 – 4,9 GHz zugeteilt.²⁴
- China Telecom und China Unicom erhielten zum einen den Frequenzbereich 3,4 – 3,5 GHz und zum anderen 3,5 – 3,6 GHz.

¹⁹ Siehe hierzu https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/11/03_9-Nov_Session-2_Chang-Ruoting-1.pdf

²⁰ Siehe hierzu APT (2015): APT report APT/AWG/REP-15(Rev.5) verfügbar unter https://www.apr.int/sites/default/files/Upload-files/AWG/APT-AWG-REP-15-R2-APT_Report_on_Frequencies.docx

²¹ Siehe hierzu 'Radio Spectrum Management in China', Bureau of Radio Regulation, MIIT, September 11, 2017

²² Siehe hierzu auch <https://www.rcwireless.com/20190603/5g/5g-spectrum-allocations-china>.

²³ Siehe hierzu: <http://www.mii.gov.cn/n1146285/n1146352/n3054355/n3057735/n3057743/c6534379/content.html>

²⁴ Siehe <https://www.chinamobiletd.com/enfile/view.php?id=204725> und <https://www.telecompaper.com/news/china-awards-5g-trial-spectrum-for-35-ghz-26-ghz-48-ghz-bands-1272639>

China hat Anfang Juni 2019 vier 5G-Lizenzen schneller vergeben als zuvor angekündigt.²⁵ Sie erteilte den drei Mobilfunkbetreibern China Mobile, China Unicom und China Telecom sowie dem öffentlich-rechtlichen Sender China Broadcasting Network Lizenzen bzw. Frequenznutzungsrechten.²⁶

China Mobile und China Unicom planen, bis Ende September 2019 5G-Dienste in mehr als 40 Städten anzubieten. China Broadcasting Network erhielt 2016 eine Basis-Telekommunikationslizenz, um Internet-Datenübertragungsdienste und inländische Telekommunikationsdienste anzubieten. Aber das Unternehmen hat noch nie mobile Dienste auf den Markt gebracht. China Mobile, China Unicom und China Telecom hatten wie zuvor erwähnt Ende 2018 5G-Testlizenzen erhalten.

Laut einem Forschungsbericht der China Academy of Information soll die neue 5G-Technologie zwischen 2020 und 2025 eine Wirtschaftsleistung von 10,6 Billionen Yuan (rund 1,36 Mrd. EUR) und über 3 Mio. Arbeitsplätze generieren.²⁷

High-Band-Spektrum

In den hohen Frequenzlagen sind aktuell keine Frequenzen für kommerzielle 5G Dienste an die Betreiber zugeteilt. Im November 2016 verkündete MIIT die Intention, 2 GHz pro Mobilfunknetzbetreiber im Bereich 24,25 – 43,5 GHz zur Verfügung zu stellen. Für Testzwecke wurden 2 mmWave-Frequenzbänder (24,75 – 27,5 GHz und 37 – 42,5 GHz) bereitgestellt.²⁸

Zudem hat MIIT 2 mmWave-Frequenzbänder (24,75 GHz und 37 – 42,5 GHz) für Forschungs- und Testzwecke im Juli 2017 zugeteilt.

Lokale Frequenzen

Derzeit scheint es keine Pläne zu geben, Frequenzen regional bzw. lokal zuzuteilen.²⁹ Die bisher national zugeteilten Frequenzen wurden an die drei MNOs sowie China Broadcasting Network vergeben. Über lokale Frequenzen ist aber nichts bekannt. Vielmehr liegen Informationen vor, dass zu erwarten ist, dass 5G-Campus-Netze von den Mobilfunknetzbetreibern errichtet werden und diese die ihnen zugewiesenen Frequenzen dafür nutzen werden.

²⁵ Siehe <https://5gobservatory.eu/four-5g-licences-awarded-in-china/>

²⁶ Siehe auch <https://www.scmp.com/business/companies/article/3022819/hsbc-reshuffles-decks-bank-braces-more-challenging-operating>.

²⁷ Siehe Fussnote 33 und 34.

²⁸ Siehe http://www.miit.gov.cn/n_1146295/n1652858/n16531_OO/n3767755/c5677054/content.html und <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146402/n1146440/c5730538/content.html>

²⁹ Siehe hierzu <https://api.ctia.org/wp-content/uploads/2018/12/XCTI005-mid-band-5G-spectrum-update-2019-edition.pdf>, S. 12 sowie <https://ecfsapi.fcc.gov/file/1040331077123/Analysys%20Mason%20-%20Global%20Race%20to%205G%20Update.pdf>.

Weitere Punkte

China Telecom und China Unicom haben eine vorläufige Vereinbarung getroffen, um gemeinsam ein 5G-Netzwerk aufzubauen. Die gemeinsame Nutzung der Infrastruktur kann nach Ansicht des Vorsitzenden von China Unicom zu Capex (Capital Expenditure)-Einsparungen von 25 bis 34 Mrd. EUR führen könnte.³⁰

Darüber hinaus könnte Chinas größtes Telekommunikationsunternehmen China Mobile in die Initiative zum Aufbau einer gemeinsamen 5G-Infrastruktur in Gebieten mit geringer Bevölkerungsdichte einbezogen werden. Die drei chinesischen Betreiber sind Miteigentümer einer Turmfirma, der China Tower Corp.

China Mobile, China Telecom und China Unicom haben am 1. November 2019 die 5G-Dienste gestartet. Die Betreiber veröffentlichten ihre monatlichen 5G-Pakete. Die Preispläne sind bei den drei Mobilfunknetzbetreibern recht ähnlich. Einstiegspakete kosten 129 CNY (16 EUR) pro Monat und bieten 30 GB Daten mit 300 Mbit/s Download-Geschwindigkeiten und 500 Minuten Sprache. Die teuersten Tarife kosten 599 CNY (76 EUR) und bieten 300 GB Daten mit Download-Geschwindigkeiten von bis zu 1 Gbps. Nur High-End-Tarife bieten 5G-ähnliche Geschwindigkeiten.

Jeder der Akteure hat sein Netzwerk in 50 Städten aktiviert, darunter Peking, Shanghai, Guangzhou, Shenzhen, Hangzhou, Nanjing, Tianjin, Wuhan, Jinan und Zhengzhou. Die Behörden sagten, dass die Unternehmen planen, bis Ende 2019 über 50.000 5G-Basisstationen im ganzen Land zu installieren. In Shanghai wurden bis Mitte Oktober 2019 11.859 5G-Basisstationen in wichtigen Outdoor-Bereichen aktiviert.

China Mobile weist darauf hin, dass es mehr als 50.000 5G-Basisstationen in 50 wichtigen Städten gebaut und den Aufbau von 5G-Netzen in mehr als 300 Städten im ganzen Land durchgeführt hat. Im Jahr 2020 wird der Betreiber seine Netzabdeckung weiter ausbauen, um 5G-Dienste für alle Städte über der Präfektur-Ebene anzubieten. China Unicom und China Telecom haben vereinbart, den Bau von Basisstationen in 24 Städten gemäß einer am 9. September unterzeichneten Vereinbarung gemeinsam vorzunehmen und zu realisieren. China Telecom sagte bereits im Jahr 2019, dass sie bis Ende des Jahres 9 Mrd. CNY (1,14 Mrd. EUR) investieren und 40.000 5G-Basisstationen bauen will. China Unicom plant auch den Bau von 40.000 5G-Basisstationen bis Ende 2019.

Anfang Oktober 2019 registrierten die drei großen Mobilfunkbetreiber bereits vor dem offiziellen Start fast 9 Mio. 5G-Nutzer. China Mobile verkündete 5,32 Mio. Abonnenten, China Telecom erreichte 1,76 Mio. Teilnehmer und China Unicom hatte 1,75 Mio. Nutzern.

³⁰ Siehe hierzu <http://5gobservatory.eu/chinas-carriers-to-build-a-shared-5g-network/>

4.1.2 5G-Frequenzzuteilungen in Südkorea

In Südkorea ist das Ministry of Science and ICT (MSIT, zuvor MSIP)³¹ die Institution, welche für das Frequenzmanagement und die Frequenzzuteilungen zuständig ist.

Low-Band-Spektrum

In Südkorea operieren derzeit drei Mobilfunknetzbetreiber SKT, KT, LGU+. Frequenzen unterhalb von 3 GHz wurden für kommerzielle Mobilfunknetzbetreiber in den Frequenzlagen 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2,1 GHz, 2,3 GHz und 2,6 GHz zugeteilt. Nachfolgende Tabelle 4 beinhaltet die Frequenzzuteilungen, die in niedrigen Frequenzlagen für kommerzielle Mobilfunkdienste an die jeweiligen Netzbetreiber zugeteilt wurden.

Tabelle 4: Gegenwärtige Frequenzzuteilungen an Mobilfunknetzbetreiber (MNB) in Südkorea unterhalb von 3 GHz (in MHz)

MNBs	700 MHz	850 MHz	900 MHz	1,8 GHz	2,1 GHz	2,3 GHz	2,6 GHz	insgesamt
SKT	-	30	-	40	40	27	60	197
KT	-	10	20	60	40	30	-	160
LGU+	-	20	-	20	40	-	40	120
Gesamt	-	60	20	120	120	57	100	477

Quelle: APT³²

Im Jahr 2016 wurden auch Frequenzen aus dem Bereich 700 MHz in einer SMRA (Simultaneous Multiple Round Auction) versteigert. Für Frequenzen in diesem Bereich gab es jedoch keine Gebote.³³

Aktuell gibt es keine Informationen darüber, dass MSIT weitere Frequenzzuteilungen in diesen Frequenzlagen intendiert. Insbesondere gibt es auch keine Ankündigung, die nicht zugeteilten Frequenzen aus dem Bereich 700 MHz als Ergebnis der Versteigerung (gestrandete Frequenzblöcke insgesamt 2x20 MHz) erneut zu versteigern.

³¹ Englische Homepage: <https://english.msit.go.kr/english/main/main.do>.

³² Siehe hierzu APT (2015): APT report, APT/AWG/REP-15(Rev.5) und <http://www.apt.inUAWG-RECSREPS>

³³ Deuk-Won, Kim (2016): Spectrum auction in Korea: design and implication, Asian Journal of Information and Communications 2016, Vol. 8, No. 2, S. 25-36.

Mid-Band-Spektrum

Im Juni 2018 versteigerte MSIT Frequenzen des 5G-Pionier-Frequenzbandes im Bereich 3.420 MHz – 3.700 MHz im Rahmen einer kombinatorischen Clock-Auktion. Die Laufzeit der Frequenznutzungsrechte beginnt am 1. Dezember 2018 und endet am 30. November 2028. Mit 10 Jahren ist dies eine verhältnismäßig kurze Frequenznutzungszeit. In Deutschland wurden die 3,6-GHz-Frequenzen beispielsweise für die doppelte Laufzeit, 20 Jahre, zugeteilt. Im Ergebnis erwarben alle Mobilfunknetzbetreiber zwischen 80 MHz und 100 MHz (ungepaartes Spektrum).

Tabelle 5: Frequenzzuteilungen im Bereich 3.420 – 3.700 MHz als Ergebnis der Frequenzversteigerung 2018 in Südkorea³⁴

MNB	Ersteigerte Frequenznutzungsrechte	Konkrete Frequenzlage
SKT	100 MHz	3,6 GHz – 3,7 GHz
KT	100 MHz	3,5 GHz – 3,6 GHz
LGU+	80 MHz	3,42 GHz – 3,5 GHz
insgesamt	280 MHz	3,42 GHz – 3,7 GHz

Quelle: MSIT

Gegenwärtig ist nicht bekannt, dass MSIT weitere Frequenzen in der Mittenlage zuzuteilen.

High-Band-Spektrum

Gemeinsam mit den 3,6 GHz versteigerte MSIT auch Frequenzen im Bereich 28 GHz, sogenannte mmWave-Frequenzen. Auch diese wurden national zugeteilt und beinhalten eine Aufbauverpflichtung. Allerdings wurden diese Frequenznutzungsrechte nur für 5 Jahre zugeteilt (ab 1. Dezember 2018). Alle drei Mobilfunknetzbetreiber erwarben jeweils 800 MHz (ungepaartes Spektrum) an Frequenznutzungsrechten.

³⁴ Siehe hierzu <http://www.msit.go.kr/web/msipContents/contentsVlew.do?catId=mssw311&artId=1386500>.

Tabelle 6: Frequenzzuteilungen im Bereich High-band (26,5 GHz – 28,9 GHz) als Ergebnis der Frequenzversteigerung 2018 in Südkorea³⁵

MNB	Ersteigerte Frequenz-nutzungsrechte	Konkrete Frequenzlage
SKT	800 MHz	28,1 GHz – 28,9 GHz
KT	800 MHz	26,5 GHz – 27,3 GHz
LGU+	800 MHz	27,3 GHz – 28,1 GHz
insgesamt	2400 MHz	26,5 GHz – 28,9 GHz

Quelle: MSIT

Aktuell gibt es keine Information, dass MSIT in diesen Frequenzlagen weitere Zuteilungen intendiert.

Frequenzen für lokale Anwendungen

Nach unserem Kenntnisstand bestehen derzeit in Korea keine Pläne, regional/lokal Frequenzen exklusiv für private Campus-Netze zuzuteilen. Der gesamte Umfang an 5G-Frequenzen im Bereich 3,6 GHz wurden bereits versteigert und an die Mobilfunknetzbetreiber mit nationalem Nutzungsrecht zugeteilt.³⁶

Die folgenden weiteren Aspekte/Fakten erscheinen uns hier von Interesse:

- Der 5G-Ausbau hat bereits begonnen (Dezember 2018) und Kunden nehmen den Service (derzeit vorrangig in Seoul und in urbanen Gebieten) auch gut an.³⁷
- Medienberichte sagen einheitlich, dass die Telekommunikationsunternehmen das 5G-Netz ausbauen werden und dann aufgrund der spezifischen Eigenschaften von 5G (Beamforming, Network-Slicing etc.) „private Netze“ für die Industrie anbieten werden.³⁸

³⁵ Siehe hierzu <http://www.msit.go.kr/web/msipContents/contentsView.do?catelId=mssw311&artId=1386500>.

