

# Freuenzpolitische Herausforderungen durch das Internet der Dinge - künftiger Frequenzbedarf durch M2M-Kommunikation und frequenzpolitische Handlungsempfehlungen

Autoren:

Bernd Sörries  
Lorenz Nett

Bad Honnef, März 2018

## 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](mailto:info@wik.org)  
[www.wik.org](http://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

<b>Zusammenfassung</b>	<b>V</b>
<b>Summary</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2 Definition von IoT und M2M-Technologien und die Herausforderungen</b>	<b>2</b>
<b>3 IoT-Technologien und die Marktentwicklung seit 2014</b>	<b>4</b>
<b>4 Anwendungsformen von IoT/M2M-Technologien</b>	<b>7</b>
<b>5 Erwartete Adaption und Entwicklung der Nutzung von IoT-Technologien und Determinanten des Frequenzbedarfs für IoT-Technologien</b>	<b>12</b>
<b>6 Frequenzpolitik zur Ermöglichung von IoT-Anwendungen und von M2M-Kommunikation</b>	<b>14</b>
6.1 Der Rahmen für die Zuteilung von Frequenznutzungsrechten	14
6.2 Spezifische Themen von Bedeutung bei der Frequenzzuteilung für IoT Anwendungen	16
6.2.1 Harmonisierung der Frequenznutzung in Europa	16
6.2.2 Möglichkeiten der gemeinsamen Nutzung von Frequenzen (Frequenz-Sharing)	17
6.2.3 Ein neuer Ansatz der gemeinsamen Frequenznutzung aus den Vereinigten Staaten von Amerika	22
6.2.4 Weitere Elemente bei der individuellen Zuteilung von Frequenznutzungsrechten bei knappen Frequenzen im Wege einer Auktion	24
6.2.5 Auktionsdesign	24
6.2.6 Reservepreise bzw. Mindestgebote	25
6.2.7 Netzaufbauverpflichtungen	26
<b>7 Frequenzpolitische Initiativen auf europäischer Ebene mit Blick auf IoT</b>	<b>28</b>
7.1 Die aktuelle perspektivische Sichtweise der RSPG mit Blick auf Frequenzen für IoT	28
7.2 Aktuell laufende frequenzpolitische Maßnahmen zur Förderung von IoT auf europäischer Ebene	33
7.2.1 Lockerung der technischen Nutzungsbedingungen für IoT im Frequenzband 862-868 MHz und eine Initiative um Teile des Bandes 870-876 MHz und 915-921 MHz verfügbar zu machen	33
7.2.2 Schaffung von Nutzungsmöglichkeiten im Band 1900 – 1920 MHz für IoT	33
7.2.3 Standardisierungsmaßnahmen und Ermöglichung der Nutzung dieser Technologien in den für Mobilfunk zugeteilten Frequenzbändern	33

7.2.4	Nutzung von Betriebsfunk-Frequenzbändern für IoT und weitere Frequenzen für derartige Anwendungen	34
7.2.5	Richtfunkfrequenzen bzw. Punkt-zu-Mehrpunkt Frequenzen für IoT	34
7.2.6	Ermöglichung von IoT-Diensten mittels Satellitenfunk	34
7.2.7	Vorbereitungen für die WRC-2019 mit Blick auf IoT-Dienste	34
<b>8</b>	<b>Frequenzpolitische Initiativen und Ansätze zur Förderung von M2M-Dienste in Großbritannien</b>	<b>35</b>
8.1	Der Markt für IoT-Dienste in Großbritannien	35
8.2	Staatliche IoT-Initiativen in Großbritannien	36
8.3	Frequenzpolitische Initiativen mit Blick auf IoT	38
8.4	Verfügbare Frequenzen für IoT-Anwendungen in Großbritannien	40
<b>9</b>	<b>Frequenzpolitische Herausforderungen mit Blick auf IoT-Dienste in Deutschland</b>	<b>42</b>
9.1	Generelle Prinzipien für die Behandlung von IoT	42
9.2	Spezifische Themenfelder der Frequenzpolitik für IoT-Dienste aus deutscher Sicht	42
9.2.1	Mitwirkung in internationalen Gremien zur Schaffung eines IoT-freundlichen Frequenz-Ecosystems	42
9.2.2	Zukunftsgerechte Änderung der nationalen Frequenznutzungspläne zur Ermöglichung von IoT-Diensten	43
9.2.3	Transparente und zugängliche Frequenznutzungsdatenbanken	43
9.2.4	Entwicklung von angemessenen Frequenz-Sharing-Systemen	43
9.2.5	Adäquate Frequenzzuweisungen mit Blick auf das öffentliche Interesse	44
<b>10</b>	<b>Fazit</b>	<b>45</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>47</b>

## Abbildungen

Abbildung 1:	IoT-Netzarchitektur mit lokalem Hub	5
Abbildung 2:	IoT-Netzarchitektur mit direkter Anbindung an die Basisstation via LPWA-Technologie	5
Abbildung 3:	RSPG-Wegweiser für IoT-nutzbare Frequenzen	30
Abbildung 4:	Prognostizierte IoT-Verbindungen für Großbritannien	36
Abbildung 5:	Frequenzbereiche, die in Großbritannien aktuell für IoT-Dienste zur Verfügung stehen	41

## Tabellen

Tabelle 1:	IoT-Technologien und der Stand der Standardisierung	6
Tabelle 2:	Anwendungsformen von IoT-Diensten	8
Tabelle 3:	Sektoren und Anwendungsgruppen von IoT-Diensten	9
Tabelle 4:	Anforderungen der IoT-Anwendungen	10
Tabelle 5:	Anforderungen spezifischer IoT-Anwendungen	11
Tabelle 6:	Einflussfaktoren auf die Adaption von IoT-Diensten	12
Tabelle 7:	Entwicklung weltweiter Verbindungen von IoT-Geräten	14
Tabelle 8:	Zu definierende Elemente für die Frequenznutzung	15
Tabelle 9:	IoT-Anwendungen und das von Seiten der Anwender präferierte Autorisierungsregime für Frequenzen	20
Tabelle 10:	Priorisierte Frequenzbänder für 5G-Anwendungen in Europa	32



## Zusammenfassung

Das Internet der Dinge (IoT – Internet of Things) und Machine-to-Machine (M2M)-Kommunikation werden in Zukunft zunehmend bedeutender werden. In unterschiedlichen Branchen ist zu erwarten, dass derartige Anwendungen zum Einsatz kommen werden. In der Autoindustrie wird dies bei der Umsetzung des autonomen Fahrens und bei automatischen Produktionsprozesssteuerungen sein. Im Energiesektor spielt IoT bei der Umsetzung der Digitalisierung der Energiewende, beispielsweise in Gestalt von Smart Grids und Smart Meter eine bedeutende Rolle.

Viele IoT-Anwendungen basieren auf einer drahtlosen Kommunikation. Hierzu bedarf es der Nutzung der Frequenzen, über die die Daten übermittelt werden können. Der jeweilige Nutzer in Deutschland benötigt hierzu Frequenznutzungsrechte, die von Seiten der Bundesnetzagentur erteilt werden, und die konform sind mit europäischen und internationalen Vereinbarungen zu den Nutzungsbedingungen. Aktuell nutzt das IoT und M2M-Kommunikation primär Schmalband-Anwendungen. Dazu bedarf es lediglich Frequenzen, die in Deutschland allgemein zugeteilt sind. Technische Standards, die hierzu verwendet werden sind Bluetooth oder WiFi. Zukünftig steigen die Anforderungen an die Übertragungstechnologien beispielsweise mit Blick auf Latenzzeit, Indoor-Versorgung, Schwarzfall etc. Bei besonders kritischen Anwendungen kann es daher erforderlich sein, dass hochwertige Frequenzen in niedrigen Frequenzlagen benötigt werden und die Exklusivität des Nutzungsrechtes erforderlich ist, um Investitions- und Planungssicherheit zu haben, und die erforderlichen Eigenschaften für die jeweiligen Anwendungen garantieren zu können. Andere IoT-Anwendungen, die nur zeitweise und räumlich begrenzt aktiv sind, und weniger hohe technische Anforderungen haben, können ggf. auch im Rahmen eines Frequenz-Sharing-Regimes in mittleren Frequenzlagen ihren Frequenzbedarf abdecken.

Die Herausforderung für die Frequenzmanagementbehörden auf nationaler und europäischer Ebene bestehen hierbei darin, Frequenzbereiche zu identifizieren, in denen IoT-Anwendungen zulässig sein sollen und hierfür adäquate Frequenznutzungsbestimmungen sowie effektive Frequenzzuteilungsregime festzulegen. Angesichts einer Fülle von technischen Standards, die zum Teil noch in der Entwicklung sind, und einer Vielzahl von möglichen Anwendungen, mit unterschiedlichem Anforderungsprofil und einer hohen Unsicherheit in Bezug auf die Entwicklung der tatsächlichen Nachfrage, sind die Rahmenbedingungen hierzu sehr komplex. In dem vorliegenden Diskussionsbeitrag werden die aktuelle Situation mit Blick auf IoT-Anwendungen und deren Anforderungen, aktuelle technischen Standards zur Ermöglichung von IoT-Anwendungen sowie die potentiellen Nachfrageentwicklungen indikativ dargestellt. Gleichzeitig werden Maßnahmen auf der europäischen Ebene angeführt, die den Prozess der Diffusion von IoT begleiten sollen. Diese beschränken sich nicht nur auf frequenzpolitische Maßnahmen, wengleich dies ein primärer Fokus ist. Vor diesem Hintergrund werden aktuelle frequenzpolitische Initiativen und Maßnahmen mit Blick auf IoT auf der europäischen Ebene dargestellt. Ferner präsentieren wir die frequenzpolitischen Initiativen und Ansätze zur Förderung von M2M-Diensten in Großbritannien detaillierter. Anschließend werden spezifische frequenzpolitische Herausforderungen für die Bundesnetzagentur mit Blick auf IoT diskutiert.