³⁶ Siehe <https://www.rcrwireless.com/20180620/5g/south-korea-completes-5g-spectrum-auction-tag23>

³⁷ Siehe hierzu <https://www.rcrwireless.com/20190808/5g/south-korea-reaches-2-million-5g-subscribers-four-months>

³⁸ Siehe hierzu <https://www.computerweekly.com/news/252461896/Private-5G-networks-will-be-a-big-trendo>; sowie <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20190530000700> und <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20190408000818>

- Gemäß einem Investitionsplan Südkoreas sollen 1,6 Mrd. Won innerhalb von 5 Jahre lokalen Firmen den Aufbau eigener 5G Netze ermöglichen.³⁹
- LGU+ möchte seine 5G-Dienste unter anderem auch für Landwirtschaftsmaschinen optimieren.⁴⁰
- „LG Uplus said it has been deploying base stations to launch its commercial 5G offering since October. The carrier said it will have more than 7,000 base stations by the end of December. It has already set up 4,100 5G base stations in 11 cities including Seoul, Incheon, Daejeon, Bucheon, Goyang, Gwangmyeong, Hanam and other cities in Gyeonggi Province.“⁴¹
- „LGU* also highlighted that it will adopt its 5G service to various sectors such as the remote control of heavy equipment and agricultural machines, drones, CCTV, smart factories and smart cities.“⁴²

4.1.3 5G-Frequenzuteilungen in den Vereinigten Staaten von Amerika

In den Vereinigten Staaten von Amerika ist die Federal Communications Commission (FCC) die zuständige und verantwortliche Institution für Frequenzmanagement und Frequenzuteilungen.

Die FCC hat bzw. intendiert in verschiedenen Frequenzlagen zusätzliches Spektrum für 5G-Dienste für exklusive Nutzungen zur Verfügung gestellt bzw. zu stellen. Dies betrifft alle drei Frequenzlagen: sogenannte Low-Bands, Mid-Bands und High-Bands. In Anbetracht der Tatsache, dass unlizenziertes Spektrum (in Deutschland spricht man hier von einer Allgemeinuteilung) für 5G wichtig sein wird, schafft die FCC auch diesbezüglich Möglichkeiten für die nächste Generation von Wi-Fi im 6-GHz- und im 95-GHz-Frequenzbereich.

Low-Band-Spektrum

Nach Angaben der FCC gab es Ende des Jahres 2018 die folgenden Frequenzuteilungen im Low-Band-Bereich. Hierbei ist zu beachten, dass es sich um Durchschnitte handelt, da traditionell die Frequenzen in den Vereinigten Staaten von Amerika für individuelle Regionen und nicht national zugeteilt werden.

³⁹ Siehe hierzu <https://ecfsapi.fcc.gov/file/1040331077123/Analysys%20Mason%20-%20Global%20Race%20to%205G%20Update.pdf>; S. 65 sowie <https://en.yna.co.kr/view/AEN20140122001200320>.

⁴⁰ <https://www.rcrwireless.com/20181203/5g/korean-carriers-launch-commercial-5g-services>

⁴¹ <https://www.rcrwireless.com/20181203/5g/korean-carriers-launch-commercial-5g-services>

⁴² <https://www.rcrwireless.com/20181203/5g/korean-carriers-launch-commercial-5g-services>

Tabelle 7: Gegenwärtige Frequenzzuteilungen für kommerzielle mobile Dienste in den USA (in MHz)

Band	600	700	Cell.	SMR	PCS	H-blk.	AWS1	AWS3	AWS4	WCS	BRS	EBS	Insg.
MHz	70	70	50	14	130	10	90	65	40	20	67,5	89	715,5

Legende:

Cell. (Cellular), SMR (Specialized Mobile Radio Service), PCS (Personal Communications Service), AWS (Advanced Wireless Service) WCS (Wireless Communications Service), BRS (Broadband Radio Service), and EBS (Educational Broadband Service).

Quelle: FCC (2018)⁴³

Die FCC beabsichtigt, die Nutzung des Niedrigbandspektrums für 5G-Dienste zu verbessern. Hierzu sind gezielten Änderungen von Frequenznutzungsbestimmungen für die Frequenzen in den Lagen 600-MHz-, 800-MHz- und 900-MHz-Band geplant.

Mid-Band-Spektrum

Die FCC konstatiert die Bedeutung des Mid-Band-Spektrums für den 5G-Ausbau aufgrund der Ausgewogenheit hinsichtlich der Reichweite und seiner Kapazitätsmerkmale. In den Frequenzbereichen 2,5-GHz-, 3,5-GHz- und 3,7- bis 4,2-GHz-Band sollen daher bis zu 844 Megahertz für 5G-Anwendungen zur Verfügung gestellt werden.

Die U.S. Federal Communications Commission hat im Juli 2019 mit 3:2 dafür gestimmt, ein Schlüsselband des derzeit nicht ausreichend genutzten 2,5-GHz-Spektrums für 5G-Nutzungen zu versteigern. Es soll primär für die Bildung genutzt werden.

15 Channels in diesem Bereich sollen für 5G Dienste genutzt werden, 7 für „priority access licences“ (PAL) und 8 als allgemein zugeteilt.⁴⁴ Die PAL-Auktion wird nicht vor 2020 durchgeführt werden. Die Allgemeinzuteilungen „general authorised access“ sollen früher erfolgen.⁴⁵

⁴³ Siehe hierzu FCC (2018): FCC's First Communications Marketplace Report, December 2018 verfügbar unter https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-18-181_A_1.pdf.

⁴⁴ Siehe hierzu auch Nett, L., B. Sörries (2019): Infrastruktur-Sharing und 5G: Anforderungen an Regulierung, neue wettbewerbliche Konstellationen, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 434, Juli 2019, verfügbar unter https://www.wik.org/index.php?id=diskussionsbeitraege&details&tx_ttnews%5Bcat%5D=4&tx_ttnews%5Byear%5D=2019&tx_ttnews%5BbackPid%5D=93&tx_ttnews%5Btt_news%5D=2217&cHash=8ff7735aa34c99aca84979f70a377719..

⁴⁵ Siehe hierzu <https://www.rcrwireless.com/20190513/5g/fcc-pivots-to-midband-spectrum>

Zudem wird derzeit ausgelotet, wie das Frequenzband 3,7 – 4,2 GHz, welches aktuell für Fixed Satellite Services genutzt wird, auch für 5G-Nutzungen zugänglich gemacht werden kann.⁴⁶

High-Band-Spektrum

Der Fokus der FCC war bisher auf Frequenzzuteilungen im High-Band-Spektrum. Mit der Vergabe bzw. dem Transfer von Frequenzen aus den Bereichen 24-GHz-, 28-GHz-, 37-GHz-, 39-GHz- und 47-GHz-Bänder intendiert die FCC, nahezu 5 Gigahertz für 5G-Anwendungen zur Nutzung zur Verfügung zu stellen.

Durch Firmenübernahmen erwarben die Mobilfunknetzbetreiber bereits eine Vielzahl von Frequenznutzungsrechten in diesen Bereichen. 76 % der Frequenzen im Bereich 28 GHz und 68 % der Frequenzen im Bereich 39 GHz (gemessen in MHz-pop) wurden dadurch an Mobilfunknetzbetreiber übertragen. Im Detail:⁴⁷

- Verizon erwarb XO Communications im Februar 2017, und dann im Mai 2017 für einen Börsenwert in Höhe von 3,1 Mrd. USD. Beide, XO und Straight Path, hielten Frequenznutzungsrechte im 28-GHz-Bereich (27,5 – 28,35 GHz) und 39-GHz (38,6 – 40 GHz) -Frequenzband.
- AT&T erwarb FiberTower im Februar 2017. FiberTower hielt Frequenznutzungsrechte (in einer Reihe von Regionen) im Frequenzbereich 24 GHz (24,25 – 24,45 GHz und 24,75 – 25,25 GHz) und im 39-GHz-Frequenzband. Allerdings entzog die FCC all 24-GHz-Lizenzen und einige 39 GHz im Januar 2018.
- T-Mobile kaufte MetroPCS im Oktober 2012. MetroPCS hatte Frequenznutzungsrechte im Bereich 28 GHz und im 39-GHz-Frequenzband.
- T-Mobile erwarb außerdem 150 MHz von LMDS-Frequenzen (28 – 31GHz) in Ohio, welche ebenfalls für 5G genutzt werden sollen.

Die FCC hat ihre erste 5G-Spektrum-Auktion im Jahr 2018 mit Frequenzen aus dem 28-GHz-Band abgeschlossen. Die Auktion dauerte 176 Runden und 38 Biet-Tage (Gesamterlös 702.572.410 USD).⁴⁸ Folgende Unternehmen mit den meisten Frequenzen: Cellco Partnership d/b/a Verizon Wireless – 1.066 Lizenzen, 863 Märkte; T-Mobile License LLC – 865 Lizenzen, 864 Märkte; United States Cellular Corporation – 408 Lizenzen, 362 Märkte.⁴⁹

Auch die 24-GHz-Frequenzen wurden versteigert. Die Auktion endete am 28. Mai 2019.⁵⁰ Folgende Unternehmen erwarben die meisten Frequenznutzungsrech-

⁴⁶ <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-352520A1.pdf>,
<https://www.fcc.gov/document/fcc-proposes-expand-flexible-use-mid-band-spectrum>,
<https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-18-91A1.pdf>

⁴⁷ Siehe hierzu Analysis Mason (2019) B-84.

⁴⁸ Siehe hierzu <https://www.fcc.gov/document/auction-101-results-public-notice>

⁴⁹ Siehe hierzu <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-19-484A2.pdf>

⁵⁰ Siehe hierzu <https://www.fcc.gov/document/auction-102-closing-public-notice>

te/Lizenzen⁵¹: T-Mobile License LLC – 1.346 Lizenzen, 400 Märkte; AT&T Spectrum Frontiers LLC – 831 Lizenzen, 383 Märkte; United States Cellular Corporation – 282 Lizenzen, 102 Märkte.

Es ist intendiert, folgende Frequenzbänder in den Bereichen 37 GHz (37,6 – 38,6 GHz), 39 GHz (38,6 – 40 GHz) und 47 GHz (47,2 – 48,2 GHz) im Rahmen einer Incentive-Auction⁵² zu versteigern (3,4 GHz sollen insgesamt versteigert werden davon 2,4 GHz als „contiguous spectrum“ (zusammenliegendes Spektrum)).

Weitere Aktivitäten zur Bereitstellung von zusätzlichen Frequenzen für 5G werden von 5G Americas⁵³ gefordert. Interessierte sind auf die dortige Zusammenfassung auf Seite 4 verwiesen.

Neben dem Dreistufen-Modell im Mid-Band-Spektrum sind uns aktuell keine Frequenzmanagement-Maßnahmen bekannt, die lokale Campus-Netze fördern.

4.1.4 Stand der Frequenzuteilungen für 5G-Nutzungen in Europa⁵⁴

Die für 5G nutzbaren Frequenzen in Europa sind zunächst im Bereich 700 MHz, 3,6 GHz und 26 GHz angesiedelt. Die aktuellen Frequenzuteilungen in diesen Bereichen werden auf der entsprechenden Seite des „5G-Observatory der europäischen Kommission“ angeführt. Für die Länder Frankreich, Italien, Österreich, Spanien, Schweiz und Vereinigtes Königreich präsentieren wir diese explizit. Bezüglich der anderen Länder wird der interessierte Leser auf die öffentlich zugängliche Internetseite (siehe: <https://5gobservatory.eu/5g-spectrum/national-5g-spectrum-assignment/>) verwiesen.

4.1.4.1 Stand der 5G-Frequenzuteilungen in Frankreich

5G spectrum consultation	700 MHz	3.4-3.6 GHz	3.6-3.8 GHz	>24 GHz	Other frequencies
✓ July 2018	✓ 2015	+++ Q4 2019 / 2020	+++ Q4 2019 / 2020	+	+++ 1.5 GHz
+ : earmarked, ++ : ongoing process, +++ : allocation procedure scheduled, ✓ : done					

⁵¹ Siehe hierzu <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-19-485A2.pdf>

⁵² Zu Incentive Auktionen siehe Nett, L. (2017): Incentive Auctions als ein neues Instrument des Frequenzmanagements, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 421, Bad Honnef, Juli 2017; verfügbar unter https://www.wik.org/index.php?id=diskussionsbeitraege&details&tx_ttnews%5BbackPid%5D=93&tx_ttnews%5Btt_news%5D=1995&cHash=75344041dd096a3f8e348e521be1c14c.

⁵³ Siehe hierzu http://www.5gamericas.org/files/4015/4958/3330/5G_Americas_5G_Spectrum_Vision_Whitepaper.pdf

⁵⁴ siehe: <https://5gobservatory.eu/5g-spectrum/national-5g-spectrum-assignment/>

1,5 GHz

Im Sommer 2018 (30. Juli bis 30. September 2018) fand eine öffentliche Konsultation zum 1,5-GHz-Band statt.

3,4 – 3,8 GHz

Nach einer öffentlichen Konsultation, die im Februar 2018 abgeschlossen wurde, kündigte die französische NRB Mitte 2018 ihre Absicht an, den drahtlosen Teilnehmeranschluss mit einem Teil des 3,5-GHz-Bandes zu modernisieren und den Rest des 3,4-3,8-GHz-Spektrums für MNBs für 5G-Tests und Rollouts bereitzustellen.

Zwischen dem 26. Oktober 2018 und dem 19. Dezember 2018 fand eine öffentliche Konsultation zu Vergabeverfahren statt, um Ideen und Bedürfnisse von Betreibern, lokalen Behörden, vertikalen Marktteilnehmern, Wirtschaftsbeteiligten und allen interessierten Parteien zu sammeln. ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes) führte eine zweite Konsultation zu den Ausschreibungen durch. Die Auktion soll Ende 2019 oder 2020 stattfinden.

Im 3.400- bis 3.800-MHz-Band stehen Frequenzen in den Ballungsräumen Lyon, Bordeaux, Nantes, Lille, Le Havre, Saint-Étienne, Douai, Montpellier und Grenoble zur Verfügung (Liste kann sich ändern).

Im Juni 2017 lud ARCEP die Akteure ein, 5G-Tests in einem Teilband im Umfang von 80 MHz im Bereich von 3,60 – 3,68 GHz durchzuführen.

ARCEP hat Orange und Bouygues Telecom temporäre 3,5-GHz-Lizenzen für die Durchführung ihrer 5G-Tests erteilt:

Die französische NRB hat Orange autorisiert, das Spektrum im 3,5-GHz-Band für 5G-Tests für 12 Monate ab Juni 2018 in zwei Städten (Lille, Douai) zu nutzen.

Bouygues Telecom erhielt eine befristete Lizenz im 3,6- bis 3,7-GHz-Band, die bis September 2020 für 5G-Piloten in drei Städten (Bordeaux, Lyon und Villeurbanne) gilt.

Im Juni 2018 erhielt Orange die Genehmigung zur Nutzung des 3,7- bis 3,8-GHz-Spektrums für 5G-Versuche.

Die 3,6-GHz-Auktion soll im vierten Quartal 2019 stattfinden.

26 GHz

Im Mai 2018 startete ARCEP eine öffentliche Konsultation zur Öffnung des 26-GHz-Pionierbandes auf 5G.

Der französische Staatssekretär beim Minister für Wirtschaft und Finanzen und der Vorsitzende der ARCEP präsentierten die ersten elf 5G-Projekte, die für die Nutzung des 26-GHz-Bandes ausgewählt wurden.