## Summary

The Internet of Things (IoT) and machine-to-machine (M2M) communication will become increasingly important in the future. It is expected that such applications will be used in various industries. In the automotive industry, this will be in the implementation of autonomous driving and automatic production process control. In the energy sector, IoT plays an important role in the implementation of the digitalization of the energy transition, for example in the form of smart grids and smart meters.

Many IoT applications are based on wireless communication. This requires the use of frequencies via which the data can be transmitted. For this purpose, the respective user in Germany requires frequency usage rights granted by the Federal Network Agency and which are in conformity with European and international agreements on the terms of use. Currently, IoT and M2M communication primarily uses narrowband applications. This only requires frequencies that are generally allocated in Germany. Technical standards used for this are Bluetooth or WiFi. In the future, the demands on transmission technologies will increase in terms of latency, indoor coverage, blackout etc. For particularly critical applications, it may therefore be necessary that high quality frequencies in low frequency ranges are required and that the exclusivity of the right of use is required in order to ensure investment and planning security and to be able to guarantee the required properties for the respective applications. Other IoT applications that are only temporarily and spatially limited active and have less stringent technical requirements may also be able to cover their frequency requirements under a frequency-sharing regime in mid-range frequencies.

The challenge for the spectrum management authorities at national and European level is to identify frequency ranges in which IoT applications should be allowed as well as to establish appropriate frequency usage conditions and effective frequency assignment regimes. In view of the large number of technical standards, some of which are still under development, and a large number of possible applications, with differing requirements and a high degree of uncertainty regarding the development of actual demand, the framework conditions for this are very complex. In this discussion paper, the current situation with regard to IoT applications and their requirements, current technical standards for enabling IoT applications and potential demand trends are presented in an indicative manner. At the same time, measures at the European level are cited to accompany the process of diffusion of IoT. These are not limited to radio spectrum policy measures, although this is a primary focus. Against this background, current radio spectrum policy initiatives and measures with a view to IoT are presented at the European level. We will also present in more detail the spectrum policy initiatives and approaches to promote M2M services in the UK. Subsequently, specific radio spectrum policy challenges for the Federal Network Agency with a view to IoT will be discussed.

## 1 Einführung

Das Internet der Dinge (IoT – Internet of Things) und Machine-to-Machine (M2M)-Kommunikation werden in Zukunft zunehmend an Bedeutung gewinnen. In unterschiedlichen Branchen ist zu erwarten, dass derartige Anwendungen verstärkt zum Einsatz kommen, um beispielsweise Prozesse oder die Produktion von Gütern effizienter zu gestalten. Sehr prominent ist hier die Autoindustrie, wo das IoT bei der Umsetzung des autonomen, vernetzten Fahrens und bei automatischen Produktionsprozesssteuerungen relevant sein wird. Im Energiesektor spielt IoT bei der Umsetzung der Digitalisierung der Energiewende, beispielsweise in Gestalt von Smart Grids und intelligenten Messsystemen (Smart Meter) eine bedeutende Rolle.

Viele IoT-Anwendungen basieren auf einer drahtlosen Kommunikation. Hierzu bedarf es der Nutzung der Frequenzen, über die die Daten übermittelt werden. Der jeweilige Nutzer in Deutschland benötigt hierzu Frequenznutzungsrechte, die von Seiten der Bundesnetzagentur erteilt werden, und die konform mit europäischen und internationalen Vereinbarungen zu den Nutzungsbedingungen auszugestaltet sind. Aktuell nutzen das IoT und M2M-Kommunikation primär Schmalband-Anwendungen. Dazu bedarf es in der Regel Frequenzen, die in Deutschland allgemein zugeteilt sind. Technische Standards, die hier verwendet werden, sind Bluetooth oder WiFi. Zukünftig steigen jedoch die Anforderungen an die Übertragungstechnologien, beispielsweise mit Blick auf Latenzzeit, Indoor-Versorgung oder Schwarzfall. Bei besonders kritischen Anwendungen kann es daher erforderlich sein, dass vermehrt Frequenzen im lizenzierten Frequenzspektrum benötigt werden, um mittels Exklusivität des Nutzungsrechtes Investitions- und Planungssicherheit genauso zu erreichen, wie Kommunikationsinfrastrukturen zu etablieren, deren Eigenschaften zu den jeweiligen Anwendungen passen. Andere IoT-Anwendungen, die nur zeitweise und räumlich begrenzt aktiv sind und weniger hohe technische Anforderungen haben, können ggf. auch im Rahmen eines Frequenz-Sharing-Regimes in mittleren Frequenzlagen ihren Frequenzbedarf abdecken.

Die Herausforderung für die Frequenzmanagementbehörden auf nationaler und europäischer Ebene bestehen hierbei darin, Frequenzbereiche zu identifizieren, in denen IoT-Anwendungen zulässig sein sollen und hierfür adäquate Frequenznutzungsbestimmungen sowie effektive Frequenzuteilungsregime festzulegen. Angesichts einer Fülle von technischen Standards, die dabei zum Teil noch in der Entwicklung sind und einer Vielzahl von möglichen Anwendungen, deren Anforderungsprofile bei gleichzeitiger hoher Unsicherheit in Bezug auf die Entwicklung der tatsächlichen Nachfrage deutlich variieren, ist die Ausgestaltung geeigneter Rahmenbedingungen sehr komplex.

Im vorliegenden Diskussionsbeitrag werden wir die aktuelle Situation mit Blick auf IoT-Anwendungen und deren Anforderungen, aktuelle technischen Standards zur Ermöglichung von IoT-Anwendungen sowie die potentiellen Nachfrageentwicklungen indikativ darstellen. Gleichzeitig werden Maßnahmen auf der europäischen Ebene angeführt, die den Prozess der Diffusion von IoT begleiten sollen. Diese beschränken sich nicht nur

auf frequenzpolitische Maßnahmen, wenngleich dies ein primärer Fokus ist. Vor diesem Hintergrund werden aktuelle frequenzpolitische Initiativen und Maßnahmen mit Blick auf IoT auf der europäischen Ebene dargestellt. Ferner präsentieren wir die frequenzpolitischen Initiativen und Ansätze zur Förderung von M2M-Diensten in Großbritannien detaillierter. Anschließend werden spezifische frequenzpolitische Herausforderungen für die Bundesnetzagentur mit Blick auf IoT exemplarisch für einen Sektor diskutiert.

Im Detail gliedert sich die Studie wie folgt:

Das IoT-Ecosystem (Technologien, Anforderungen der Anwender, Nachfrage)

- *Kapitel 2:* Die Herausforderungen, die sich im Zusammenhang mit IoT für staatliche Institutionen ergeben, nicht nur mit Blick auf frequenzpolitische Fragen werden dargestellt.
- *Kapitel 3:* Hier werden gegenwärtig prominente IoT-Technologien und deren Marktentwicklungen seit 2014 präsentiert.
- *Kapitel 4:* Hier wird das Ecosystem von Anwendungsformen von IoT/M2M-Technologien indikativ dargestellt.
- *Kapitel 5:* In diesem Kapitel wird diskutiert, was die Einflussfaktoren für die Diffusion von IoT-Diensten sind. Ferner präsentieren wir quantitative Schätzungen von renommierten Instituten zu der erwarteten Entwicklung von IoT-Verbindungen.

Frequenzpolitik mit Blick auf IoT:

- *Kapitel 6:* Auf generischem Level werden frequenzpolitische Themen zur Ermöglichung von IoT diskutiert.
- *Kapitel 7:* Aktuelle laufende frequenzpolitische Maßnahmen auf europäischer Ebene werden präsentiert.
- *Kapitel 8:* Initiativen und Maßnahmen zur Förderung und Ermöglichung von IoT in Großbritannien werden angeführt.
- *Kapitel 9:* Frequenzpolitische Herausforderungen mit Blick auf Deutschland werden diskutiert.
- *Kapitel 10:* Dieses Kapitel beinhaltet ein kurzes Fazit.

## 2 Definition von IoT und M2M-Technologien und die Herausforderungen

Gegenwärtig gibt es keine eindeutige Definition von IoT (Internet of Things) und M2M (Machine-to-Machine). BEREC (BOR(1)39, S. 5) verweist auf folgende Formulierungen der Europäischen Kommission:

*„The Internet of Things enables objects sharing information with other objects/members in the network, recognizing events and changes so to react autonomously in an appropriate*

*manner. The IoT therefore builds on communication between things (machines, buildings, cars animals, etc.) that leads to action and value creation.“*

Nach dem Oxford Dictionary versteht man unter IoT:<sup>1</sup>

*„The interconnection via the internet of computing devices embedded in everyday objects, enabling them to send and receive data.*

Das Internet wird nach dem Oxford Dictionary wie folgt definiert:<sup>2</sup>

*„A global computer network providing a variety of information and communication facilities, consisting of interconnected networks using standardised communication protocols.“*

BEREC beschreibt M2M als *„a generic concept that indicates the exchange of information in data format between two remote machines, through a mobile or fixed network, without human intervention.“*

Andere sprechen nur dann von M2M, wenn kein Mensch involviert ist. Manche benutzen M2M und IoT auch synonym.

De facto lässt sich IoT gemäß den Ausführungen der Europäischen Kommission wie folgt beschreiben und beinhaltet damit auch M2M-Anwendungen, die an das Internet angebunden sind:<sup>3</sup>

*„IoT is composed of a series of new independent systems operating with their own infrastructures which are partly based on existing Internet infrastructures. IoT can be implemented in symbiosis with new services. It covers three types of communication which can be established in restricted areas (‘intranet of things’) or made publicly accessible (‘Internet of things’):*

- *things-to-person;*
- *thing-to-thing;*
- *Machine-to-Machine (M2M).“*

Das IoT umfasst folglich eine Vielzahl von Anwendungen, wie z.B:

- internetfähige Mobiltelefone mit Kameras;
- eindeutige Seriennummern oder Barcodes auf pharmazeutischen Produkten;

---

<sup>1</sup> Siehe: [https://en.oxforddictionaries.com/definition/Internet\\_of\\_things](https://en.oxforddictionaries.com/definition/Internet_of_things).

<sup>2</sup> Siehe: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/internet>.

<sup>3</sup> Siehe hierzu European Commission's Radio Spectrum Policy web site "Wireless Europe" <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/wireless-europe>.

- Intelligente elektronische Messsysteme, die einen Verbrauchsbericht in Echtzeit liefern;
- Intelligente Objekte im Logistikbereich (eFreight), in der Produktion oder im Handel.

### 3 IoT-Technologien und die Marktentwicklung seit 2014<sup>4</sup>

In den letzten Jahren hat es eine rasante Entwicklung von Technologien gegeben, die IoT-Systeme miteinander verbinden<sup>5</sup>. Derartige Fortschritte waren sowohl im zellularen Bereich als auch bei neuen, proprietären Technologien zu beobachten, die primär in lizenzfreien Frequenzbereichen operieren. Dies ermöglicht den Unternehmen sowie öffentlichen Institutionen vielfältige unabhängige IoT-Netzwerke zu errichten.

Gegenwärtig verwenden die IoT-Systeme i.d.R. eine lokale Verbindung zu einem Hub, bevor eine Verbindung zu einem weiterreichenden Netzwerk erfolgt. De facto werden primär zellulare Mobilfunknetze, WiFi oder Festnetzverbindungen genutzt. Im Bereich Smart Home ist hierzu ein typisches Beispiel Google Nest Thermostat zur Regelung der Temperatur in einem Gebäude. Dieses System generiert einen Hub und verbindet die Geräte und das lokale WiFi-Netz. Auf diese Weise werden die Daten über die Breitbandverbindung innerhalb des Gebäudes bi-direktional übermittelt.

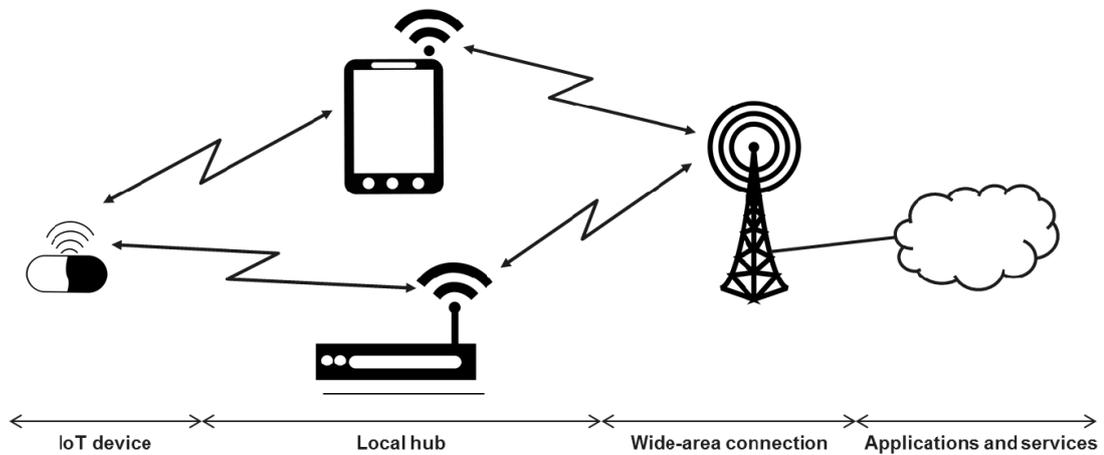
Die meisten tragbaren und verbundenen Geräte von Endnutzern nutzen gegenwärtig Bluetooth oder ähnliche Verbindungen hin zum Smartphone des Nutzers, um dann eine Verbindung zum Internet und Anwendungen zu einer entsprechenden Nutzerschnittstelle herzustellen. Dies ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

---

<sup>4</sup> Siehe hierzu die Studie von Cambridge Consultants für OFCOM (2017): Review of latest developments in the Internet of Things, 7 March 2017.

<sup>5</sup> Vgl. auch Büllingen, Franz / Börnsen, Solveig (2015): Marktorganisation und Marktrealität von Machine-to-Machine-Kommunikation mit Blick auf Industrie 4.0 und die Vergabe von IPv6-Nummern, August 2015.

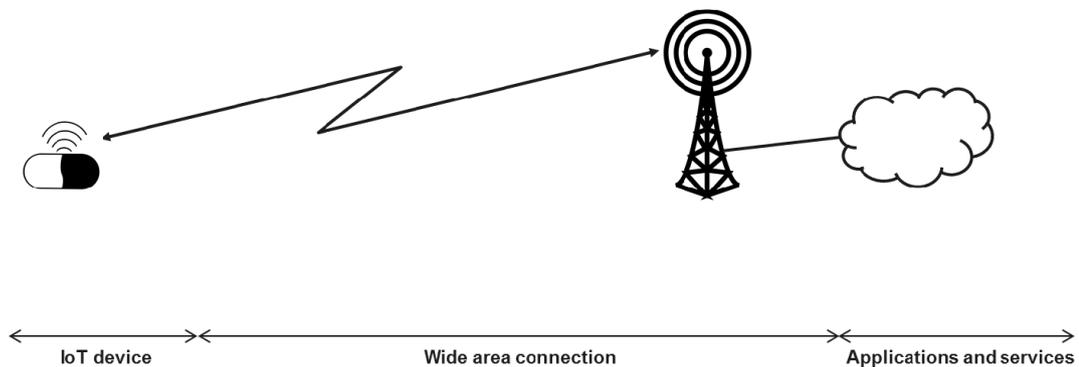
Abbildung 1: IoT-Netzarchitektur mit lokalem Hub



Quelle: Cambridge Consultants (2017)

Die bemerkenswerteste Entwicklung in den letzten beiden Jahren war die Ausreifung von Technologien, die eine unmittelbare Verbindung von der traditionellen Basisstation-Architektur zu den Endgeräten erlauben. Diese Technologien firmieren unter der Bezeichnung Low-Power-Wide-Area (LPWA) -Technogien. Diesbezüglich existieren (bzw. sind in der Entwicklung) eine Reihe von standardisierten und proprietären Lösungen.

Abbildung 2: IoT-Netzarchitektur mit direkter Anbindung an die Basisstation via LPWA-Technologie



Quelle: Cambridge Consultants (2017)

Typischerweise sind derartige LPWA-IP-Netze dazu bestimmt, dass Endgeräte (Dinge, wie z.B. Parksensoren) über 10 Jahre hinweg mit einer einfachen Batterie bei niedrigen Kosten spezifizierte Datenströme mit geringem Datenumfang senden können. Die Datenraten liegen typischerweise bei 10er oder 100er Bits pro Sekunde (bps) und einer sehr begrenzten Zahl von Nachrichten am Tag. Nach dem Übersenden des Signals wechseln diese Endgeräte gemeinhin in den reinen Empfängermodus, um Energie zu sparen.

Ursprünglich gab es für LPWA proprietäre Lösungen wie Sensus für Smart-Messungen. Mittlerweile gibt es jedoch LPWA-Standards sowohl für die bestehende zellulare Infrastruktur der Mobilfunknetzbetreiber (z.B. NB-IoT) als auch Standalone-Standards, so dass alternative Anbieter ihre eigene Netzinfrastruktur aufbauen können. Aktuell ist eine Entwicklung von Standards bzw. Lösungen für LPWA zu beobachten, die Technologien mit kurzer Reichweite und einem zwischengeschalteten Hub optimieren.

In der nachfolgenden Tabelle 1 werden aktuell verfügbare IoT-Technologien mit ihren erzielbaren Datenraten, der Art der Frequenznutzung und dem Standardisierungsansatz präsentiert.

Tabelle 1: IoT-Technologien und der Stand der Standardisierung

Technologie	Datenrate	Frequenzen	Standardisierungsansatz	Kommentare
eMTC (enhanced for machine type communications) (auch bekannt als LTE-M oder LTE Cat-M1)	1 Mbps	lizensiert	3GPP Standardisierung	Teurere Technologie als andere LPWA mit höheren Datenraten
NB (narrow-band)-IoT (Bzw. LTE Cat-NB1)	20-60 kbps	lizensiert	3GPP Standardisierung	Software-Upgrade zu bestehender Infrastruktur, und preiswerter als andere LPWA-Technologien
EC (extended coverage)-GSM	10 kbps	lizensiert	3GPP Standardisierung	Software-Upgrade zu bestehender Infrastruktur, jedoch weniger gut als NBloT
LoRaWAN	250 bps bis 50 kbps	lizenzfrei	Von Semtech entwickelt, die Standardisierung läuft unter LoRa Alliance	Ein wachsendes Ecosystem mit zertifizierten Geräten

Technologie	Datenrate	Frequenzen	Standardisierungsansatz	Kommentare
<b>Weightless</b>	verschiedene	Weightless N. lizenzfrei Weightless P. lizenzfrei Weightless W. TV whitespaces	Weightless SIG	Bis jetzt eine beschränkte kommerzielle Aktivität
<b>Bluetooth Low Energy (BLE)</b>	verschiedene	lizenzfrei	Standardisierung von Bluetooth SIG	In der Konsumentenelektronik für Kommunikation über kurze Reichweiten stark adaptiert
<b>802.15.4 (ZigBee und Tread bauen darauf auf)</b>	verschiedene	lizenzfrei	802.15.4 wird von IEEE standardisiert, ZigBee und Thread verwenden zusätzlich Protokolle	Unterstützt Mesh-Netze mit kurzer Reichweite
<b>5G</b>	verschiedene	beides: lizenzfrei und lizenziert	3GPP Standardisierung	Entwickelt um IoT von Beginn an zu ermöglichen, Standardisierung ist jedoch erst am Anfang, erst in einigen Jahren in größerem Umfang verfügbar

Quelle: Cambridge Consultants (2017). In der angeführten Studie findet der Leser eine detailliertere Darstellung der angeführten Technologien.