Im Januar 2019 gaben die Regierung und die ARCEP einen gemeinsamen Aufruf zur Schaffung von 5G-Testplattformen heraus, die Dritten offen stehen sollen und das 26-GHz-Band nutzen. Ziel dieser Ausschreibung war es, allen Beteiligten den Weg zu bahnen, die Möglichkeiten dieses Frequenzbandes zu nutzen und neue Einsatzmöglichkeiten für 5G zu entdecken.

Einige Projekte konzentrieren sich auf einen speziellen Anwendungsbereich: Logistik (intelligente Häfen, multimodales Verkehrsmanagement, Rückverfolgbarkeit), intelligente Stadt (intelligente Gebäude), Mobilität (Dienstleistungen im Bahnhof für Züge oder Fahrgäste) oder Sportveranstaltungen.

Diese Lizenzen berechtigen die Projekte zur Nutzung umfangreicher Frequenzbänder für einen Zeitraum von bis zu drei Jahren. Die Akteure, deren Projekte ausgewählt wurden, müssen bis spätestens 1. Januar 2021 über ein funktionsfähiges 5G-Testnetz verfügen und es Dritten zur Durchführung eigener 5G-Tests zur Verfügung stellen.

Einige der Projekteigner, die bis zum 7. Oktober 2019 eine Lizenz erhalten haben, sind:

- *Bordeaux Métropole*: Das Projekt will die Vorteile der öffentlichen Beleuchtungsnetze für den Einsatz neuer Infrastrukturen nutzen: 5G-Netze sollen eine Ultra-Highspeed-Konnektivität in dichtbesiedelten Gebieten generieren. Bordeaux Métropole wird in Zusammenarbeit mit dem Betreiber Bouygues Telecom ein großes Ökosystem managen und so viele Anwendungsfälle wie möglich entwickeln, indem wichtige Partner wie die Banque des Territoires, die French Tech Bordeaux, Cap Sciences und die Bordeaux Ecole Numérique einbezogen werden.
- *Le Grand Port Maritime du Havre*: Das Projekt zielt darauf ab, Anwendungen im Energiebereich zu testen, wie den Betrieb von Smart Grids und das Aufladen von Elektrofahrzeugen. Andere Anwendungen werden sich stärker auf logistische Abläufe im Hafengebiet konzentrieren, insbesondere auf den Betrieb von Containerterminals. In Zusammenarbeit mit der städtischen Gemeinde Le Havre Seine Métropole, Siemens, EDF und Nokia setzt dieses Projekt das Smart-Port-City-Programm der Region fort.
- *Saint-Quentin-en-Yvelines am Vélodrome Nationalpark*: Das Projekt will eine offene 5G-Testplattform für das Nationale Velodrom schaffen, um den Herausforderungen dieses zukünftigen Olympiastandorts gerecht zu werden. Die Anwen-

dungsfälle reichen von der Augmented-Reality-Wiedergabe der verschiedenen Ereignisse bis hin zu Anwendungen, die durch den Fortschritt bei festen und mobilen Audio- und Videogeräten ermöglicht werden – zum Beispiel bis hin zum Einsatz von KI (künstlicher Intelligenz) in Sportmedien. Die Region arbeitet mit Nokia, Qualcomm, Airbus und France Television zusammen.

4.1.4.2 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen in Italien

5G spectrum consultation	700 MHz	3.4-3.6 GHz	3.6-3.8 GHz	>24 GHz	Other frequencies
–	✓	–	✓	✓	–
Dec. 2017, Feb. 2018	60 MHz September 2018		200 MHz September 2018	1,000 MHz September 2018	

+ : earmarked, ++ : ongoing process, +++ : allocation procedure scheduled, ✓ : done

Frequenzen in den Bereichen 700 MHz (694 – 790 MHz), 3,6 – 3,8 GHz und 26,5 – 27,5 GHz wurden im Zeitraum September bis Oktober 2018 versteigert. Die gesamte Auktion endete nach 14 Tagen. Das Auktionsergebnis mit 6,55 Mrd. EUR lag über den Erwartungen. 4 Mrd. EUR wurden für die begehrten Mittelfrequenzen erzielt.

3,6 – 3,8 GHz

Mitte 2017 stellte die italienische Frequenzbehörde das Spektrum im 3,4- bis 3,8-GHz-Band für 5G-Testzwecke zur Verfügung.

Die Auktion endete am 2. Oktober 2018, dauerte 14 Tage und benötigte 171 Auktionsrunden. Telecom Italia und Vodafone ersteigerten den größten Umfang an Frequenzen (je 80 MHz) für jeweils ca. 1,7 Mrd. EUR. Entsprechend zahlten sie 1,694 Mrd. EUR bzw. 1,685 Mrd. EUR. Wind und Iliad zahlten jeweils 483,9 Mio. EUR für je 20 MHz Spektrum (483,92 Mio. EUR für Wind und 483,9 Mio. EUR für Iliad). Insgesamt wurde ein Auktionserlös in Höhe von 4,3 Mrd. EUR erzielt. Der durchschnittliche Preis für Frequenzen lag mit 18 Eurocent/MHz/PoP/10 Jahren deutlich höher als im Vereinigten Königreich oder in Spanien.

Die Lizenzen beginnen am 1. Dezember 2018.

700 MHz

Der 700-MHz-Auktion endete Mitte September 2018. Die 700-MHz-Frequenzen erzielten einen Auktionserlös in Höhe von 2,04 Mrd. EUR. Telecom Italia gab bekannt, dass sie 680,2 Mio. EUR für 2x10 MHz bezahlt hat. Iliad zahlte 676,5 Mio. EUR für 2x10 MHz. Vodafone gab 683,2 Mio. EUR für 2x10 MHz aus. Die Lizenzen sind 15 Jahre gültig und beginnen am 1. Juli 2022.

26 GHz

1.000 MHz des 26,5- bis 27,5-GHz-Spektrums (aufgeteilt in fünf Lose à 200 MHz) wurden im September 2018 versteigert. Die Versteigerung endete am 2. Oktober 2018 nach einer Auktionsdauer von 14 Tage. Die Auktion für 26-GHz-Frequenzen hat kein großes Interesse der Teilnehmer geweckt. Die fünf Lose wurden zugeteilt und haben insgesamt 167,3 Mio. EUR eingebracht. Telecom Italia zahlte für seinen Slot 33 Mio. EUR, Iliad erhielt einen weiteren Teil für 32,9 Mio. EUR, während Fastweb, Wind und Vodafone jeweils 32,6 Mio. EUR zahlten.

Die Lizenzen sind bis 2037 gültig. Das Nutzungsrecht beginnt am 1. Dezember 2018.

4.1.4.3 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen in Österreich

5G spectrum consultation	700 MHz	3.4-3.6 GHz	3.6-3.8 GHz	>24 GHz	Other frequencies
✓ 2017	+++ Q1 2020	✓ 190 MHz in March 2019	✓ 200 MHz in March 2019	++	- 1500MHz, 2100MHz
+ : earmarked, ++ : ongoing process, +++ : allocation procedure scheduled, ✓ : done					

3,4 – 3,8 GHz

Im Februar 2018 führte die RTR GmbH (Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH) eine dritte Konsultation (nach einer zweiten Mitte 2017 zum Auktionsdesign) zum Vergabeverfahren für das Frequenzband 3,4 – 3,8 GHz durch, das 190 MHz innerhalb des Bereichs 3.410 – 3.600 MHz und 200 MHz innerhalb des Bereichs 3.600 – 3.800 MHz (für 5G-Breitbanddienste vorgesehen) umfasst. Es wurden Frequenz-Kappen pro Betreiber, Versorgungsaufgaben und Mindestgebote festgesetzt (Frequenz-Kappe von 140 MHz bis 160 MHz pro Betreiber, Bereitstellung von bis zu 1.000 Standorten mit 5G, 50 % Abdeckung bis Mitte 2020, 100 % bis Ende 2021, abhängig von der Frequenz und der betrachteten Region, Mindestgebote von rund 30 Mio. EUR).

5G-Spektrum-Auktionen (Simple Clock Auctions (SCA), regionale Basis) fanden im März 2019 statt. Die Lizenzen haben eine Laufzeit von 20 Jahren und laufen somit bis

Ende 2039. Die Regierung erhielt aus diesen Auktionen einen Erlös in Höhe von 188 Mio. EUR.

700 MHz

Eine Multiband-Auktion wird für das erste Quartal 2020 (700 MHz / 1.500 MHz / 2.100 MHz) erwartet. Die RTR-GmbH hat das 700-MHz-Band für 5G-Dienste vorgesehen, und diese Frequenzen werden 2020 verfügbar sein.

26 GHz

Das 26-GHz-Band wurde im Spectrum Release Plan 2016 nicht erwähnt. Die RTR-GmbH hat eine öffentliche Konsultation zu den Frequenzen 2,3 und 26 GHz durchgeführt (Ende August 2019). Die Regulierungsbehörde wollte wissen, wie die Beteiligten dieses Band für zukünftige 5G-Dienste nutzen möchten. Die Ergebnisse finden sich unter dem folgenden Link: https://www.rtr.at/de/inf/stn_konsult26-ghz-2300-mhz.

Hinweis: Artikel 54 des EECC sieht vor, dass die Mitgliedstaaten bis zum 31. Dezember 2020 alle geeigneten Maßnahmen ergreifen, um die Nutzung von mindestens 1 GHz des Frequenzbandes 24,25 – 27,5 GHz zu ermöglichen.

4.1.4.4 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen in Spanien

5G spectrum consultation	700 MHz	3.4-3.6 GHz	3.6-3.8 GHz	>24 GHz	Other frequencies
✓ 2017	+++	✓ 2016	✓ 2018	+	-

+ : earmarked, ++ : ongoing process, +++ : allocation procedure scheduled, ✓ : done

A public consultation on 5G was launched in 2017. Submissions were closed at the end of July 2017.

Im Jahr 2017 wurde eine öffentliche Konsultation zu 5G erstmals durchgeführt.

3,4 – 3,6 GHz

Die Frequenzen im Bereich 3,4 – 3,6 GHz wurden bereits 2016 für 5G-Dienste vergeben (2016, Lizenzen sind bis 2030 gültig). Vier Lizenzen haben eine Frequenz von 2x20 MHz. Die restlichen 2x20 MHz werden für Funkortung und Schutzbänder verwendet.

3,6 – 3,8 GHz

Die 3,6- bis 3,8-GHz-Spektrum-Auktion fand im Juli 2018 statt. Das Spektrum wurde in vierzig 5-MHz-Blöcke (insgesamt 200 MHz) unterteilt. Die Auktion brachte 438 Mio. EUR ein.

700 MHz

Die Vergabe vom 700-MHz-Band wird derzeit diskutiert. Die ursprünglich für das Frühjahr 2019 geplante 700-MHz-Auktion wurde Ende November 2018 auf die ersten Monate des Jahres 2020 verschoben.

26 GHz

Die Nutzung des 26-GHz-Spektrums für Pilotprojekte wurde erleichtert, um das Potenzial dieses Bereichs zu analysieren. Die Frequenznutzungsbedingungen sollen geändert werden, um es dann zukünftig für 5G-Anwendungen zur Verfügung zu stellen.

4.1.4.5 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen in der Schweiz

5G spectrum consultation	700 MHz	3.4-3.6 GHz	3.6-3.8 GHz	>24 GHz	Other frequencies
?	✓ 60 MHz (FDD) and 5 MHz (of SDL unsold) - Feb. 2019	✓ 300 MHz TDD	—	—	✓ 2.6 GHz TDD (no spectrum sold i.e. 2x5 MHz in Feb. 2019) - 75 MHz of 1.4 GHz SDL (15 MHz unsold, Feb. 2019)

+ : earmarked, ++ : ongoing process, +++ : allocation procedure scheduled, ✓ : done

BAKOM (Bundesamt für Kommunikation) versteigerte im Januar 2019 700-/1400-/2600-MHz- und 3,5- bis 3,6-GHz-Frequenzen. Die Auktion erzielte einen Erlös von 379 Mio. CHF (338 Mio. EUR). Salt, Sunrise und Swisscom erhielten jeweils 700 MHz FDD-Spektrum, Sunrise erhielt 700 MHz SDL-Spektrum. Alle drei erhielten 1.400 MHz SDL-Spektrum und Spektrum im Bereich 3.500 – 3.800 MHz. Einige der angebotenen Frequenzblöcke wurden nicht ersteigert. Keine der Blöcke der TDD-Frequenzen im Bereich 2.600 MHz wurde aktiv geboten und somit ersteigert.

Swisscom bezahlte 195,6 Mio. CHF für 2x15 MHz Spektrum in 700-MHz-Frequenzen, 120 MHz ungepaartes Spektrum in 3.500-MHz-Frequenzen und 50 MHz in 1400-MHz-SDL-Frequenzen. Salt bezahlte 94,5 Mio. CHF für 2x10 MHz im Bereich 700-MHz-Frequenzen, 80 MHz im Bereich 3.500-MHz-Frequenzen und 10 MHz im Bereich 1.400-MHz-SDL-Frequenzen. Sunrise ersteigerte 2x5 MHz gepaarte Frequenzen und 10 MHz der 700-MHz-SDL-Frequenzen, 100 MHz 3.500-MHz-Frequenzen und 15 MHz der 1.400-MHz-SDL-Frequenzen. Insgesamt bezahlten sie 89,2 Mio. CHF für ihre Zuteilungen.

Frequencies	Salt	Sunrise	Swisscom
700 MHz FDD	20 MHz	10 MHz	30 MHz
3.5 GHz TDD	80 MHz	100 MHz	120 MHz
700 MHz SDL (5 MHz unsold)	–	10 MHz	5 MHz
1400 MHz SDL (15 MHz unsold)	10 MHz	15 MHz	50 MHz

4.1.4.6 Stand der 5G-Frequenzzuteilungen im Vereinigten Königreich

5G spectrum consultation	700 MHz	3.4-3.6 GHz	3.6-3.8 GHz	>24 GHz	Other frequencies
?	+++	✓ 2018	+++ 2020	++	++ 1.5/2.6 GHz
+ : earmarked, ++ : ongoing process, +++ : allocation procedure scheduled, ✓ : done					

700 MHz (694 – 790 MHz)

Die britische Regierung hat bis zu 600 Mio. GBP in die Bereitstellung des Bandes investiert. OFCOM (Office of Communications) geht davon aus, dass die Versteigerung noch im Jahr 2019 stattfindet. Es wird erwartet, dass Teile des 700-MHz-Bandes im Jahr 2020 vergeben werden. Die damit verbundene öffentliche Konsultation endete im März 2019.