Die obige Tabelle zeigt, dass es einen Wettbewerb von verschiedenen Ecosystemen gibt. Die Ecosysteme lassen sich dabei sehr gut voneinander abgrenzen. Ein zentraler Unterschied hierbei ist, ob die Technologien auf lizenziertes oder unlizenziertes Spektrum zurückgreifen. Der Wettbewerb der Ecosysteme bedeutet, dass potentielle Anwender aus mehreren Technologien auswählen können. Das ist einerseits positiv, andererseits aber auch mit Unsicherheit hinsichtlich der (mittel- bis langfristigen) Verfügbarkeit der Technologien verbunden. Jedenfalls führt dies dazu, dass die Frequenzpolitik beide Bereiche zu betrachten hat.

#### 4 Anwendungsformen von IoT/M2M-Technologien

IoT/M2M-Technologien kommen für eine Vielzahl von Industrie- und Dienstleistungssektoren in Betracht. Exemplarisch sind in der nachfolgenden Tabelle Nutzungen von IoT-Technologie angeführt, die auch die RSPG (Radio Spectrum Policy Group) als derzeit erwähnenswert erachtet.

Tabelle 2: Anwendungsformen von IoT-Diensten

Telemetrie	Fahrzeugflottenmanagement	Dienste und Wartung	Sicherheit und Betriebsüberwachung
Versorgungsmessung Parkmessung Aufzüge Warenautomaten	Schiffsfrachtverfolgung Temperaturmessung Routenplanung Bestellverfolgung Fahrzeugdiagnose	Industriemaschinen Warenautomaten	Öffentliche Überwachungskamera Liegenschaftsüberwachung Stau und Verkehrsüberwachung Urbanes Management
Telematik und Transport	Anwendungen innerhalb des Wohngebäudes	Elektronische Gesundheitsanwendungen	Verkauf und Bezahlung
Navigation Verkehr- und Wetterinformationen Straßensicherheit Fahrzeugdiagnose Lokale Dienst	Heizsystemkontrolle Elektrische Anwendungen Alarm und Sicherheit Überwachungskameras Garage und Garten	Patientenüberwachung Ferndiagnose Aktive Überwachung Lifestyle-Vorschläge Persönliche Sicherheit	Bezahlterminals Verkaufsautomaten Spiele und Unterhaltung

Quelle: RSPG (2016)

Etwas dezidierter werden die IoT-Dienste in einer Studie von Cambridge Consultants (2017, Seite 24-25) für 12 klassifizierte Sektoren aufgegliedert. Bei der Definition von IoT-Diensten wurden fünf Kriterien hinzugenommen, die IoT-Dienste charakterisieren bzw. definieren:

- End-Punkte müssen in alltäglichen Objekten eingebaut sein
- End-Punkte müssen einen eingebauten Mikroprozessor nutzen
- End-Punkte müssen eine Verbindung zum Internet haben
- End-Punkte müssen miteinander verbundene Netzwerke nutzen
- End-Punkte müssen eine standardisierte Kommunikation nutzen

Tabelle 3: Sektoren und Anwendungsgruppen von IoT-Diensten

Sektor	Anwendungsgruppen
<b>Agrarwirtschaft und Umwelt</b>	Landwirtschaftliche Geräte und Arbeitskräfte Ernten Energie und Umweltbeobachtungen Viehbestand
<b>Automobilindustrie</b>	Effizienzverbesserungen Neu zu schaffende Geschäftsfelder Sicherheit Telematik
<b>Baugewerbe</b>	Ausrüstungsüberwachung Materialüberwachung Baustellenüberwachung Visualisierung
<b>Konsumentenelektronik und FMCG (Fast moving consumer goods)</b>	Audiovisuelle Ausstattung FMCG Haushaltswaren Andere Standortverfolgung
<b>Rettungsdienste und nationale Sicherheit</b>	Rettungsdienste Nationale Sicherheit Bewährungshelferdienste
<b>Gesundheitswesen</b>	Betreutes Leben Allgemeine Gesundheitsüberwachung Anwendungen in Krankenhäusern Ferngesundheitsüberwachung Telemedizin
<b>Intelligente Gebäude</b>	Automatisierung im Gebäude Gebäudeeffizienz Gebäudeinfrastruktur Sicherheit und Gesundheit
<b>Fertigungswirtschaft</b>	Prozesse Wartungsarbeiten
<b>Einzelhandel und Freizeit</b>	Kundenbindung Netzinfrastruktur Einzelhandelseffizienz
<b>Smart Cities und Transportwirtschaft</b>	Bürgerüberwachung Zivile Notfalldienste Umwelt und Energie Öffentliche Verbindungsdienste Gesundheits- und Sozialwesen Öffentliche Informationsdienste und Polizei Dienstleistungs- und Infrastrukturmanagement Transportmanagement
<b>Zulieferkette</b>	Transport und Vertrieb Smarte Messungen Lagerung und Lagerabwicklung
<b>Dienstleistungsgewerbe</b>	Vertriebsmanagement Andere Smarte Messungen

Quelle: Cambridge Consultants (2017), S. 24-25.

Wie bereits oben ausgeführt, stellt die Art der Anwendung unterschiedliche Anforderungen an die Systeme. Unterteilt man zunächst grob in solche IoT-Systeme, die für die Massenkommunikation bzw. Datenübermittlung und kritische Datenübertragungen genutzt werden, so lassen sich Anforderungen wie in der nachfolgenden Tabelle 4 dargestellt listen.

Tabelle 4: Anforderungen der IoT-Anwendungen

Massenkommunikation	Kritische Kommunikation
<b>Nutzungsfälle</b>	
Datenerfassung und -sammlung Smartes Gebäude Logistik, Fahrtrouten- und Fahrzeugflottenmanagement Smarte Messungen, Smarte Agrarwirtschaft+	Steuerung, Kontrolle, Überwachung Fern-Gesundheitsbetreuung Verkehrssicherheit und Kontrolle Herstellung, Operationen und Training Industrielle IoT, kritische Infrastrukturen (Fabrikautomation, Bewegungskontrolle, Fernkontrolle, Smartes Stromversorgungsnetz, Prozessautomation, Internet über Bewegungssensoren)
<b>Operationale Anforderungen an die Anwendung</b>	
Geringe Endgerätekosten, geringe Energiekosten Geringe Datenvolumen, Nutzung mit Unterbrechungen Signal-latenz tolerierbar, nicht sensitiv gegenüber Verzögerungen, Höhere Anzahl an Endgeräten Höhere Versorgung	Ultrazuverlässig Hohe Verfügbarkeit Potentiell nichtunterbrochene Kommunikation Kommunikation in Echtzeit, sehr geringe Signallatenz Garantierte zeitgleiche Zustellung Häufig lediglich regionale Nutzung

Quelle: RSPG (2016)

In der nachfolgenden Tabelle 5 werden ergänzend spezifische technische Anforderungen an IoT-Anwendungen von Ericsson dezidiert dargestellt.

Tabelle 5: Anforderungen spezifischer IoT-Anwendungen

Use cases	Requirements	Desired value
Autonomous vehicle control	Latency	5ms
	Availability	99.999 percent
	Reliability	99.999 percent
Emergency communication	Availability	99.9 percent victim discovery rate
	Energy efficiency	One-week battery life
Factory cell automation	Latency	Down to below 1ms
	Reliability	Down to packet loss of less than 10 <sup>-9</sup>
High-speed train	Traffic density	Downlink (DL): 100Gbps/km <sup>2</sup> , uplink (UL): 50 Gbps/km <sup>2</sup>
	User throughput	DL: 50Mbps, UL: 25Mbps
	Mobility	500kmph
	Latency	10ms
Large outdoor event	User throughput	30Mbps
	Traffic density	900Gbps/km <sup>2</sup>
	Connection density	Four devices/m <sup>2</sup>
	Reliability	Outage probability < 1 percent
Massive numbers of geographically dispersed devices	Connection density	1,000,000 devices/km <sup>2</sup>
	Availability	99.9 percent coverage
	Energy efficiency	10-year battery life
Media on demand	User throughput	15Mbps
	Latency	5s (start application), 200ms (after link interruptions)
	Connection density	4,000 devices/km <sup>2</sup>
	Traffic density	60Gbps/km <sup>2</sup>
	Availability	95 percent coverage
Remote surgery and examination	Latency	Down to 1ms
	Reliability	99.999 percent
Shopping mall	User throughput	DL: 300Mbps UL: 60Mbps
	Availability	95 percent for all applications, and 99 percent for safety-related applications
	Reliability	95 percent for all applications, and 99 percent for safety-related applications
Smart city	User throughput	DL: 300Mbps, UL: 60Mbps
	Traffic density	700Gbps/km <sup>2</sup>
	Connection density	200,000 devices/km <sup>2</sup>
Stadium	User throughput	0.3-20Mbps
	Traffic density	0.1-10Mbps/m <sup>2</sup>
Teleprotection in smart grid network	Latency	8ms
	Reliability	99.999 percent
Traffic jam	Traffic density	480 Gbps/km <sup>2</sup>
	User throughput	DL: 100Mbps, UL: 20Mbps
	Availability	95 percent
Virtual and augmented reality	User throughput	4-28Gbps
	Latency	< 7ms
Broadband to the home	Connection density	4,000 devices/km <sup>2</sup>
	Traffic density	60Gbps/km <sup>2</sup>

Quelle: Ericsson<sup>6</sup>

Spezifische Anforderungen erfordern spezifische Technologien und spezifische Frequenznutzungsrechte in spezifischen Frequenzlagen. Hierbei lässt sich festhalten, dass je kritischer die Anwendung und je höher die technischen und nutzungsbedingten Anforderungen sind, umso eher ist das exklusive Nutzungsrecht für einen Frequenzbereich einer hinreichenden frequenzökonomischen Güte erforderlich. Sofern größere Reichweiten erforderlich sind und es einer Inhouse-Versorgung bedarf, werden dazu

<sup>6</sup> Siehe Ericsson, 5G, Enabling the transformation of industry and society [https://www.ericsson.com/news/170104-wp-5g-systems-enabling-the-transformation-of-industry-and-society\\_244010065\\_c](https://www.ericsson.com/news/170104-wp-5g-systems-enabling-the-transformation-of-industry-and-society_244010065_c).

tendenziell eher Frequenzen in niedrigen Frequenzlagen mit diesbezüglich geeigneten Ausbreitungseigenschaften benötigt. Wie der Mix von Frequenzen schlussendlich ausfällt, hängt maßgeblich von der nachgefragten Kapazität und Dichte der zu versorgenden Dinge ab.

## 5 Erwartete Adaption und Entwicklung der Nutzung von IoT-Technologien und Determinanten des Frequenzbedarfs für IoT-Technologien

Das IoT-Ecosystem ist komplex. Eine Vielzahl von Faktoren und Agenten wird die Entwicklung von IoT-Systemen beeinflussen. Dd. h. die nachfolgende Tabelle 6 präsentiert stichwortartig eine Vielzahl von Aspekten, die aktuell das Ecosystem beeinflussen.

Tabelle 6: Einflussfaktoren auf die Adaption von IoT-Diensten

	Treiber	Schlüsseltechnologien	Schlüsselspieler	Diffusion hemmende Faktoren
<b>Dienste</b>	Entwicklung vom Produkt zum Dienst Verfügbarkeit von skalierbaren Clouddiensten	Clouddienste IoT-Vermittlungsplattformen	Cloud-Diensteanbieter, d. h. Amazon Web Services IoT-Plattformen, d. h. Jasper Wireless	Privatsphäre und Sicherheitsbedenken
<b>Konnektivität</b>	Netzabdeckung Zellulare Standards Standards die Newcomern den Marktzutritt ermöglichen Verfügbare Frequenzen	Local area, d. h. Bluetooth, Wi-Fi, Thread Low power wide area (LPWA), d. h. LoRaWAN, Sigfox Cellular: d. h. 2G, 3G, 4G, 5G, NB-IoT	Mobilfunkunternehmen Frequenzmanagementbehörde Netzausrüstungs- und Endgerätehersteller und Lieferanten	Geographische Marktabdeckung Kosten Latenzzeit und Kapazitätsbegrenzungen
<b>Dinge</b>	Kostengünstige Sensoren Verbesserung der Batterietechnologie	Anwendungsspezifische Sensoren Bedienungselemente spezifischer Anwendungen Lokale Auswertungen d. h. Algorithmen und künstliche Intelligenz	Gerätehersteller Komponenten und Chiphersteller	Sicherheitsbedenken Kosten Skaleneffekte
<b>Markt</b>	Private Endnutzer, Unternehmen Öffentlicher Sektor als aktive Player		Private Endnutzer, Unternehmen, Öffentlicher Sektor als Nutznießer	
<b>Externe Faktoren</b>	Kosteneinsparungen Verbesserung in der Erfahrung der Nutzer Politische Maßnahmen und Unterstützungen		Angemessene Geschäftsmodelle Unsicherheit mit Blick auf die Nutzung der Anwendung Beschränkter Bekanntheitsgrad	

Quelle: Cambridge Consultants (2017), Seite 6.

Für die Entwicklung von IoT-Diensten werden insbesondere die folgenden Faktoren als bedeutsam angesehen:

1. Die Verfügbarkeit der Dienste ist fundamental für die Marktadaption: Eine Reihe von Anwendungen erfordern die universelle Verfügbarkeit in Verbindung mit niedrigen Verbindungs- und Nutzungskosten.
2. Hinreichende Sicherheitsstandards sind erforderlich, um zu verhindern, dass Hacker an personenbezogene, sensible Daten gelangen.
3. Der sensible Umgang mit dem Austausch personenbezogener und vertraulicher Daten sollte gewährleistet sein.
4. Aktuell erscheint der Netzausbau für spezifische Technologien sehr risikoreich und komplex. Sobald spezifische IoT-Netzinfrastrukturen ausgebaut sind, erfordern zukünftige Verbesserungen und Upgrades nur noch Entscheidungen mit Blick auf das zusätzliche Inkrement.

Das Ministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017)<sup>7</sup> führt aus, dass die Anzahl vernetzter Gegenstände in der Wirtschaft, aber auch im Alltag jedes Einzelnen ständig wachse. Man gehe davon aus, dass bis 2020 allein in Deutschland rund 700 Millionen Geräte vernetzt sein werden. Hierbei würden mobile Endgeräte wie Smartphones und Tablets als auch Fahrzeuge und Industriemaschinen an das Internet angebunden und so ein Datenaustausch ermöglicht. Somit würden weltweit Milliarden Gegenstände, Sensoren oder Maschinen miteinander kommunizieren. Das Konsumenten-Internet würde um das Industrie-Internet erweitert. Diese industrielle und intelligente Vernetzung stelle bislang nicht dagewesene Anforderungen an Konnektivität, Kapazität, Sicherheit und Dienstgüte.

Mit Blick auf IoT wird die Entwicklung durch eine vermehrte Vielzahl an Geräten getrieben, die in einem IoT-System genutzt werden. Die in der folgenden Tabelle 7 angeführten Schätzungen von Cisco, Ericsson und GSMA bezüglich der Anzahl der IoT-Geräte belegen, dass sich die Zahl der Geräte in den nächsten 5 Jahren verdoppeln bzw. verdreifachen wird.

---

<sup>7</sup> Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): 5G-Strategie für Deutschland – Eine Offensive für die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für 5G-Netze und – Anwendungen.

Tabelle 7: Entwicklung weltweiter Verbindungen von IoT-Geräten

Jahr	Weltweite Verbindungen		Europäische Verbindungen
	Ericsson <sup>8</sup>	Cisco <sup>9</sup>	GSMA <sup>10</sup>
2016	5,6 Mrd.	5,8 Mrd.	87,8 Mill.
2020/2021/2022	17,6 Mrd.	13,7 Mrd.	182 Mill.

Quelle: LS telecom/VVA/Policy Tracker (2017)

Die vorangegangenen Ausführungen indizieren, dass die erwartete Adaption und Entwicklung von IoT-Diensten mit einer hohen Unsicherheit behaftet ist. Bei positiver Entwicklung ist jedoch ein merklicher Zuwachs an IoT-Systemen zu erwarten. Drahtlose Anwendungen bedürfen hierzu eines hinreichenden Umfangs an Frequenznutzungsmöglichkeiten. Hierzu ist ein adäquates Frequenznutzungsregime für IoT-Anwendungen zu entwickeln.

## 6 Frequenzpolitik zur Ermöglichung von IoT-Anwendungen und von M2M-Kommunikation

### 6.1 Der Rahmen für die Zuteilung von Frequenznutzungsrechten

Frequenzen sind der essentielle Input für die Bereitstellung von drahtlosen IoT-Diensten. Die Nutzungsrechte für Frequenzen werden von den nationalen Frequenzbehörden (Spectrum Management Agencies (SMAs)) zugeteilt. Die SMAs legen hierbei insbesondere das Vergabeverfahren sowie die detaillierten Nutzungsbestimmungen fest. Diese Nutzungsbestimmungen determinieren, für welche Anwendungen und wie die Frequenzen alleine oder gemeinsam mit anderen genutzt werden können.

Diese umfassen die folgenden Elemente, die in der nachfolgenden Tabelle 8 angeführt sind:

<sup>8</sup> The Mobility Report, Ericsson, November 2016.

<sup>9</sup> Cisco Visual Networking Index, June 2017.

<sup>10</sup> The Mobile Economy Europe, 2015, GSMA Intelligence, 2015.

Tabelle 8: Zu definierende Elemente für die Frequenznutzung

Elemente	Ausgestaltung
Charakter des Nutzungsrechtes der Frequenzen	Festlegung der Handelbarkeit mit Blick auf das Frequenzspektrum, geographische Abgrenzung und Feldstärke; Veränderung der Nutzung im Rahmen der ITU-Bestimmungen; Möglichkeit Leasing-Verträgen abzuschließen.
Art der Lizenz	Festlegungen hinsichtlich der möglichen Teilung des zugeteilten Frequenzspektrums in handelbare Einheiten; Handelbarkeit von Frequenzen, die staatlichen Institutionen zugeteilt wurden.
Bestimmung der Methode der Übertragung	Die Frequenzregulierungsbehörde legt den Mechanismus der Übertragung fest; Beantragung eines intendierten Handels, der von der Bundesnetzagentur zu genehmigen ist; freie Übertragbarkeit mit Erklärung, dass alle Bedingungen eingehalten wurden.
Übertragung der Nutzung	Registrierung der aktuellen Frequenznutzung in einer zentralen Datenbank der Frequenzregulierungsbehörde.
Aggregation/Zerlegung	Ist eine solche erlaubt oder nicht? Ein Verbot kann beispielsweise für den Fall vorliegen, dass sie für eine bestimmte Art der öffentlichen Nutzung (z.B. militärische Nutzung) ausschließlich reserviert ist.
Dauer	Festlegung, wie lange das Frequenzspektrum genutzt werden kann; Festlegung des Zeitraums innerhalb dessen Handel möglich ist.
Technische Parameter	Setzung von Rahmenbedingungen, ab denen mit Nutzern benachbarter Frequenzbänder Verhandlungen über den Umgang mit Interferenzen geführt werden müssen.
Methode zur Veränderung der Interferenzparameter	Maßstäbe über Verhandlungen unter den Frequenznutzern und Festlegung der Rolle der Frequenzregulierungsbehörden als Schiedsrichter.
Beschränkung mit Blick auf die anwendbare Technologie bzw. Service	Veränderungen der Nutzung im Rahmen von ITU-Vereinbarungen und Übereinkommen auf europäischer Ebene.
Einhaltung der Frequenznutzungsbedingungen	Sicherstellung, dass die Frequenznutzungsbedingungen und die damit einhergehenden Verpflichtungen eingehalten werden.
Prozess, um Interferenzprobleme zu lösen	Primat der privaten Verhandlungslösungen in Abweichung von gesetzten Normen und Standards mit Blick auf Interferenzen.