3,4 – 3,8 GHz

Im Juni 2019 wurde eine Konsultation zur Defragmentierung des 3,4- bis 3,8-GHz-Bandes veröffentlicht. Die Idee ist, das Band in der Frequenzzuteilung so zu restrukturieren, dass die Betreiber zusammenhängende Frequenzblöcke verwenden können. Vor der 3.600- bis 3.800-MHz-Auktion könnte eine Verhandlungsstufe stattfinden, in der die Frequenznutzer Blöcke tauschen könnten.

150 MHz von 3,4- bis 3,6-GHz (3.410 – 3.480 MHz / 3.500 – 3.580 MHz) -Spektrum wurde im April 2018 an alle Mobilfunknetzbetreiber zu einem Durchschnittspreis pro

MHz von 9 Eurocent pro PoP für 10 Jahre versteigert; Three erhielten 20 MHz (3.460 – 3.480 MHz), EE 40 MHz (3.540 – 3.580 MHz), Vodafone 50 MHz (3.410 – 3.460 MHz) und O2 Telefónica 40 MHz (3.500 – 3.540 MHz). Mit den beiden 20-MHz-Slots, die seit einigen Jahren von UK Broadband (3.480 – 3.500 MHz & 3.580 – 3.600 MHz) genutzt werden, ist das Band vollständig zugewiesen.

3,6 – 3,8 GHz

OFCOM hat vor, im Jahr 2020 dann ungenutztes Spektrum in den Frequenzen von 3,6 – 3,8 GHz zu versteigern.

Im Dezember 2018 veröffentlichte Ofcom eine Konsultation zu den jährlichen Lizenzgebühren, die UK Broadband für seine Frequenzlizenzen im 3,4-GHz- und 3,6-GHz-Band berechnet werden.

Es wird erwartet, dass Teile des Bandes im Jahr 2020 vergeben werden. Die damit verbundene öffentliche Konsultation endete im März 2019.

26 GHz (24,25 – 27,5 GHz)

Das OFCOM ersuchte im Juli 2017 um Stellungnahmen bezüglich der zukünftigen Nutzung des 26-GHz-Spektrums.

57-91 GHz

Im Juli 2018 eröffnete das OFCOM eine Konsultation zu 57- bis 71-GHz-Frequenzen. Ofcom beschloss, das Vergabeverfahren für feste drahtlose Systeme im 64- bis 66-GHz-Band zu ändern. Diese Frequenzen erfolgen jetzt als eine Allgemeinzuteilung. Es gibt gemeinsame technische Nutzungsbedingungen im 57- bis 71-GHz-Band für breitbandige Kurzstrecken-Datenübertragungssysteme und feste drahtlose Systeme.

4.2 Maßnahmen im Rahmen des Frequenzmanagement zur Förderung von 5G-Campus-Netzen in Europa

Grundsätzlich ermöglichen nationale Frequenznutzungsrechte den Mobilfunknetzbetreibern über Network-Slices dezidierte lokale 5G-Netze zu errichten. Von daher generieren die zuvor dargestellten, vorwiegend nationalen Frequenzzuteilungen an die Mobilfunknetzbetreiber in den einzelnen Ländern diese Option. Allerdings stellte sich uns auch die Frage, welche weiteren Maßnahmen im Rahmen des Frequenzmanagements die nationalen Institutionen in den einzelnen europäischen Ländern vorgenommen haben, um die Errichtung von lokal dezidierten 5G-Netzen insbesondere Campus-Netze zu ermöglichen bzw. zu fördern. Zu diesem Zweck haben wir einen Fragebogen entwickelt, der den nationalen Frequenzmanagementbehörden zugesendet wurde. Dieser wurde auf der Plattform der RSPG veröffentlicht. In diesem wird auch erfragt, welche

Unternehmen bzw. andere Institutionen primär ein Interesse an der Errichtung privater 5G-Netze insb. Campus-Netze haben und welche frequenzpolitischen Maßnahmen von Seiten der Frequenzvergabeinstitution beabsichtigt sind.⁵⁵

Im Folgenden präsentieren wir subsumiert die Antworten, die auf den Fragebogen von den nationalen Regulierungsbehörden / Frequenzmanagementbehörden gegeben wurden.

4.2.1 Belgien

Das Belgian Institute for Postal Services and Telecommunications (BIPT) wurde von einer Reihe von Unternehmen kontaktiert, die einen Bedarf nach lokalen Frequenzen für lokal dezidierte 5G-Netze vorgebracht haben. Deren Identität wird von BIPT vertraulich behandelt.

Um diesem Interesse Rechnung zu tragen, erwägt BIPT einen Teil der Frequenzen im Bereich 3.800 – 4.200 MHz lokal zu vergeben. Weitere spezifische Maßnahmen für die Förderung von 5G-Netzen sind derzeit nicht geplant.

4.2.2 Dänemark

Bei der Vorbereitung der dänischen 5G-Strategie erhielt die dänische Energiebehörde von der Universität Aalborg und der Danish Broadcasting Corporation (DR) Hinweise auf Interesse an der Bereitstellung von Frequenzen für lokale, unternehmens- oder gebietsspezifische 5G-Anwendungen. Die Universität Aalborg schlug vor, dass 100 MHz im 3,5-GHz-Band für lokale 5G-Nutzungen vorzusehen sind, während DR die benötigte Bandbreite nicht anführte.

Die dänische Energiebehörde hat bei anderen Gelegenheiten ein Interesse an lokalen 5G-Frequenznutzungsrechten festgestellt. Dieser Interessentenkreis umfasst Nokia, Ericsson und die dänischen Handelskammer.

Die dänische Energiebehörde bereitet derzeit die Lizenzierung der Bänder 3,5 GHz und 26 GHz vor. Detaillierte Entscheidungen über die Art der Frequenzvergabe bestehen derzeit noch nicht. Die Konsultation endet im Dezember 2019, eine Entscheidung wird für Anfang Januar 2020 erwartet.

4.2.3 Deutschland

Die Bundesnetzagentur in Deutschland hat die folgenden Maßnahmen zur Ermöglichung von lokal dezidierten 5G-Netzen ergriffen:

⁵⁵ Der Fragebogen findet sich in Anhang A.

- 700-MHz-Spektrum und 3,4 – 3,7 GHz werden national und ausschließlich an Mobilfunkbetreiber vergeben (als Ergebnis einer Frequenzauktion).
 - Lokal dezidierte 5G-Netze können von (nationalen) Mobilfunknetzbetreibern durch 5G-Netzwerk-Slicing erzeugt werden.
 - Über einen kommerziellen Spektrum-Leasingvertrag können Mobilfunknetzbetreiber Dritten ermöglichen, ihr eigenes lokal dezidierte 5G-Netz zu errichten.
- 100 MHz (3,7 – 3,8 GHz) sind für lokale, firmen- oder gebietsspezifische Anwendungen vorgesehen, das Spektrum wird lokal zugeteilt.⁵⁶ Seit dem 21.11.2019 haben Unternehmen die Möglichkeit lokal Frequenzen für die Errichtung lokaler 5G-Campus-Netze zu beantragen.⁵⁷

Darüber hinaus müssen die Zuteilungsinhaber im Band 3,4 – 3,7 GHz mit geeigneten Parteien über die lokale oder regionale Überlassung von Frequenzen verhandeln. Die Verhandlungen sollten nicht diskriminierend sein.

4.2.4 Irland

Der irische Regulierer ComReg (Commission for Communications Regulation) hat bisher keine Indizien oder Informationen dahingehend, dass Unternehmen oder Institutionen beabsichtigen, ihre eigenen lokal dezidierten 5G-Netze zu errichten. Spezifische Frequenzmanagement-Maßnahmen diesbezüglich hat ComReg von daher derzeit noch nicht erwogen. Dies gilt sowohl mit Blick auf spezifische Infrastruktur-Sharing-Maßnahmen als auch mit Blick auf lokal exklusive 5G-Frequenznutzungsrechte.

Vielmehr beabsichtigt ComReg, die 2x30 MHz im 700-MHz-Frequenzband national zu versteigern (siehe ComReg Document 19/56)⁵⁸. Die Frequenzen im Band 3,4 – 3,8 GHz hat ComReg im Jahr 2017 regional/national an fünf Unternehmen zugeteilt. Die erfolgreichen Bieter in der vorangegangenen Auktion waren die Mobilfunknetzbetreiber (Eir, Vodafone und Three), ein Fixed Wireless Operator (Imagine) und ein Newcomer (Airspan, unter dem Namen Dense Air agierend (<http://denseair.net/about-dense-air>)).⁵⁹ Für das 26-GHz-Band werden jetzt erst die ersten regulatorischen Schritte unternommen.

⁵⁶ Siehe Decision of the President's Chamber of the Bundesnetzagentur of 26 November 2018 on the determinations and rules in detail (award rules) and on the determinations and rules for conduct of the proceedings (auction rules) to award spectrum in the 2 GHz and 3.6 GHz bands, Subsection III.4.16, Pages 11, 89) (www.bundesnetzagentur.de/mobilebroadband)

⁵⁷ Siehe https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/20191121_lokaleFreq.html?sessionid=9A40C521944A278EB3A3669EAC2DD30C?nn=265778.

⁵⁸ Siehe <https://www.comreg.ie/publication/proposed-multi-band-spectrum-award-including-the-700-mhz-2-1-ghz-2-3-ghz-and-2-6-ghz-bands>/ <https://www.comreg.ie/publication/proposed-multi-band-spectrum-award-including-the-700-mhz-2-1-ghz-2-3-ghz-and-2-6-ghz-bands/> Siehe <https://www.comreg.ie/publication/proposed-multi-band-spectrum-award-including-the-700-mhz-2-1-ghz-2-3-ghz-and-2-6-ghz-bands/>.

⁵⁹ Weitere Details siehe ComReg Document 17/38 and ComReg Document 17/46.

4.2.5 Italien

In Italien besteht nach Angaben von AGCOM (Autorità per le garanzie nelle comunicazioni) ein generelles Interesse von lokalen Verwaltungen und Unternehmen an 5G-Diensten. Allerdings haben diese Interessenten gegenwärtig noch nicht die Absicht geäußert, lokal dezidierte 5G-Netze auch zu errichten. Potentielle Interessenten haben gegenwärtig noch kein Interesse an exklusiven lokalen Frequenzen/Frequenznutzungsrechten geäußert. Auch der Wunsch nach einem spezifischen Spectrum-Sharing-Regime für lokale 5G-Frequenznutzungen wurde bisher nicht geäußert. Von Seiten AGCOMs besteht aktuell nicht die Absicht, exklusive Frequenzuteilungen für lokale Nutzungen vorzunehmen.

Mit Blick auf eine gemeinsame Frequenznutzung sind die folgenden Aspekte von Belang.

So hat AGCOM beispielsweise im 26,5- bis 27,5-GHz-Band zur Erhöhung der Flexibilität bei der Frequenznutzung und angesichts der Ausbreitungseigenschaften dieses Bandes individuelle, aber nicht exklusive Rechte zur Frequenznutzung definiert. Insbesondere hat AGCOM mit der Entscheidung Nr. 231/18/CONS das sogenannte „Club-Nutzungsmodell“ für das 26-GHz-Band festgelegt. Nach diesem Modell kann jeder Lizenznehmer das gesamte zugeteilte Spektrum (bis zu 1 GHz) dynamisch in Gebieten nutzen, in denen Frequenzen von anderen Lizenznehmern nicht genutzt werden. Zu diesem Zweck können die Lizenznehmer wirtschaftlich vertretbare und nichtdiskriminierende Vereinbarungen treffen, die die Kosten proportional teilen. Jeder Lizenznehmer hat das Vorkaufsrecht an seinem zugewiesenen Block von 200 MHz. Darüber hinaus können die Lizenznehmer einem vertrauenswürdigen Dritten die Aufgabe übertragen, die Nutzungen zu verwalten, um schädliche Störungen zu vermeiden, sowie die Zugriffsplanung.

Gemäß der AGCOM-Entscheidung Nr. 231/18/CONS (die die Regeln für die Vergabe und Nutzung der verfügbaren Frequenzen in den Frequenzbereichen 694 – 790 MHz, 3,6 – 3,8 GHz und 26,5 – 27,5 GHz für drahtlose Breitbanddienste zur Förderung des Übergangs zur 5G-Technologie festlegt), haben die Mobilfunknetzbetreiber-Lizenznehmer in den 3,6- bis 3,8-GHz- und 26-GHz-Bändern Zugangsverpflichtungen, die darauf abzielen, den Zugang und die Entwicklung neuer Akteure in der Wertschöpfungskette zu fördern, einschließlich von Infrastrukturbetreibern und Diensteanbietern (auch auf lokaler Ebene und, falls angebracht, für lokal dezidierte 5G-Netze), die Anreize für Investitionen und die Zusammenarbeit mit Mobilfunkbetreibern erhalten können, um innovative 5G-Dienste anzubieten.

In Bezug auf das 26-GHz-Band, hat AGCOM den Lizenznehmern ferner die Verpflichtung auferlegt, anderen Akteuren (d. h. Nicht Telcos, z. B. Diensteanbieter) Zugang (Wholesale Capacity) für die Bereitstellung von 5G-Diensten zu gewähren. Um Foreclosure und Doppelinvestitionen zu vermeiden, hat AGCOM auch festgelegt, dass auf pri-

vaten Grundstücken mit öffentlicher Beteiligung, der Landmanager die Frequenznutzung anderen Lizenznehmern, die ein Netzwerk errichten wollen, gestatten muss.

Der Zugang für einen bestimmten Bereich muss von jedem Lizenznehmer, der auf nationaler Ebene mindestens 80 MHz im 3,4- bis 3,8-GHz-Band hält, anderen Akteuren (z. B. anderen Telekommunikationsunternehmen oder Dienstleistern), die keine Lizenznehmer im 3,8-GHz-Band sind (oder Lizenznehmern im 3,5 GHz-Band, die jedoch über Nutzungsrechte verfügen, die weniger als 40 % der nationalen Bevölkerung abdecken), ermöglicht werden. Der Zugang für einen bestimmten Bereich muss auf die Entwicklung von 5G-Diensten ausgerichtet sein und auf einer kommerziellen Vereinbarung mit fairen und nichtdiskriminierenden Bedingungen beruhen. Wenn der Lizenznehmer das Gebiet, in dem ein Player Konnektivität benötigt, nicht abdeckt, kann der Player das Netzwerk aufgrund von Vereinbarung oder sogar durch Leasing von Frequenzen nutzen. Diese Zugangsverpflichtung zielt auch darauf ab, sowohl die vertikalen Unternehmen bei der Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle als auch neue Akteure bei der Nutzung von Hochleistungstechnologien (wie Massive-MIMO (Multiple Input, Multiple Output) und Beamforming) zu fördern, um Dienste für hochentwickelte Geschäftsszenarien anzubieten. Darüber hinaus ist ein „use-it-or-lease-it“-Mechanismus vorgesehen, nach dem andere Betreiber, die keine Lizenznehmer in den Frequenzbändern 3,6 – 3,8 GHz sind, die Frequenzen im 3,6- bis 3,8-GHz-Band in allen Gemeinden leasen können, die nicht von den Lizenznehmern in ihre Versorgungsverpflichtung einbezogen sind, wobei diese dann auch dieselben Verpflichtungen hinsichtlich des Grads der Versorgung haben.

4.2.6 Kroatien

Die öffentliche Konsultation zur zukünftigen Vergabe der Bänder 700 MHz, 1500 MHz, 3,6 GHz und 26 GHz in Kroatien ist bis zum 6. Dezember 2019 laufend. Ziel der öffentlichen Konsultation ist es unter anderem, das Marktinteresse für lokale 5G-Netze in Bezug auf Bandbreite, Frequenzbreite und Lizenzart zu ergründen. Nach Prüfung der Ergebnisse der öffentlichen Konsultation auf der Grundlage des geäußerten Interesses an lokal dezidierten 5G-Netzen werden spezifische Regulierungsinstrumente definiert.

Link zur öffentlichen Konsultation (nur auf Kroatisch):

<https://e-rasprave.hakom.hr/erasprava/public/discussions/545>.

4.2.7 Litauen

Derzeit zeichnet sich in Litauen kein Bedarf mit Blick auf die Errichtung lokaler dezidiert 5G-Netze ab. Die Communications Regulatory Authority of the Republic of Lithuania erwägt von daher auch keine frequenzpolitischen Maßnahmen zur Errichtung von lokalen dezidierten 5G-Netzen.

4.2.8 Luxemburg

Jüngst fand in Luxemburg eine Konsultation zur Vergabe von 700-MHz- und 3,6-GHz-Frequenzen statt.⁶⁰ In diesem Rahmen erfolgten lediglich Stellungnahmen von Unternehmen, die an einem nationalen Frequenznutzungsrecht interessiert sind. Zur Konsultation stand in der Lage 3,6 GHz der Bereich 3.420 MHz bis 3.700 MHz. Die Zuteilung der Frequenznutzungsrechte in den 700-MHz- und 3,4- bis 3,7-GHz-Bändern ist für die zweite Jahreshälfte 2019 geplant. 700-MHz-Lizenzen werden Versorgungspflichten beinhalten (50 % nationale Abdeckung bis 2022 und 90 % bis 2024). Die 26-GHz-Frequenzen werden voraussichtlich in der zweiten Jahreshälfte 2020 verfügbar sein.⁶¹

Das Institute Luxembourgeois de Régulation (ILR) erwägt verbleibende Frequenzbänder im Bereich 3,6 GHz für lokale 5G-Nutzungen zu reservieren. Die Details diesbezüglich sind jedoch noch in der Diskussion und vertraulich.

4.2.9 Niederlande

Die niederländische Administration hat bereits in einem früheren Stadium beschlossen, die lokale Nutzung im 3,4- bis 3,8-GHz-Band zu erleichtern. Lizenzen wurden für verschiedene Arten der lokalen Nutzung vergeben, wie z. B. WBB (Wireless Broadband) im ländlichen Raum, Kameraüberwachung und industrielle Nutzung im Hafen von Rotterdam.

Im ersten Quartal 2019 führte das Ministerium für Wirtschaft und Klima eine erste öffentliche Konsultation zum 3,5-GHz-Band (3,4 – 3,8 GHz) durch. Einige Kommentierenden gaben an, dass 100 MHz im 3,5-GHz-Band für private lokale Netze für den jetzt vorgesehenen Frequenzbedarf ausreichen würden. Längerfristig ist zu erwarten, dass die Nachfrage nach Kapazität für private Ortsnetze steigen wird und zusätzliche Frequenzen benötigt werden, zum Beispiel im 26-GHz-Band.

Basierend auf den Antworten auf die Konsultation wurde ein Frequenzbandplan definiert, in dem das 3.400- bis 3.450-MHz-Spektrum und das 3.750- bis 3.800-MHz-Spektrum ab 2026 für die lokale Nutzung zugewiesen werden können. Das sind 2x50 MHz. So kann die bisherige lokale Nutzung dort fortgesetzt werden. Es wird noch untersucht, ob eine bestimmte Art der bestehenden Nutzung im Band auf andere Frequenzbänder übertragen werden kann. 300 MHz in der Mitte werden den nationalen Mobilfunkbetreibern zur Verfügung stehen.

⁶⁰ Siehe hierzu <https://web.ilr.lu/fr/ILR/Pages/search.aspx?k=700%20MHZ>.

⁶¹ Vgl. <https://5gobservatory.eu/5g-spectrum/national-5g-spectrum-assignment>

Es gibt zwei Studien, die sich ebenfalls mit diesem Thema befassen:

- <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2018/01/30/de-behoefte-aan-spectrum-voor-specifieke-professionele-breedbandige-toepassingen>
- <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2018/12/24/kamerbrief-over-de-toekomst-van-35-ghz-band>.

Im zweiten Bericht wird erwähnt, dass eine realistische Schätzung vorliegt, dass 40 MHz lokale Bandbreite pro Partei benötigt werden, um die Nachfrage zu decken. Dieser Bedarf wird weiter steigen, wenn eine größere Nachfrage nach Datenverkehr entsteht. Auf der Grundlage einer Bedarfserhebung kommt das Beratungsunternehmen Kwink in diesem Bericht zu dem Schluss, dass es keine Standorte gibt, an denen mehr als 3 Parteien jeweils 40 MHz Spektrum für lokale Netze benötigen. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass (in Zukunft) mehr Parteien einen solchen Bedarf haben werden. Das bedeutet, dass es Raum geben sollte, um mindestens 2 Lizenznehmer an einem Standort zu bedienen.

Detaillierte Richtlinien für die lokale Nutzung im 3,5-GHz-Band werden zu einem späteren Zeitpunkt entwickelt. Die Vergabe der Frequenznutzungsrechte im Wege einer Auktion ist für Ende 2021 bzw. Anfang 2022 geplant.

Darüber wird in den Niederlande erwogen, im 700-MHz-Band Lizenzen für den Offshore-Raum in der Nordsee, getrennt von der mobilen Landnutzung zu vergeben, um die Konnektivität für Unternehmen in diesem Gebiet zu erleichtern.

Im Rahmen der Umsetzung des EECC (European Electronic Communications Code)⁶² beabsichtigt die niederländische Frequenzadministration (es wurden noch keine konkreten Entscheidungen getroffen), das Instrument des Spektrum-Leasings einzusetzen. Dies würde bedeuten, dass es für die Nachfrager lokal dedizierter 5G-Dienste drei Möglichkeiten geben wird, diese zu generieren: ein entsprechender 5G-Dienst eines nationalen Mobilfunkbetreibers, ein entsprechender 5G-Dienst eines Nischenanbieters (der das Spektrum von einem Mobilfunknetzbetreiber anmietet), ein eigener 5G-Dienst auf der Grundlage eigener Frequenznutzungsrechte (möglicherweise mit Hilfe eines Nischenspielers).

Im Hinblick auf die Nachfrage nach dem 26-GHz-Band ist beabsichtigt, noch vor Ende dieses Jahres eine Bedarfsanalyse durchzuführen: Was ist die aktuelle Marktnachfrage nach diesen Frequenzen und was sind die Erwartungen für die kommenden Jahre? Auch hier sind Business Cases für den lokalen Einsatz (Business-User) zu erwarten.

⁶² Siehe <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-electronic-communications-code-updating-eu-telecom-rules>.

4.2.10 Polen

Das Office of Electronic Communications (UKE) erarbeitet gegenwärtig das Vergabeverfahren für das C-Band. Gegenwärtig ist geplant, die Frequenzen im Bereich 3.480 – 3.800 MHz für nationale Nutzungen in 4 Lots à 80 MHz zuzuteilen. Die verbleibenden Frequenzen in der Lage 3.400 – 3.480 MHz sollen für regionale bzw. lokale Anwendungen zugeteilt werden.

4.2.11 Portugal

Die Frage, ob ein Bedarf an Frequenzen für die Errichtung von lokalen 5G-Frequenzen besteht, wird derzeit in Portugal noch eruiert. Eine öffentliche Konsultation zum Entscheidungsentwurf über die Gewährung von exklusiven Frequenznutzungsrechten und das entsprechende Vergabeverfahren im Frequenzbereich 700 MHz, 900 MHz, 1.800 MHz, 2,1 GHz, 2,6 GHz und 3,4 – 3,8 GHz wurde kürzlich von ANACOM (Autoridade Nacional de Comunicações) lanciert und ist bis zum 20. November 2019 vorgesehen (Link: <https://www.anacom.pt/render.jsp?contentId=1493031&languageId=1>). In dieser Konsultation wird vorgeschlagen, sowohl nationale als auch regionale Frequenzblöcke im 3,4- bis 3,8-GHz-Band zur Verfügung zu stellen. Zwei Blöcke von 20 MHz zwischen 3,76 und 3,8 GHz sollen demnach regional sein, mit dem Ziel, auch die eventuell vorhandene Nachfrage nach der Nutzung des Spektrums nur in bestimmten regionalen Gebieten zu ermöglichen und damit eine Möglichkeit für diejenigen zu bieten, die sich für die Errichtung lokal dezidierter 5G-Netze interessieren könnten.

Darüber hinaus hat der Betreiber, der derzeit über Frequenznutzungsrechte im 3,4- bis 3,8-GHz-Band verfügt, seine Absicht signalisiert, ein neutraler Host zu sein und damit in seinem Netzwerk private, lokale, dedizierte LTE-/5G-Netze für Firmenkunden zu ermöglichen. Wie von diesem Betreiber erwähnt, wird sein kommerzielles Angebot, das von der Errichtung des Netzes bis zum Betrieb reicht, die Hindernisse für den Aufbau privater lokaler Netze abbauen.

Ferner weist ANACOM (Autoridade Nacional de Comunicações) darauf hin, dass unter dem Punkt „Verpflichtungen“ die Befragten Informationen über ihr Interesse an exklusiven lokalen Frequenzrechten in diesen Bändern oder an einem bestimmten Sharing-Mechanismus zur Verfügung stellen können, die dann potentiell durch die Vergabebedingungen umgesetzt werden könnten.

In welcher Weise das 26-GHz-Frequenzband zur Verfügung gestellt wird, ist noch nicht festgelegt worden (Link: <https://www.anacom.pt/render.jsp?contentId=1431846&languageId=1>). Das Ökosystem des Frequenzmanagements in Bezug auf dieses Band wird auch von dem nunmehr vorliegenden Ergebnis der WRC-19 abhängig sein.

Unlizenzierte Funkfrequenzen sind heute bereits in mehreren Frequenzbändern verfügbar, die Anwendungen wie Smart Meter und M2M/IoT ermöglichen. Dieses nicht lizen-

zierte Spektrum hat sich als sehr bedeutsam erwiesen, da die Akteure rechtzeitig (je nach Bedarf) auf die Frequenzen zugreifen und innovative Anwendungen als Reaktion auf die Marktnachfrage bereitstellen können. Was das lizenzfreie Spektrum für 5G betrifft, so wird erwartet, dass das Frequenzband 66 – 71 GHz auf lizenzfreier Basis genehmigt wird, um 5G und Multiple Gigabit Wireless Systems (MGWS)⁶³/WAS zu ermöglichen:

ANACOM weist aufgrund der Diskussionserfahrung innerhalb von RSPG (Radio Spectrum Policy Group) und GEREK (Gremium Europäischer Regulierungsstellen für elektronische Kommunikation) darauf hin, dass sich die Identifizierung potenzieller Verticals als keine leichte Aufgabe erwiesen hat und es immer noch nicht viele Informationen in den europäischen Ländern diesbezüglich gäbe.

4.2.12 Schweden

Die Spectrum Management Agency in Schweden ist derzeit dabei, Frequenzen im Bereich 3,5 GHz für 5G zur Zuteilung zur Verfügung zu stellen. In Schweden besteht eine Nachfrage nach lokalen und regionalen Frequenznutzungsrechten für 5G. Primär wird der Bedarf von der automatisierten Produktionsindustrie für die Errichtung von lokalen 5G-Campus-Netzen geäußert aber auch von anderen Unternehmen für die Errichtung von Fixed-Wireless-Access-Netzen zum Angebot eines öffentlichen mobilen Breitbandzugangs. Für derartige Anwendungen sollen räumlich begrenzt insgesamt 80 MHz im Bereich 3,7 – 3,8 GHz zur Verfügung gestellt werden. Über die Frequenznutzungsgebühr wurde noch nicht entschieden. Außerdem soll Spectrum-Sharing der national zugewiesenen Lizenzen im Bereich 3,4 – 3,7 GHz möglich sein. Details zu dem Vergabeverfahren und der vorangegangenen Konsultation finden sich unter dem folgenden Link <https://www.pts.se/3500MHz>.

4.2.13 Slowakei

Bisher gab es an die Regulatory Authority for Electronic Communications and Postal Services (RÚ) in der Slowakei noch keine spezifischen Anfragen zur Bereitstellung von Frequenzen zum Aufbau privater lokaler 5G-Netze. Die Behörde in der Slowakei hat bisher keine Frequenzen für lokal dezidierte 5G-Netze reserviert. Außerdem liegen der Behörde derzeit keine Forderungen nach einem spezifischen Frequenz-Sharing-Regime für lokal dezidierte 5G-Netze vor.

3,6-GHz-Frequenzen wurden national für die Mobilfunknetzbetreiber und für lokale Betreiber in Distrikten zugeteilt.

⁶³ Siehe hierzu https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2003-2-201801-!#!PDF-E.pdf.

4.2.14 Slowenien

Ein Bedarf nach lokalen Frequenznutzungsrechten für 5G Anwendungen wird von Seiten der Energieversorger und Rundfunkanstalten (für Video-PMSE (Programme Making and Special Events)) geäußert.

Im Mai 2019 hat die Agency for Communication Networks and Services of the Republic of Slovenia (AKOS) eine Konsultation zu seiner Frequenzmanagementstrategie für die nächsten Jahre veröffentlicht. Es will bis Juni 2020 eine Entscheidung über die Vergabe der Bänder 700 MHz, 1.400 MHz, 2,1 GHz, 2,3 GHz, 3,4 – 3,8 GHz und 26 GHz treffen. Das Dokument diskutiert auch das potenzielle Bereitstellen von Frequenzen für lokale drahtlose Breitbandnetze in einem Teil des 3,4- bis 3,8-GHz-Bandes sowie kritische M2M-Dienste in einem 2x3-MHz-Spektrum-Block innerhalb des 700-MHz-Bandes.⁶⁴

4.2.15 Tschechische Republik

Im Oktober 2019 hat das Czech Telecommunication Office (ČTÚ) die Konsultation zur Vergabe von Frequenznutzungsrechten im 700-MHz-Band und im 3.400- bis 3.600-MHz-Band abgeschlossen. Im Rahmen der Konsultation reichten sechzehn Stellungnehmende 230 Kommentar ein. Keiner der Kommentierenden äußerte Interesse am Aufbau von lokal dezidierten 5G-Netzen. Es wurden auch keine Maßnahmen zur Unterstützung derartiger lokalen 5G-Netze gefordert.