Quelle: dti, Review of Radio Spectrum Management (2002), S. 116, WIK-Consult

Die dort im Detail festgelegten Bestimmungen müssen in Einklang mit europäischen und international getroffenen Vereinbarungen sein, hier insbesondere dem Frequenzbereichszuweisungsplan, der auf der Weltfunkkonferenz (WRC) in periodischen Ab-

ständen überarbeitet und aktualisiert wird. Die letzte WRC fand im Jahr 2015 statt, die nächste wird im Jahr 2019 sein.<sup>11</sup>

## 6.2 Spezifische Themen von Bedeutung bei der Frequenzzuteilung für IoT Anwendungen

### 6.2.1 Harmonisierung der Frequenznutzung in Europa

Auf europäischer Ebene ist zunächst zu identifizieren, wie hoch der Frequenzbedarf für 5G und anderweitige IoT-Anwendungen ist, die nicht über Frequenzen, die unter 5G subsumiert sind, bereitgestellt werden sollten. Diese sollten durch Koordination auf internationaler Ebene im Rahmen der ITU für diese Anwendungen zur Verfügung gestellt werden, sofern nicht andere Belange dagegen stehen. In einer Studie für die Europäische Kommission von LS telecom/VVA/policy tracker wird empfohlen, diese Frequenzbänder zu harmonisieren (d. h. < 1GHz, 1-6 GHz, > 6 GHz). Es wird des Weiteren favorisiert, die Autorisierung in gleicher Weise vorzunehmen und wenn möglich diese Autorisierung nahezu zeitgleich vorzunehmen.

Eine derartige Harmonisierung der Frequenznutzungsbedingungen in gleichen Frequenzbändern wird von einigen Marktteilnehmern als notwendig angesehen, weil die Gerätehersteller und Equipmenthersteller für den Ausbau der Funknetze europaweit tätig sind. Dies gilt sowohl für den Eisenbahnsektor, die Gesundheitsindustrie als auch für Intelligente Transportsysteme. Auf diese Weise können kosteneffektiv Größenvorteile bei den Geräteherstellern realisiert werden. Die Interoperabilität erlaubt es zudem, dass vermehrt auf gesamter europäischer Ebene Erfahrungen und Lerneffekte realisiert werden können und bestimmte Dienste gar erst auf diese Weise dann auch europaweit nutzbar sind.

Zusätzlich wird in Richtung einer nahezu gleichzeitigen Zuteilung der Frequenzen für gleiche Anwendungen unter den gleichen technischen Standards in allen europäischen Ländern argumentiert. Somit ließen sich Interferenzproblematiken, die andernfalls bei zeitlich divergierenden Frequenzzuteilungen zu Einschränkungen der Frequenznutzung an den nationalen Ländergrenzen führen, vermeiden. In der Folge könnte eine effiziente und effektive Anwendung der zugeteilten nationalen Frequenzen herbeigeführt werden. Sofern die Frequenzen dann noch gleiche Laufzeiten haben, bestünde die Möglichkeit, die gleichzeitig auslaufenden Frequenznutzungsrechte in gleicher Weise zu reformieren und zu reorganisieren, um die Frequenzen dann erneut für neue bzw. erweiterte Nutzungsmöglichkeiten bereitzustellen. Hier soll aber nicht unerwähnt bleiben, dass eine

---

<sup>11</sup> Detaillierte Ausführungen zur internationalen, europäischen und deutschen Frequenzregulierung findet der Leser in WIK-Consult (2006): Flexibilisierung der Frequenzregulierung, Bad Honnef, (verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Studien/StudieFlexibilisierungFrequenzregulierung.pdf?blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Studien/StudieFlexibilisierungFrequenzregulierung.pdf?blob=publicationFile&v=2))

zeitlich harmonisierte Vergabe von Frequenzen zu deutlichen Verzögerungen führen könnte, sofern der langsamste Mitgliedsstaat das gesamte Tempo der Vergabe implizit vorgeben würde. Zudem ist ein solches Vergabesystem mit erheblichen Transaktionskosten verbunden.

Eine Harmonisierung ist jedoch nicht nur für Frequenzbereiche opportun, die lizenziert zugeteilt werden. Zur Förderung von Innovation und für die Entwicklung neuer Dienste ist eine Harmonisierung von allgemein zugeteilten Frequenzbereichen ebenfalls sinnvoll, damit auch hier hohe Anreize für die Entwicklung neuer Dienste geschaffen werden, weil im Falle des Erfolges und der möglichen Marktdiffundierung paneuropäische derartige Technologien bzw. Dienste vermarktet werden können.

### 6.2.2 Möglichkeiten der gemeinsamen Nutzung von Frequenzen (Frequenz-Sharing)

Autorisierungsregime legen fest, wer die Frequenzen wann, wo und wie nutzen darf. Auf diese Weise wird ebenfalls bestimmt, wer Frequenzen möglicherweise für IoT-Anwendungen nutzen kann. Es gibt verschiedene Autorisierungsregime für die Nutzung von Frequenzen. CEPT und RSPG bzw. RTR<sup>12</sup> haben hierbei die folgende Charakterisierung vorgenommen:

- 1) **Unlizenzierte Nutzung bzw. Allgemeinzuteilung:** In diesem Fall ist der Zugang zur Nutzung der Frequenzen offen. Wechselseitige Beeinträchtigungen der Nutzung müssen in Kauf genommen werden. Allgemeinzuteilungen können jedoch wie nachfolgend weiter unterteilt werden:
  - *Lizenzfreie Nutzung bzw. Allgemeinzuteilung:* In diesem Fall können die Frequenzen frei von zertifizierten Geräten genutzt werden, Beispiele hierfür sind Wi-Fi (Wireless Fidelity) mit geringer Leistung, Bluetooth, Short Range Devices, Satellitenempfänger und -sender für satellitengestützte Kommunikation. In diesem Fall werden die Nutzer von Seiten der Frequenzbehörde nicht notifiziert.
  - *Light licensing:* Dieses Lizenzierungsregime unterscheidet sich von der Allgemeinzuteilung darin, dass die Frequenznutzer sich anmelden müssen, bzw. eine Lizenz haben müssen. Im simplifizierten Fall bedeutet dies, dass lediglich eine Online-Registrierung notwendig ist. Beispiele hierfür sind PMSE<sup>13</sup>-Anwendungen, Amateurfunk, WiFi mit hoher Feldstärke außer Haus.
  - *Light Licensing (mit Einschränkung):* Auch hier handelt es sich um eine Allgemeinzuteilung, wobei es in Einzelfällen der Frequenzkoordinierung bedarf und die Anzahl der Nutzer beschränkt sein kann. Beispiele hierfür sind einige

---

<sup>12</sup> RTR (2017): Konsultation zum Vergabeverfahren 3,4 – 3,8 GHz, Wien am 13. Juli 2017. S. 28 – 29.

<sup>13</sup> Funkanwendungen des Durchsagefunks und Reportagefunks, Drahtlose Mikrofone, Drahtlose Kameras.

SAP Dienste und die Nutzung des 1.800 MHz DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) -Schutzbandes.

- *Private Commons*: In diesem Fall gewährt der Frequenznutzungsrechtsinhaber einen Allgemeinzugang zu seinen Frequenzen nach spezifizierten Konditionen.
- 2) **Spectrum-Sharing**: Eine ausgewählte gemeinsame Nutzung der Frequenzen: In diesem Fall gewährt der Frequenznutzungsrechtsinhaber anderen den Zugang zur Nutzung seiner Frequenzen.
- *Mietmodell auf kommerzieller Basis (Licensed Shared Access)*: In diesem Fall vermietet der Inhaber der Nutzungsrechte Spektrum an einen Sekundärnutzer für bestimmte Zeit (Leasing). Es handelt sich somit um eine Überlassung des Frequenznutzungsrechts, von Seiten des Inhabers des Frequenznutzungsrechts unter spezifischen Bedingungen. Der Vorteil dieses Sharing Regimes sind ein klar spezifizierter Interferenzrahmen, Investitionssicherheit für Sekundärnutzer und keine Regulierungskosten. Allerdings stellt sich die Frage, ob derartige Überlassungen des Frequenznutzungsrechts zustande kommen. Beispielsweise kann der Inhaber des Frequenznutzungsrechts eine längerfristige Bindung des Nutzungsrechts scheuen (Holdup-Problem).
  - *Tier-Modell (Primär- und Sekundär-Nutzer)*: In diesem Fall würde es Sekundärnutzern immer dann gestattet sein, Frequenzen zu nutzen, wenn sie den Inhaber der Nutzungsrechte nicht stören. Je nach Sekundärnutzung sind unterschiedlich aufwendige Koordinationsverfahren seitens der Frequenzbehörde erforderlich, die ggf. auch zu Verzögerungen bei der Nutzung der Frequenzen (einige Monate) durch den Inhaber der Nutzungsrechte führen können. Diese allfälligen temporären Einschränkungen wären jedenfalls bereits bei den Auflagen zu berücksichtigen und müssen zum Zeitpunkt der Vergabe der Frequenznutzungsrechte bekannt sein. Dieses Modell hat neben den Regulierungskosten vor allem den Nachteil, dass die Investitionssicherheit für eine längerfristige Sekundärnutzung nicht gegeben ist. Denkbar sieht die RTR das Modell jedenfalls für die temporäre Nutzung durch Funkkameras. Eine Reihe von Frequenzbehörden und die Industrie unternehmen Anstrengungen, Sharing-Modelle und Technologien zu entwickeln, die eine gemeinsame Nutzung ohne wechselseitige Störungen erlauben.
  - *Verpflichtendes Spectrum-Sharing zugunsten Dritter*: In diesem Fall erfolgen verpflichtende Auflage mit verpflichtendem Zugang zu Spektrum zu Gunsten regionaler Breitbandanbieter, um damit eine regionale Stückelung zu vermeiden. Eine solche Auflage ist mit hohen Regulierungskosten verbunden (Preisfestlegung, Entscheidung, welcher Nutzer im Konfliktfall Vorrang hat, etc.). Eine solche Auflage wird gemeinhin dann gerechtfertigt, wenn damit ein erhebliches Wettbewerbsproblem beseitigt wird.