Die Frequenznutzungsrechte für die 700-MHz- und 3.400- bis 3.600-MHz-Frequenzen sollen national zugeteilt werden.⁶⁵ Das geltende tschechische Recht sieht bereits die Möglichkeit vor, die Rechte aus einer Genehmigung zur Nutzung von Funkfrequenzen zu leasen. Damit ist es unter anderem möglich, auch Frequenzen für den Bau eines lokal dezidierten 5G-Netzes auf kommerzieller Basis zu erwerben.

ČTÚ geht davon aus, dass Network-Slicing zur Bereitstellung von Diensten verwendet wird, die funktional dem eines dezidierten lokalen 5G-Netzes entsprechen. Regulatorische verpflichtende Maßnahmen zur Auferlegung von Leasing sind jedoch derzeit nicht geplant.

Das Czech Telecommunication Office (CTO) ist in einem frühen Stadium der Arbeiten zur Öffnung der Frequenzbänder 26 GHz und 60 GHz für 5G, bisher wurden noch keine Konsultationsdokumente veröffentlicht. CTO plant, für diese Bänder einen Mix aus Genehmigungsverfahren zu verwenden, um geeignete Bedingungen zu schaffen, die die Koexistenz von verschiedenen Nutzern und Diensten gewährleisten können. Sowohl die Light-Lizenzierung mit einem webbasierten Koordinationstool als auch die klassi-

⁶⁴ Vgl. <https://5gobservatory.eu/5g-spectrum/national-5g-spectrum-assignment/>

⁶⁵ Siehe entsprechende Passagen im Konsultationsdokument (insb. 7.1.1 und 7.1.3), <https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vyzva-k-uplatneni-pripominek-k-navrhu-textu-vyhlaseni-vyberoveho-rizeni-za-ucelem-udeleni-prav-k-obrazky/20190626-vyhlasenicz.pdf>.

sche Lizenzierung mit individueller Koordination durch die Behörde werden geprüft. Ein derartiges Regulierungssystem würde unter anderem den Bau lokal dezidierten 5G-Netze unterstützen.

4.2.16 Vereinigtes Königreich

Im Vereinigten Königreich wurden mehrere Tests mit privaten lokalen 5G-Netzen durchgeführt. Mehr Informationen über das Programm der britischen Regierung für 5G-Prüfstände und -Versuche sowie die beteiligten Organisationen findet man unter der folgenden Webseite: <https://www.gov.uk/government/collections/5g-testbeds-and-trials-programme>. Im März 2018 wurden 6 Gewinnerprojekte (5G Rural First, 5G Smart Tourism, Worcestershire 5G Consortium, Liverpool 5G Testbed, AutoAir, 5G Rural Integrated Testbed (5GRIT)) ausgewählt, die jeweils eine staatliche Förderung in Höhe von 2 Mio. GBP bis 6 Mio. GBP erhalten haben.

Eine Liste der regierungsübergreifenden Aktivitäten ist über den folgenden Link abrufbar:

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/838931/5G_Programme_Cross_Government_Activity_Mapping_1_.pdf. Das Department for Culture, Media and Sport vergibt in Zusammenarbeit mit Digital Catapult derzeit Fördermittel für 4-6 Projekte aus der verarbeitenden Industrie und der Logistikbranche, für die wahrscheinlich private dezidierte lokale 5G-Netze erforderlich sind.

Ofcom (Office of Communications) führt derzeit ein Programm zur Zusammenarbeit mit der Industrie durch, das auf dem Dokument „Supporting the expanding role of wireless innovation“ aufbaut. Dieses Dokument wurde Anfang des Jahres 2019 veröffentlicht. Ziel dieses Programms ist es, ein Ökosystem zu entwickeln, das es den Akteuren der Branche ermöglicht, von drahtlosen Lösungen zu profitieren, die ihnen auf ihrem Weg der digitalen Transformation helfen. Ofcom sieht das Interesse der verschiedenen Branchen, Konnektivität einzusetzen, um ihre Ziele der digitalen Transformation zu erreichen. Einige Unternehmen sind daran interessiert, ihre eigenen Netzwerke einzusetzen, während andere es vorziehen, Konnektivität von Dritten wie einem nationalen Mobilfunknetzbetreiber zu kaufen oder eine Standardlösung abhängig von ihren Anforderungen zu kaufen.

Ofcom hat mehrere Interessensbekundungen für seine Lizenzprodukte für gemeinsamen und lokalen Zugang zu Frequenzen (siehe unten) zum Einsatz privater Netzwerke erhalten.

In Großbritannien gibt es divergierende Nachfragen nach lokalen Frequenzen von unterschiedlichen Nutzern, die zudem zeitlich variiert. Des Weiteren gibt es einige, die exklusive Frequenznutzungsrechte haben wollen und andere die allgemein zugewiesene Frequenzen nutzen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, hat Ofcom Frequenzbänder identifiziert, für die lokale Lizenzen beantragt werden können:

Vier Frequenzbandlagen 1.781,7 – 1.785 MHz gepaart mit 1.876,7 – 1.880 MHz „das gemeinsam genutzte 1.800-MHz-Spektrum“, 2.390 – 2.400 MHz, 3,8 – 4,2 GHz und 24,25 – 26,5 GHz wurden für Zuteilungen für die lokale Nutzung von Ofcom identifiziert.⁶⁶

Lokale Zuteilungen von Frequenznutzungsrechten werden von Ofcom technisch koordiniert, um Interferenzen zu vermeiden. Es stehen zwei verschiedene Lizenzierungsoptionen für die Antragsteller zur Verfügung:

- Low Power, die den Einsatz einer beliebigen Anzahl von Low-Power (24 dBm (Dezibel Milliwatt)) -Basisstationen innerhalb eines 50m-Bereichs erlauben oder
- Medium Power (bis zu 42 dBm), die nur die Errichtung einer Basisstation an einem einzigen Standort zulässt.

In allen Bändern mit Ausnahme von 26 GHz werden den Lizenznehmern 80 GBP pro 10 MHz in Rechnung gestellt, wobei die Gebühr wie bei 26 GHz 320 GBP pro Lizenz unabhängig von der Bandbreite beträgt (nur für Indoor-Anwendungen).

Ofcom prüft auch Optionen zur Automatisierung der Frequenzzuweisungen in den 4 Bändern, die wir für die lokale gemeinsame Nutzung identifiziert haben.

Daneben wird auch der Zugang zu national zugeteilten Frequenzen an die Mobilfunknetzbetreiber von Ofcom geprüft, sofern diese ihre Frequenzen, in dem entsprechenden Gebiet nicht nutzen.

Ofcom setzt sein Workshop-Programm in Zusammenarbeit mit verschiedenen privaten und öffentlichen Organisationen in Großbritannien und international fort, um Anforderungen an die Konnektivität aus verschiedenen Sektoren zu verstehen. Ofcom ist bestrebt, dieses Engagement fortzusetzen und als Vermittler zwischen den verschiedenen Akteuren der Branche zu fungieren, damit Organisationen und Unternehmen die Vorteile der drahtlosen Konnektivität nutzen und ihre Ziele der digitalen Transformation erreichen können.

4.2.17 Zypern

In Zypern haben bisher potentielle Interessenten kein Interesse gegenüber dem Department of Electronic Communications / Ministry of Transport, Communications and Works geäußert, selbst lokal dezidierte 5G-Netze zu errichten. Gegenwärtig gibt es von Seiten des Ministeriums keine intendierte frequenzpolitische Maßnahme zur spezifischen lokalen Frequenzvergabe für derartige Geschäftsmodelle der 5G-Frequenznutzung.

⁶⁶ Details hierzu <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/enabling-opportunities-for-innovation>.

Die Frequenzmanagementbehörde in Zypern beabsichtigt, die Frequenzbänder im Bereich 3,4 – 3,8 GHz als nationale Frequenznutzungsrechte zu versteigern. Für die Vergabe von Frequenzen im Bereich 26 GHz besteht derzeit noch kein Konzept.

4.3 Zwischenfazit

Der Fokus der 5G-Frequenzzuteilungen in Europa liegt aktuell im 3,6-GHz-Band. (700-MHz-Frequenzen wurden allerdings auch schon in einigen europäischen Ländern ausschließlich national zugeteilt.) Im 3,6-GHz-Bereich finden auch die meisten 5G-Netztests statt. Deutschland und England haben hier beim Frequenzmanagement erstmals einen Paradigmenwechsel vorgenommen, indem sie Frequenzen lokal für Campus-Netze zuteilen, Deutschland im Bereich 3,7 – 3,8 GHz, Großbritannien in verschiedenen Frequenzbereichen unter anderen im 1,8-GHz-Bereich und im Frequenzband 3,8 – 4,2 GHz. Andere europäische Länder erwägen bzw. intendieren gleiches zu tun. Dies wird in der nachfolgenden Tabelle 8 gelistet. Damit wird der volkswirtschaftlichen Bedeutung von 5G-Campus-Netzen frequenzpolitisch Rechnung getragen. Unternehmen und Institutionen, die ein 5G-Campus-Netz nachfragen, haben nun die Option ein derartiges lokales Netz durch die nationalen Mobilfunknetzbetreiber errichten zu lassen oder ein lokales Netz in Kooperation mit einem Netzwerkhersteller oder Aggregatoren auszubauen und zu betreiben.

Tabelle 8: Lokale Frequenzvergaben im Bereich 3,6 GHz in Europa

Land	3,6 GHz: Lokale Frequenzvergabe
Belgien	wird erwogen
Dänemark	wird diskutiert
Italien	Zugangsverpflichtung, „use it or loose it“
Luxemburg	ILR erwägt das
Niederlande	80 MHz für lokal reserviert
Polen	80 MHz lokal/regional
Portugal	2 Blöcke à 20 MHz lokal
Schweden	80 MHz lokal
Slowenien	ein Teil lokal
UK	3,8 – 4,2 GHz lokal

Quelle: WIK

In China und Südkorea ist nach unserer Kenntnis keine solche lokale Frequenzvergabe geplant. Damit können in diesen Ländern 5G-Campus-Netze beispielsweise über Network-Slicing von nationalen Mobilfunknetzbetreibern errichtet werden.

Anders als in den übrigen Ländern der Betrachtung lag der Fokus der Frequenzzuteilung in den Vereinigten Staaten von Amerika bisher in hohen Frequenzlagen. Südkorea ist das Land, in dem sowohl in mittleren Frequenzlagen als auch in hohen Frequenzlagen alle drei Mobilfunknetzbetreiber umfangreiche Frequenznutzungsrechte erhielten. Allerdings bestand dort kein Interesse an 700-MHz-Frequenzen in der Auktion.

5 Fazit mit Blick auf 5G-Campus-Netze und Frequenzmanagement

5G-Campus-Netze insbesondere im Bereich Industrie 4.0 mit Blick auf Fertigungsautomatisierung, Prozessautomatisierung, Mensch-Maschine-Schnittstelle über Augmented Reality, Logistik und Lagerhaltung über fahrerlose Transportsysteme und Überwachung und Instandhaltung, versprechen mittelfristig ein hohes betriebswirtschaftliches Potential für die Nutzung der 5G-Technologie. Die Flexibilität von 5G in Verbindung mit den hohen Datenübertragungsraten, einer gesicherten Qualität (z. B. Priorisierung von Daten) und der geringen Latenz ermöglicht es, grundsätzlich Prozesse passgenau zu gestalten und bedarfsgerecht zeitlich flexibel den jeweiligen Use-Cases entsprechend anzupassen. Effizienzsteigerungen und Kosteneinsparungen sind somit insbesondere in der automatisch gesteuerten Produktion und in der Logistik denkbar. Die Errichtung von 5G-Campus-Netzen ist erst in der Planungs- und Testphase, was angesichts der noch nicht abgeschlossenen Standardisierung von 5G nicht überraschend ist. Vielfach werden heute noch aufgrund der Nichtverfügbarkeit von (standardisiertem) 5G-Netz-Equipment andere Technologien wie 4G genutzt, um drahtlose Kommunikations-, Steuerungs- und Überwachungsprozesse auszuprobieren. Bevor 5G in der automatisierten Industrieproduktion umfänglich eingesetzt wird, wird in Abhängigkeit der Verabschiedung von Releases innerhalb von 3GPP sowie der Verfügbarkeit von entsprechenden Endgeräten wohl noch einige Zeit vergehen. Die empirische Bewertung von 5G-Campus-Netzen ist insofern aktuell noch nicht möglich. Gleichwohl ist es erforderlich, schon jetzt im Rahmen des Frequenzmanagements unterschiedliche Möglichkeiten zur Errichtung von 5G-Campus-Netzen zu eröffnen, um Innovationspotentiale und Wachstumspotential zu ermöglichen.

Die Vergabe lokaler Frequenznutzungsrechte im Bereich des öffentlichen Mobilfunks kann als ein Paradigmenwechsel angesehen werden, der erlaubt, dass sich gerade bei räumlich festen Anwendungen ein neues Ökosystem entwickelt, dass sich deutlich vom Massenmarkt und seinen Anwendungen abhebt. Neue Marktteilnehmer können sich etablieren. Wettbewerb und Kreativität werden damit lokal bei der Errichtung von 5G-Campus-Netzen gefördert. Dies kann als Indiz dafür angesehen werden, dass zukünftig das Frequenzmanagement aus normativer Sicht noch differenzierter auszugestalten ist, sowohl um neue Geschäftsmodelle zu ermöglichen als auch um eine differenzierte Nachfrage befriedigen zu können sowie räumlichen Unterschieden der möglichen Frequenznutzung Rechnung zu tragen. Die Mobilfunknetzbetreiber haben insoweit bei der Nutzung sämtlicher für den drahtlosen Internetzugang relevanten Frequenzen keine Gate-Keeper-Funktion. Ob sich damit eine effizientere Frequenznutzung ergibt, werden mittel- bis langfristig die Erfahrungen zeigen.