Neben der exklusiven Nutzung von Frequenzen durch einen Frequenznutzungsrechtsinhaber gibt es noch weitere Modelle, in denen die Frequenzen auch durch Dritte genutzt werden können. Abgesehen von der Allgemeinzuteilung findet ein Spectrum-Sharing traditionell dort statt, wo Frequenzen vom Inhaber lediglich geografisch beschränkt genutzt werden (wie beispielsweise vom Militär) oder wo die Nutzung von White-Spaces, d. h. kurzfristig ungenutzter Frequenzen in der Lücke zwischen zwei aktiven Kanälen in Frage kommt (die dann beispielsweise von PMSE-Systemen genutzt werden).

Mittlerweile werden „geo-location“ Datenbanken entwickelt, in denen erfasst wird, wie die zugeteilten Frequenzen aktuell mit Blick auf Frequenzkanal, Feldstärke und die räumliche Ausbreitung genutzt werden. Auf diese Weise ist identifizierbar, wann Frequenzen ungenutzt sind und somit potentiell alternativ nutzbar wären. Mit Blick auf Europa hat Ofcom in UK bereits eine derartige geolokale Datenbasis implementiert, andere Mitgliedstaaten sind hier zurückhaltender. Es gibt vergleichbare Pilotstudien in Finnland, Frankreich, Italien und den Niederlanden. Mit der Weiterentwicklung von Techniken (Stichwort: Cognitive-Radio und Software-Defined-Radio) könnte hier eine flexible Nutzung von Frequenzen durch verschiedene Nutzer erfolgen.

Die Allgemeinzuteilung ist nach dem europäischen Gesetzesrahmen der allgemeine Standard für die Zuteilung von Frequenzen. Stattdessen wird eine individuelle Zuteilung der Frequenznutzungsrechte vorgenommen, wenn folgende Aspekte von entscheidender Bedeutung sind:

- Vermeidung von schädlichen Interferenzen,
- zur Gewährleistung einer hinreichenden technischen Qualität der Dienste,
- Sicherstellung einer effizienten Nutzung der Frequenzen,
- zur Erfüllung gesellschaftlicher Interessen (z.B. für militärische Anwendungen).

### *Spectrum-Sharing mit Blick auf 5G*

Grundsätzlich ist die Überlassung von Frequenzen (Leasing) ebenso wie Frequenzhandel bzw. eine Übertragung der Frequenznutzungsrechte rechtlich in den meisten europäischen Staaten, insbesondere auch in Deutschland, erlaubt. Gegenwärtig werden von SMAs (Spectrum Management Agencies)<sup>14</sup> die folgenden Auffassungen zu Spectrum-Sharing mit Blick auf 5G vertreten:

- Das Ergebnis der WRC-19 (Weltfunkkonferenz 2019) hat entscheidenden Einfluss auf die Bedeutung von Spectrum-Sharing.

---

<sup>14</sup> LS telcom, VVA, Policy Tracker (2017): Study on Spectrum Assignment in the European Union, A Study prepared for the European Commission, DG Communication Networks, Content & Technology.

- Spectrum-Sharing ist nur dann sinnvoll, wenn die mehrfache Nutzung zu einer intensiveren Nutzung führt und keine schädlichen Interferenzen resultieren.
- Spectrum-Sharing ist nur dann sinnvoll, wenn eine sporadische Nutzung oder eine lokal begrenzte Nutzung erfolgt.
- Für Frequenzen oberhalb von 30 GHz kann Spectrum-Sharing bedeutend sein, insbesondere in Frequenzlagen und geographischen Regionen, wo aktuell die Frequenzen wenig genutzt werden. Abhängig von den sich entwickelnden Technologien und Nachfrage nach Diensten kann dies geografisch, zeitversetzt oder über Technologien wie sogenannte "polite protocols" erfolgen.

Licence-Shared-Access (LSA) wird aktuell nur bedingt genutzt. Die SMAs sind derzeit auch skeptisch mit Blick auf dieses Konzept. Gegenwärtig werden Feldversuche in einigen europäischen Ländern durchgeführt:

- *Italien*: Pilot-Sharing-Systeme in dem 2,3 GHz Band für Mobilfunk
- *Niederlande*: Sharing-Experimente im 2,3 GHz Band für Mobilfunk und PMSE
- *Frankreich*: Sharing-Experimente im 2,3 Frequenzband für mobile und militärische Nutzungen
- *Finnland*: Sharing-Experimente im 2,3 Frequenzband zwischen PMSE und Mobilfunk.

In einer Befragung im Rahmen einer Studie für die europäische Kommission haben Verticals (Anwender)<sup>15</sup> mit Blick auf spezifische Anwendungen präferierte Autorisierungsregime genannt, die in der nachfolgenden Tabelle 9 angeführt sind.

Tabelle 9: IoT-Anwendungen und das von Seiten der Anwender präferierte Autorisierungsregime für Frequenzen

Anwendungen	Eigenschaften	Präferiertes Autorisierungsregime der Interessengruppen
Ultra-reliable low latency communications (URLLC). Anwendungen zur Aufrechterhaltung von Netzsystemen nach dem Auftreten eines Fehlers im Stromnetz	Fernverbindungen zu Versorgungsnetzen erforderlich	Private Allgemeinzuteilungen machbar sein um Fernverbindungen dieser Art zum Versorgungsnetz herzustellen. Der Inhaber des exklusiven Frequenznutzungsrechtes gewährt Zugang zu seinen Frequenzen für den Zeitraum, der zur Aufrechterhaltung notwendig ist

<sup>15</sup> LS telcom, VVA, Policy Tracker (2017): Study on Spectrum Assignment in the European Union, A Study prepared for the European Commission, DG Communication Networks, Content & Technology, S. 34, 35.

Anwendungen	Eigenschaften	Präferiertes Autorisierungsregime der Interessengruppen
Ultra-reliable low latency communications (URLLC): Kritische Infrastruktur (d. h. Hochspannungsversorgungsnetze)	Sind auf eine Ende-zu-Ende Dienstegarantie angewiesen (unabhängig von der Netzbelastung)	Individuelle exklusive Frequenznutzungsrechte erforderlich
Ultra-reliable low latency communications (URLLC): Anwendung zur Fabrikautomatisierung	Benötigen eine Ende-zu-Ende Dienstegarantie	Individuelle exklusive Frequenznutzungsrechte erforderlich
Ultra-reliable low latency communications (URLLC): Fehlerlokalisierung	Hoher Qualitätsstandard und gering Latenzzeit erforderlich	Individuelle exklusive Frequenznutzungsrechte
Ultra-reliable low latency communication (URLLC): Identifikationen in Versorgungsnetzen	Hohe Qualitätsanforderungen	Individuelle exklusive Frequenznutzungsrechte
Massive machine type communication (mMTC): Smart metering	Datensammlung von Meßpunkten mit Latenzanforderungen, die zwischen ein und mehreren Sekunden angegeben werden. Die Frequenzen werden dazu genutzt, um Informationen von entfernten Sensoren zu einem zentralen Punkt zu transferieren.	Derartige System können ohne dezidiert zugewiesene Frequenzen funktionieren. Shared Spectrum wäre wünschenswert. Solange kein Ausfall über mehrere Stunden besteht könnten auch allgemein zugewiesene Frequenzen genutzt werden.
Ultra-reliable low latency communications (URLLC): Transmission system operators (TSOs)	Der Frequenzbedarf ist nicht genau vorhersehbar. Dieser ist abhängig von Hochspannungsspitzen und den differenzierten Qualitätsanforderungen	Individuelle exklusive Frequenzen
Ultra-reliable low latency communications (URLLC): Zugkontrolle	Die Überwachung und Kontrolle von Zugbewegungen. Strenge Verfügbarkeits- und Qualitätsanforderungen, Interoperabilitätsanforderungen	Individuelle exklusive Frequenzen
Enhanced mobile broadband (eMBB): Hoher Datendurchlauf und Kapazität an lokalen Hotspots und überfüllten Regionen	Improved peak/average/cell-edge data rates, Kapazität und Flächendeckung	Individuelle exklusive Frequenzen, in Verbindung mit Allgemein zugewiesenen Lizenzen bzw. LSA in bestimmten Regionen
Ultra-reliable low latency communications (URLLC): andere Fälle wie ärztliche Fernberatung, intelligente Transportsysteme, Infrastrukturschutzsysteme	Neue kritische Anwendungen haben stringente Anforderungen an das Leistungsvermögen wie Latenz, Verfügbarkeit und Datendurchlauf	Individuelle exklusive Frequenzen

Quelle: Policy Tracker/VVA/LS telecom (2017)

Allerdings wurde von den befragten Verticals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass Allgemeinzuteilungen generell dann kein Problem sind, wenn aufgrund technischer Lösungen und bei der tatsächlichen parallelen Nutzung die Zuverlässigkeit und die erforderliche Qualität des Dienstes garantiert ist.