Die Vergabe von nationalen 5G-Frequenznutzungsrechten an die etablierten Mobilfunknetzbetreiber ist ein Weg, auf dem Mobilfunknetzbetreiber die Möglichkeit erhalten, 5G-Campus-Netze im Auftrag für Dritte unter Nutzung der Frequenzen über Network-Slices zu errichten. Diese Politik wird in allen Ländern verfolgt und ist beispielsweise in China bisher der einzige beschrittene Weg. Grundsätzlich haben die Mobilfunknetzbetreiber

treiber in Europa auch die Möglichkeit, als Frequenzleasinggeber Dritten die Frequenznutzungsrechte kommerziell zu überlassen, damit diese in welcher Kooperationsform auch immer mit anderen 5G-Campus-Netze errichten können. In Europa erfolgt nach und nach die Zuteilung der 3,6-GHz- und 700-MHz-Frequenzen. Deutschland hat hier bereits alle aktuell verfügbaren Frequenzen in diesen Frequenzlagen zur Zuteilung zur Verfügung gestellt. In China war der Fokus der Frequenzzuteilung in anderen Frequenzlagen, insbesondere 2,5 GHz, 3,5 GHz und 4,8 GHz. Die Vereinigten Staaten konzentrierten sich bisher auf höhere Frequenzlagen. In Südkorea wurden in allen Frequenzlagen 5G-Frequenznutzungsrechte national an die 3 Mobilfunknetzbetreiber zugeteilt bzw. offeriert. Somit besteht in all diesen Ländern die Möglichkeit, 5G-Campus-Netze zumindest durch die Mobilfunknetzbetreiber errichten und betreiben zu lassen.

Daneben ist das nationale Frequenzmanagement in Europa zunehmend darauf ausgerichtet, dass Unternehmen und Institutionen lokal die Möglichkeit erhalten, mit eigenen Frequenznutzungsrechten derartige 5G-Campus errichten zu können. Als Vorreiter einer derartigen Frequenzpolitik in Europa stellen Deutschland und das Vereinigte Königreich hierzu exklusiv Frequenznutzungsrechte lokal zur Verfügung. Die Bundesnetzagentur 100 MHz im Bereich 3,6 GHz, Ofcom in verschiedenen Frequenzlagen (1.781,7 – 1.785 MHz gepaart mit 1.876,7 – 1.880 MHz „das gemeinsam genutzte 1800-MHz-Spektrum“, 2.390 – 2.400 MHz, 3,8 – 4,2 GHz und 24,25 – 26,5 GHz (indoor). Ofcom will damit unterschiedlichen Bedarfen der jeweiligen Netzersteller Rechnung tragen. Andere Länder wie Belgien, Dänemark, Luxemburg, die Niederlande (80 MHz lokal reserviert), Polen (80 MHz lokal), Portugal (2 Blöcke à 20 MHz), Schweden (80 MHz lokal) und Slowenien erwägen bzw. intendieren auch die Vergabe lokaler Frequenznutzungsrechte im Bereich 3,6 GHz. Damit sind die 5G-Campus-Netz-Nutzer nicht mehr auf die jeweiligen nationalen Mobilfunknetzbetreiber angewiesen. Dem Campus-Netz-Gewerbeunternehmen werden die Frequenzen auf Antrag zugeteilt. Wer das jeweilige Netz dann aufbaut und betreibt ist regulatorisch nicht vorgeschrieben. In Zusammenarbeit mit Netzwerkherstellern wie Ericsson oder Huawei können diese eigene Netzinfrastrukturen errichten und betreiben. Mobilfunknetzbetreiber haben jedoch gleichwohl die Möglichkeit, derartige Netze im Auftrag auch durch Nutzung der nationalen Frequenzen durch Network-Slices zu errichten und zu betreiben. Im Wettbewerb können somit individuell passgenaue dezidierte lokale 5G-Netze geschaffen werden. Es bleibt abzuwarten, welche Formen der Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren sich hier mittel- und langfristig etablieren werden und wie intensiv von dieser lokalen Nutzung der Frequenzen Gebrauch gemacht wird.

Während sich die bisherigen Tests und Zuteilungen in Europa primär auf das Pionierband 3,6 GHz fokussierten, werden in Zukunft andere Frequenzbänder insbesondere zunächst das 26-GHz-Frequenzband, welches nach europäischen Vorgaben bis Ende 2020 partiell zugeteilt sein soll, von Bedeutung sein. Auch hier gebietet es sich aus frequenzökonomischer Sicht, die Errichtung von 5G-Campus-Netzen im Blick zu haben. Zudem ist in diesen höheren Frequenzlagen eine lokale Nutzung zumindest indoor aufgrund der physikalischen Eigenschaften weitgehend

unproblematisch in Verbindung mit einer ansonsten anderweitigen Nutzung der Frequenzen möglich. Eine gemeinsame Frequenznutzung in diesen Lagen ist somit a priori sicherlich ein erwägenswerter Frequenzmanagement-Ansatz. Hinsichtlich des 26-GHz-Frequenzbandes beschreitet Frankreich mit der Vergabe von Testfrequenzen für Logistik (intelligente Häfen, multimodales Verkehrsmanagement, Rückverfolgbarkeit), intelligente Stadt (intelligente Gebäude), Mobilität (Dienstleistungen im Bahnhof für Züge oder Fahrgäste) oder Sportveranstaltungen eine Vorreiterrolle. Auch die auf der WRC-2019 zusätzlich identifizierten Frequenzbänder 24,25 – 27,5 GHz, 37 – 43,5 GHz, 45,5 – 47 GHz, 47,2 – 48,2 GHz und 66 – 71 GHz dürften zum Teil für die Errichtung von 5G-Campus-Netzen in Frage kommen. Ein angemessenes Frequenzmanagement-System ist für eine effiziente 5G-Nutzung dieser Frequenzlagen von entscheidender volkswirtschaftlicher Bedeutung. Auch in Deutschland sollte eine (zumindest partial) lokale Zuteilung der 26-GHz-Frequenzen wie in Frankreich erwogen werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Campus-Netze einen spezifischen Bedarf an Telekommunikationsdiensten widerspiegeln, die in der Regel in den nationalen, öffentlichen Mobilfunknetzen nicht angeboten werden. Durch die Vergabe von lokalen Frequenznutzungsrechten an die „Endanwender“ wird die Etablierung eines für den Erfolg von 5G notwendigen Ökosystems im jeweiligen Anwenderkontext in besonderer Weise gefördert. Die Anwender haben unmittelbar die Möglichkeit, ihre Innovationen mit der 5G-Konnektivität auch umzusetzen. Ob sie dieses völlig losgelöst von den öffentlichen Mobilfunknetzbetreibern machen werden, bleibt abzuwarten. Jedenfalls zeigt die Vergabe von lokalen Frequenznutzungsrechten, dass die spezifische Nachfrage Frequenzmanagementbehörden dazu bewegt, neue Wege in der Frequenzregulierung zu gehen, um eine effiziente Frequenznutzung zu fördern.

Literaturverzeichnis

- Analysys Mason (2019). Global race to 5G – update, Final report for CTIA, REF: 2015448 – 103, April 2019.
- APT (2015): Report on information of mobile operators' frequencies, technologies and license durations in Asia specific countries, APT/AWG/REP-15(Rev.5) verfügbar unter https://www.apl.int/sites/default/files/Upload-files/AWG/APT-AWG-REP-15-R2-APT_Report_on_Frequencies.docx
- Arthur D. Little (2019): Private Campus Networks, Viewpoint, verfügbar unter: https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl_private_campus_networks-min_0.pdf.
- BMVi (2019): Mobilfunkstrategie – 5-Punkte-Plan zur Beschleunigung von Planung, Genehmigung und Ausbau von 4G- und 5G-Netzen sowie zur Schließung von Mobilfunklücken im 4G-Netz, Berlin, September 2019, verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Mobilfunkstrategie.pdf?__blob=publicationFile.
- Bundesnetzagentur (2018): Entscheidung der Präsidentenkammer vom 14. Mai 2018 über Anordnung und Wahl des Verfahrens zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 2 GHz und 3,6 GHz für den drahtlosen Netzzugang – Aktenzeichen: BK1-17/001 –
- Computerwoche (2019): Alles über den LTE-Nachfolger 5G, verfügbar unter <https://www.computerwoche.de/a/alles-ueber-den-lte-nachfolger-5g,3546183>.
- Deuk-Won, Kim (2016): Spectrum auction in Korea: design and implication, Asian Journal of Information and Communications 2016, Vol. 8, No. 2, S. 25-36.
- dotEcon und Axon (2017): Study on implications of 5G Deployment of Future Business Modells, Studie für Body of European Regulators for Electronic Communications (BEREC), No BEREC/2017/02/NP3.
- FCC (2018): FCC's First Communications Marketplace Report, December 2018 verfügbar unter https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-18-181_A_1.pdf.
- Franken, M. und M. Wissner (2019): Entwicklung der funkbasierten Digitalisierung in der Industrie, Energiewirtschaft und Landwirtschaft und spezifische Frequenzbedarfe, WIK-Diskussionsbeitrag, Dezember 2019.
- ITU (2017): Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020; Report ITU-R M.2410-0 (11/2017).
- Marcus, M.J. (2019): WRC-19 Issues: A Survey, verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7864779>.
- Nett, L. (2017): Incentive Auctions als ein neues Instrument des Frequenzmanagements, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 421, Bad Honnef, Juli 2017; verfügbar unter https://www.wik.org/index.php?id=diskussionsbeitraege&details&tx_ttnews%5BbackPid%5D=93&tx_ttnews%5Btt_news%5D=1995&cHash=75344041dd096a3f8e348e521be1c14c.

Nett, L., B. Sörries. (2019): Infrastruktur-Sharing und 5G: Anforderungen an Regulierung, neue wettbewerbliche Konstellationen, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 434, Juli 2019, verfügbar unter

https://www.wik.org/index.php?id=diskussionsbeitraege&details&tx_ttnews%5Bcat%5D=4&tx_ttnews%5Byear%5D=2019&tx_ttnews%5BbackPid%5D=93&tx_ttnews%5Btt_news%5D=2217&cHash=8ff7735aa34c99aca84979f70a377719.

Policy Tracker (2019): 5G verticals, Jun 14, 2019 by Richard Handford Asia Editor, verfügbar unter <http://www.policytracker.com/5g-verticals/>

RSPG (2019): Strategic spectrum roadmap towards 5G for Europe – RSPG Opinion on 5G implementation challenges (RSPG 3rd opinion on 5G, RSPG19-007 FINAL, verfügbar unter https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/RSPG19-007final-3rd_opinion_on_5G.pdf.

Anhang A

Spectrum to enable private local dedicated 5G-networks (PLD-5GN)

What is your spectrum management approach?

I: *Preamble*

Besides enhanced mobile broadband 5G supports other use cases like ultra-reliable and low latency communications, massive machine-type communications or fixed wireless access. These use cases especially enable applications like smart farming and automated industrial factoring, smart football areas etc. which require a dedicated but only local 5G network with an application specific design (i.e. with regard to latency, availability, reliability security, number of connections, capacity, coverage requirements etc.) of the network.

Private local dedicated 5G-networks (PLD-5GN) such as Campus Networks or City Area Networks as wireless networks rely on spectrum as an essential resource. Spectrum user rights are conceded by national Spectrum Management Agencies (SMAs). Spectrum can be assigned in various ways – exclusively licensed, (partially) shared or as a common user right (general authorization) – comprising a comprehensive set of user conditions to prevent interference and to encourage an efficient usage. Frequency user rights can be provided nationally, regionally or locally (geographically typically more restricted than a region). The characteristics of spectrum (like propagation characteristics) depend on the specific spectrum range. It is highly convenient to distinguish between 5G-low-band (Sub-1 GHz) like 700 MHz spectrum, 5G-mid-band (1 - 6 GHz) like the 3.4 – 3.8 GHz spectrum and 5G-high-band (above 6 GHz) like the 26 GHz and 28 GHz spectrum. The amount of spectrum assigned varies in the different ranges. Typically in more low-band spectrum the amount of spectrum assigned is lower than in higher spectrum ranges. In addition the time period of assignments varies. The frequency user obligations normally are quite comprehensive covering technical conditions, coverage obligations, institutional settings etc.

To enable PLD-5GN spectrum management agencies up to date use different approaches. As an indication: For example the Bundesnetzagentur in Germany uses the following measures:

- 700 MHz spectrum and 3.4 – 3.7 GHz are assigned nationally and exclusively to mobile network operators (as result of a spectrum auction):
 - PLD-5GN provided by the (national) MNO can be generated by 5G-Network-Slicing
 - Via a commercial spectrum leasing contract MNOs can enable third parties to establish their own PLD-5GN
- 100 MHz (3.7 – 3.8 GHz) are set aside for local, company or area specific us-

ages, spectrum is assigned on applications⁶⁷ , ⁶⁸

- In addition, assignment holders in the 3400 – 3700 MHz band must negotiate the local or regional leasing of spectrum with suitable parties. The negotiations should be non-discriminatory.⁶⁹

Other SMAs apply specific approaches to enable PLD-5GN as well. For example the FCC in the United States of America uses a three-tier sharing regime.⁷⁰

Three-tier sharing regime in the US

The Federal Communications Commission (FCC) has developed a new approach to frequency sharing for the allocation of frequency usage rights in the 3,550 – 3,700 MHz frequency band (150 MHz in total). It changes traditional frequency allocation paradigms. Frequency bands should be able to be used simultaneously by governmental and commercial users, and exclusive and general uses should be possible side by side in this band. There are three types of users in this frequency band:

- „Incumbent users“, who currently have frequency usage rights in this frequency band. These are used for the following applications: Military radar systems and Fixed Satellite Service (FSS).
- Priority Access Licence (PAL): Users who acquire exclusive frequency usage rights for mobile broadband access (Citizen Broadband Radio Service) for 10 MHz frequency blocks.
- Generally allocated frequency usage rights for mobile broadband access in the remaining frequency bands in which exclusive frequency usage rights have not been allocated.

II: Please answer the following questions

We are interested in the design of the spectrum management approach your spectrum management authority chooses to enable the establishment of PLD-5GN – especially so called campus networks – in the various spectrum ranges 5G-low-band, 5G-mid-band and 5G-high-band spectrum and kindly ask you to answer the following questions.

Part 1: Intention and demand for spectrum to establish private local dedicated 5G

⁶⁷ Siehe hierzu

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/RegionaleNetze/20190704_EntwurfVerwaltungsvorschrift3.7-3.8GHz_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

⁶⁸ The Netherlands also intend to provide portion of the 3.5 GHz spectrum for local, company-specific applications (see <https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2019/06/12/dutch-government-confirms-5g-auction-plans/>).

⁶⁹ Siehe Decision of the President's Chamber of the Bundesnetzagentur of 26 November 2018 on the determinations and rules in detail (award rules) and on the determinations and rules for conduct of the proceedings (auction rules) to award spectrum in the 2 GHz and 3.6 GHz bands, Subsection III.4.16, Pages 11, 89) (www.bundesnetzagentur.de/mobilebroadband).

⁷⁰ Siehe https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-15-47A1.pdf.

networks in your home country

Question 1: Please specify the claimed and substantiated intention of operators/institutions/communities/undertakings to establish private local dedicated 5G-networks in your home country. (Name/sector/area of operators/institutions/communities/undertakings and kind of local 5G-networks they want to establish)?

Questions 2: What kind of spectrum management measures do these operators/institutions/communities/undertakings ask for in this context? Do they ask for exclusive local spectrum rights and if, for which spectrum bands? Do they ask for specific spectrum sharing mechanisms? What kind of user conditions (e.g. amount of spectrum, technical usage conditions, assignment period, indoor and outdoor use ...) is essential for them? What else? *(Please specify the important relevant elements)*

Part 2: Spectrum management initiatives to support private local dedicated 5G-network operators

Question 3: Do you intend to reserve spectrum exclusively for assignments of local spectrum user rights to be used by PLD-5GN operators? (If yes: for which spectrum bands?) Please specify the main elements of the assignment mechanism. What amount of spectrum fees have to be paid for the local spectrum usage? *(Please provide a link to the relevant document.)*

Question 4: What kind of spectrum sharing regimes in which spectrum ranges do you implement to support PLD-5GN? *(Please specify and provide a link to the relevant documents.)*

Question 5: What other spectrum measures do you apply or intend to support PLD-5GN operators? *(Please specify the main issues)*

Als "Diskussionsbeiträge" des Wissenschaftlichen Instituts für Infrastruktur und Kommunikationsdienste sind zuletzt erschienen:

- Nr. 373: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:
Der Netzbetreiber an der Schnittstelle von Markt und Regulierung, 2013
- Nr. 374: Thomas Plückebaum:
VDSL Vectoring, Bonding und Phantomring: Technisches Konzept, marktliche und regulatorische Implikationen, Januar 2013
- Nr. 375: Gernot Müller, Martin Zauner:
Einzelwagenverkehr als Kernelement eisenbahnbezogener Güterverkehrskonzepte?, Dezember 2012
- Nr. 376: Christin-Isabel Gries, Imme Philbeck:
Marktentwicklungen im Bereich Content Delivery Networks, April 2013
- Nr. 377: Alessandro Monti, Ralf Schäfer, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Kundenbindungsansätze im deutschen TK-Markt im Lichte der Regulierung, Februar 2013
- Nr. 378: Tseveen Gantumur:
Empirische Erkenntnisse zur Breitbandförderung in Deutschland, Juni 2013
- Nr. 379: Marcus Stronzik:
Investitions- und Innovationsanreize: Ein Vergleich zwischen Revenue Cap und Yardstick Competition, September 2013
- Nr. 380: Dragan Ilic, Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Peter Stamm:
Migrationsoptionen für Breitbandkabelnetze und ihr Investitionsbedarf, August 2013
- Nr. 381: Matthias Wissner:
Regulierungsbedürftigkeit des Fernwärmesektors, Oktober 2013
- Nr. 382: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:
Netzzugang im Briefmarkt, Oktober 2013
- Nr. 383: Andrea Liebe, Christine Müller:
Energiegenossenschaften im Zeichen der Energiewende, Januar 2014
- Nr. 384: Christan M. Bender, Marcus Stronzik:
Verfahren zur Ermittlung des sektoralen Produktivitätsfortschritts - Internationale Erfahrungen und Implikationen für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, März 2014
- Nr. 385: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm:
Die Marktentwicklung für Cloud-Dienste - mögliche Anforderungen an die Netzinfrastuktur, April 2014
- Nr. 386: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Smart Metering Gas, März 2014
- Nr. 387: René Arnold, Sebastian Tenbrock:
Bestimmungsgründe der FTTP-Nachfrage, August 2014
- Nr. 388: Lorenz Nett, Stephan Jay:
Entwicklung dynamischer Marktszenarien und Wettbewerbskonstellationen zwischen Glasfasernetzen, Kupfernetzen und Kabelnetzen in Deutschland, September 2014
- Nr. 389: Stephan Schmitt:
Energieeffizienz und Netzregulierung, November 2014
- Nr. 390: Stephan Jay, Thomas Plückebaum:
Kostensenkungspotenziale für Glasfaseranschlussnetze durch Mitverlegung mit Stromnetzen, September 2014
- Nr. 391: Peter Stamm, Franz Büllingen:
Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitratiger Datenübertragung, Oktober 2014
- Nr. 392: Dieter Elixmann, J. Scott Marcus, Thomas Plückebaum:
IP-Netzzusammenschaltung bei NGN-basierten Sprachdiensten und die Migration zu All-IP: Ein internationaler Vergleich, November 2014

- Nr. 393: Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Implikationen der Internationalisierung von Telekommunikationsnetzen und Diensten für die Nummernverwaltung, Dezember 2014
- Nr. 394: Rolf Schwab:
Stand und Perspektiven von LTE in Deutschland, Dezember 2014
- Nr. 395: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Produktive Effizienz von Postdienstleistern, November 2014
- Nr. 396: Petra Junk, Sonja Thiele:
Methoden für Verbraucherbefragungen zur Ermittlung des Bedarfs nach Post-Universaldienst, Dezember 2014
- Nr. 397: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Analyse des Preissetzungsverhaltens der Netzbetreiber im Zähl- und Messwesen, März 2015
- Nr. 398: Annette Hillebrand, Martin Zauner:
Qualitätsindikatoren im Brief- und Paketmarkt, Mai 2015
- Nr. 399: Stephan Schmitt, Marcus Stronzik:
Die Rolle des generellen X-Faktors in verschiedenen Regulierungsregimen, Juli 2015
- Nr. 400: Franz Büllingen, Solveig Börnsen:
Marktorganisation und Marktrealität von Machine-to-Machine-Kommunikation mit Blick auf Industrie 4.0 und die Vergabe von IPv6-Nummern, August 2015
- Nr. 401: Lorenz Nett, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Ein Benchmark neuer Ansätze für eine innovative Ausgestaltung von Frequenzgebühren und Implikationen für Deutschland, November 2015
- Nr. 402: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk:
Zur Marktabgrenzung bei Kurier-, Paket- und Expressdiensten, November 2015
- Nr. 403: J. Scott Marcus, Christin Gries, Christian Wernick, Imme Philbeck:
Entwicklungen im internationalen Mobile Roaming unter besonderer Berücksichtigung struktureller Lösungen, Januar 2016
- Nr. 404: Karl-Heinz Neumann, Stephan Schmitt, Rolf Schwab unter Mitarbeit von Marcus Stronzik:
Die Bedeutung von TAL-Preisen für den Aufbau von NGA, März 2016
- Nr. 405: Caroline Held, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückebaum:
Entgelte für den Netzzugang zu staatlich geförderter Breitband-Infrastruktur, März 2016
- Nr. 406: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Kapazitätsmechanismen – Internationale Erfahrungen, April 2016
- Nr. 407: Annette Hillebrand, Petra Junk:
Paketshops im Wettbewerb, April 2016
- Nr. 408: Tseveen Gantumur, Iris Henseler-Unger, Karl-Heinz Neumann:
Wohlfahrtsökonomische Effekte einer Pure LRIC - Regulierung von Terminierungsentgelten, Mai 2016
- Nr. 409: René Arnold, Christian Hildebrandt, Martin Waldburger:
Der Markt für Over-The-Top Dienste in Deutschland, Juni 2016
- Nr. 410: Christian Hildebrandt, Lorenz Nett:
Die Marktanalyse im Kontext von mehrseitigen Online-Plattformen, Juni 2016
- Nr. 411: Tseveen Gantumur, Ulrich Stumpf:
NGA-Infrastrukturen, Märkte und Regulierungsregime in ausgewählten Ländern, Juni 2016
- Nr. 412: Alex Dieke, Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:
UPU-Endvergütungen und internationaler E-Commerce, September 2016 (in deutscher und englischer Sprache verfügbar)

- Nr. 413: Sebastian Tenbrock, René Arnold:
Die Bedeutung von Telekommunikation in intelligent vernetzten PKW, Oktober 2016
- Nr. 414: Christian Hildebrandt, René Arnold:
Big Data und OTT-Geschäftsmodelle sowie daraus resultierende Wettbewerbsprobleme und Herausforderungen bei Datenschutz und Verbraucherschutz, November 2016
- Nr. 415: J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Ansätze zur Messung der Performance im Best-Effort-Internet, November 2016
- Nr. 416: Lorenz Nett, Christian Hildebrandt:
Marktabgrenzung und Marktmacht bei OTT-0 und OTT-1-Diensten, Eine Projektskizze am Beispiel von Instant-Messenger-Diensten, Januar 2017
- Nr. 417: Peter Kroon:
Maßnahmen zur Verhinderung von Preis-Kosten-Scheren für NGA-basierte Dienste, Juni 2017
- Nr. 419: Stefano Lucidi:
Analyse marktstruktureller Kriterien und Diskussion regulatorischer Handlungsoptionen bei engen Oligopolen, April 2017
- Nr. 420: J. Scott Marcus, Christian Wernick, Tseveen Gantumur, Christin Gries:
Ökonomische Chancen und Risiken einer weitreichenden Harmonisierung und Zentralisierung der TK-Regulierung in Europa, Juni 2017
- Nr. 421: Lorenz Nett:
Incentive Auctions als ein neues Instrument des Frequenzmanagements, Juli 2017
- Nr. 422: Christin Gries, Christian Wernick:
Bedeutung der embedded SIM (eSIM) für Wettbewerb und Verbraucher im Mobilfunkmarkt, August 2017
- Nr. 423: Fabian Queder, Nicole Angenendt, Christian Wernick:
Bedeutung und Entwicklungsperspektiven von öffentlichen WLAN-Netzen in Deutschland, Dezember 2017
- Nr. 424: Stefano Lucidi, Bernd Sörries, Sonja Thiele:
Wirksamkeit sektorspezifischer Verbraucherschutzregelungen in Deutschland, Januar 2018
- Nr. 425: Bernd Sörries, Lorenz Nett:
Frequenzpolitische Herausforderungen durch das Internet der Dinge - künftiger Frequenzbedarf durch M2M-Kommunikation und frequenzpolitische Handlungsempfehlungen, März 2018
- Nr. 426: Saskja Schäfer, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückebaum unter Mitarbeit von Stephan Schmitt:
Zugang zu gebäudeinterner Infrastruktur und adäquate Bepreisung, April 2018
- Nr. 427: Christian Hildebrandt, René Arnold:
Marktbeobachtung in der digitalen Wirtschaft – Ein Modell zur Analyse von Online-Plattformen, Mai 2018
- Nr. 428: Christin Gries, Christian Wernick:
Treiber und Hemmnisse für kommerziell verhandelten Zugang zu alternativen FTTB/H-Netzinfrastrukturen, Juli 2018
- Nr. 429: Serpil Taş, René Arnold:
Breitbandinfrastrukturen und die künftige Nutzung von audiovisuellen Inhalten in Deutschland: Herausforderungen für Kapazitätsmanagement und Netzneutralität, August 2018
- Nr. 430: Sebastian Tenbrock, Sonia Strube Martins, Christian Wernick, Fabian Queder, Iris Henseler-Unger:
Co-Invest Modelle zum Aufbau von neuen FTTB/H-Netzinfrastrukturen, August 2018
- Nr. 431: Johanna Bott, Christian Hildebrandt, René Arnold:
Die Nutzung von Daten durch OTT-Dienste zur Abschöpfung von Aufmerksamkeit und Zahlungsbereitschaft: Implikationen für Daten- und Verbraucherschutz, Oktober 2018
- Nr. 432: Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Warenversand im Briefnetz, Oktober 2018

- Nr. 433: Christian M. Bender, Annette Hillebrand:
Auswirkungen der Digitalisierung auf die Zustelllogistik, Oktober 2018
- Nr. 434: Antonia Niederprüm:
Hybridpost in Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 436: Petra Junk:
Digitalisierung und Briefsubstitution: Erfahrungen in Europa und Schlussfolgerungen für Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 437: Peter Kroon, René Arnold:
Die Bedeutung von Interoperabilität in der digitalen Welt – Neue Herausforderungen in der interpersonellen Kommunikation, Dezember 2018
- Nr. 438: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:
Auswirkung von Bündelprodukten auf den Wettbewerb, März 2019
- Nr. 439: Christian M. Bender, Sonja Thiele:
Der deutsche Postmarkt als Infrastruktur für europäischen E-Commerce, April 2019
- Nr. 440: Serpil Taş, René Arnold:
Auswirkungen von OTT-1-Diensten auf das Kommunikationsverhalten – Eine nachfrageseitige Betrachtung, Juni 2019
- Nr. 441: Serpil Taş, Christian Hildebrandt, René Arnold:
Sprachassistenten in Deutschland, Juni 2019
- Nr. 442: Fabian Queder, Marcus Stronzik, Christian Wernick:
Auswirkungen des Infrastrukturwettbewerbs durch HFC-Netze auf Investitionen in FTTP-Infrastrukturen in Europa, Juni 2019
- Nr. 443: Lorenz Nett, Bernd Sörries:
Infrastruktur-Sharing und 5G: Anforderungen an Regulierung, neue wettbewerbliche Konstellationen, Juli 2019
- Nr. 444: Pirmin Puhl, Martin Lundborg:
Breitbandzugang über Satellit in Deutschland – Stand der Marktentwicklung und Entwicklungsperspektiven, Juli 2019
- Nr. 445: Bernd Sörries, Marcus Stronzik, Sebastian Tenbrock, Christian Wernick, Matthias Wissner:
Die ökonomische Relevanz und Entwicklungsperspektiven von Blockchain: Analysen für den Telekommunikations- und Energiemarkt, August 2019
- Nr. 446: Petra Junk, Julia Wielgosch:
City-Logistik für den Paketmarkt, August 2019
- Nr. 447: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Entwicklung des Effizienzvergleichs in Richtung Smart Grids, September 2019
- Nr. 448: Christian M. Bender, Antonia Niederprüm:
Berichts- und Anzeigepflichten der Unternehmen und mögliche Weiterentwicklungen der zugrundeliegenden Rechtsnormen im Postbereich, September 2019
- Nr. 449: Ahmed Elbanna unter Mitwirkung von Fabian Eltges:
5G Status Studie: Herausforderungen, Standardisierung, Netzarchitektur und geplante Netzentwicklung, Oktober 2019
- Nr. 450: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:
Internationale Vergleichsstudie bezüglich der Anwendung und Umsetzung des Nachbildbarkeitsansatzes, Dezember 2019
- Nr. 451: Matthias Franken, Matthias Wissner, Bernd Sörries:
Entwicklung der funkbasierten Digitalisierung in der Industrie, Energiewirtschaft und Landwirtschaft und spezifische Frequenzbedarfe, Dezember 2019
- Nr. 452: Bernd Sörries, Lorenz Nett:
Frequenzmanagement: Lokale/regionale Anwendungsfälle bei 5G für bundesweite Mobilfunknetzbetreiber sowie für regionale und lokale Betreiber unter besonderer Betrachtung der europäischen Länder sowie von China, Südkorea und den Vereinigten Staaten von Amerika, Dezember 2019

ISSN 1865-8997