Die Regulierungsökonomien im Bereich Frequenzpolitik, Prof. Martin Cave und William Webb, konstatieren, dass Spectrum-Sharing bisher ausschließlich im 3,5 GHz Citizens Broadband Radio Service (CBRS) und in den TV White Spaces (TVWS) regulatorisch aktiv verfolgt wird.<sup>16</sup> Für die Zukunft sehen die Experten es als notwendig an, dass die SMAs aktiv Spectrum-Sharing durch eigene Initiativen und Vorgaben vorantreiben. Im Wesentlichen sehen diese dafür zwei Gründe

- Apparatus-Licensing, welches einem Unternehmen das exklusive Frequenznutzungsrecht zuteilt,
- Der mangelnde Wille von privaten und öffentlichen Frequenznutzungsrechtlern, Frequenznutzungen mit anderen zu teilen.

Grundsätzlich werden zwei Ansätze als opportun angesehen, Spectrum-Sharing voranzutreiben.

- Bei exklusiv zugeteilten Frequenzen sollte der Handel bzw. das Leasing von Frequenznutzungsrechten, in klar zugeschnittenen und wohldefinierten Einheiten erfolgen können, die die SMA vorgibt. Hierbei sollen die Erfahrungen derartiger Frequenznutzungsrechtsübertragungen und deren Implikation dokumentiert werden. Ein weiteres institutionelles Arrangement würde es erlauben, dass neben dem primären Frequenznutzungsrechtinhaber alternative Nutzer ungenutzte Frequenzen mitbenutzen dürfen ("overlay licence").
- Staatliche Institutionen sollten Experimente des "Spectrum-Sharings" fördern oder als Broker von Frequenznutzungen agieren. Insbesondere durch Feldversuche können das Potential aber auch die Risiken von Spectrum-Sharing im Detail ausgemacht werden.

Die Erarbeitung und Vorgabe regulatorischer Strukturen erscheint jedoch den genannten Autoren unabdingbar.

### 6.2.3 Ein neuer Ansatz der gemeinsamen Frequenznutzung aus den Vereinigten Staaten von Amerika

Bei der Vergabe der Frequenznutzungsrechte im 3.550 – 3.700 MHz Frequenzband (insgesamt 150 MHz) hat die Federal Communications Commission (FCC) einen neuen Ansatz zur gemeinsamen Nutzung der Frequenzen entwickelt.<sup>17</sup> Hierbei werden traditi-

---

<sup>16</sup> Policy Tracker (2017): Spectrum Sharing won't happen without strong regulatory push, by Dugie Standeford, 30 Octobre 2017.

<sup>17</sup> Siehe hierzu [https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-15-47A1.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-15-47A1.pdf).

onelle Frequenzzuteilungsparadigmen geändert. Frequenzbänder sollen von staatlichen und kommerziellen Nutzern gleichzeitig nebeneinander genutzt werden können, ebenso sollen exklusive und allgemeine Nutzungen in diesem Band nebeneinander möglich sein. In diesem Frequenzband gibt es drei Arten von Nutzern:

- “Incumbent users”, die gegenwärtig in diesem Frequenzbereich über Frequenznutzungsrechte verfügen. Diese werden für folgende Anwendungen genutzt: Militärische Radarsysteme und fester Satellitenfunk (Fixed Satellite Service (FSS))
- Priority Access Licence (PAL): Nutzer die für 10 MHz Frequenzblöcke exklusive Frequenznutzungsrechte für mobile Breitbandzugang (Citizen Broadband Radio Service) erwerben.
- Allgemeinzuteilte Frequenznutzungsrechte für mobilen Breitbandzugang in den verbleibenden Frequenzbereichen, in denen keine Zuteilung exklusiver Frequenznutzungsrechte erfolgte.

Frequenznutzungsrechte werden regional, in sogenannten “Census Tracts” vergeben. Gegenwärtig beträgt die Anzahl 74.000, mit der Zielsetzung ca. 4.000 Einwohner zu erfassen. Abhängig von der Bevölkerungsdichte variiert die Fläche dieser Gebiete von einer Quadratmeile bis zu 85.000 Quadratmeilen (siehe Fußnote 223 des FCC-Dokuments) Häufig orientieren sich die Grenzen auch an politischen Grenzen (z.B. Stadtgebieten) oder natürlichen Grenzen (d. h. Bergen und Flüssen).

In jeder Region werden maximal 70 MHz für Priority Access Licence vergeben. Ein einzelner Nutzer kann maximal 40 MHz an Frequenznutzungsrechten in einer Region erwerben. Sofern die Nachfrage nach derartigen exklusiven Lizenzen geringer ist, verringert sich der Umfang der hierfür bereitgestellten Frequenzen. Zunächst sollen die exklusiven Lizenzen für 3 Jahre zugeteilt werden.

Der Interferenzschutz ist abhängig von der Art der Lizenz. Militärische Radarsysteme und fester Satellitenfunk genießen priorisierten Interferenzschutz, gemäß ihren ursprünglichen Lizenzbedingungen. Exklusiv zugeteilte Frequenzen für mobiles Breitband genießen einen Interferenzschutz durch allgemein zugeteilte Frequenznutzungsrechte für mobiles Breitband. Diese müssen jedoch die Nutzungsbeschränkungen gegenüber den “Incumbent users” einhalten. Lizenznehmer für allgemein zugeteilte Frequenznutzungsrechte haben keinen spezifischen Schutz mit Bezug auf Interferenzen.

Die konkreten Frequenznutzungsrechte in spezifischen Lagen werden mittels eines Software Tools (“automated channel assignment by a Spectrum Access System (SAS)“, Seite 90 f.) zugeteilt. Heutzutage haben moderne Netzwerke die Steuerungsmöglichkeit, automatisch eine spezifische Kanalselektion vorzunehmen.

#### 6.2.4 Weitere Elemente bei der individuellen Zuteilung von Frequenznutzungsrechten bei knappen Frequenzen im Wege einer Auktion

Nachfolgend stellen wir zentrale Elemente dar, die bei der Vergabe von knappen Frequenzen, die auch für IoT-Anwendungen genutzt werden können bzw. sollten, im Wege einer Auktion zu beachten sind. (Bemerkung: Wenngleich Auktionen das vorrangige Verfahren zur Vergabe von knappen Frequenzen sind, so ist dennoch zu bemerken, dass in Ausnahmefällen beispielsweise bei Kritischen Infrastrukturen eine Ausschreibung bzw. Beauty-Contest erwogen werden kann.) Solche finden dann Anwendung, wenn Frequenzen knapp sind und die Frequenznutzungsrechte weitgehend exklusiv zugeteilt werden sollen. Dies betrifft zum einen das Auktionsdesign, die Mindestgebote, die Frequenznutzungsdauer und die Versorgungsverpflichtungen. Es werden die wesentlichen Prinzipien dargestellt, die bei der Ausgestaltung dieser Elemente beachtet werden sollten, die insbesondere auch mit Blick auf IoT-Anwendungen berücksichtigt werden sollten.

#### 6.2.5 Auktionsdesign

Auktionsdesigns sollen objektiv, nachvollziehbar, transparent und diskriminierungsfrei sein. Darüber hinaus sollten sie dazu führen, dass diejenigen, die Frequenznutzungsrechte erhalten, diese am effizientesten nutzen können. Ferner sollte das Verfahren einfach verständlich, also möglichst wenig komplex sein. Auktionsergebnisse mit Blick darauf, wer welche Frequenznutzungsrechte erwirbt und welchen Preis dafür zahlt, sollten allen Auktionsteilnehmer bekannt sein, bevor sie entscheiden, keine neuen Gebote abzugeben. Auktionen sollten als ein effizienter Verhandlungsmechanismus ausgestaltet sein. Im Sinne des Coase Theorems bedingt dies, dass die Auktion dadurch gekennzeichnet ist, dass die Eigentumsrechte in mehrstufigen Auktionen in jeder Runde klar definiert sind und allen anderen bekannt. Auf diese Weise werden bei vollständiger Information der relevanten Aspekte in dem Verhandlungsmechanismus der Auktion sämtliche externen Effekte internalisiert und ein effizientes Verhandlungsergebnis generiert. Die transparente Traditionelle Simultan Mehrstufige Auktion (TSMA) wie sie in Deutschland angewendet wurde, hat diese Eigenschaften. (Zur detaillierten Erörterung dieser Thematik siehe WIK-Consult (2017): Sinnvolle Prinzipien bei der Ausgestaltung eines Frequenzauktionsdesigns, Policy Paper, Bad Honnef, 30. Mai 2017 [http://www.wik.org/fileadmin/Studien/2017/Prinzipien\\_Frequenzauktionen\\_A1.pdf](http://www.wik.org/fileadmin/Studien/2017/Prinzipien_Frequenzauktionen_A1.pdf))

### *Frequenznutzungsdauern*

Frequenznutzungsdauern sollten so gestaltet sein, dass effiziente Investitionszyklen generiert werden. Hierbei sollten die Techniken und Anwendungen beachtet werden, die voraussichtlich mittels dieser Frequenzen genutzt werden sollten. Insbesondere sollten sie hinreichend lange sein, damit eine Amortisierung der Netzinvestitionen möglich ist. Mit Blick auf IoT ist zudem zu beachten, dass für einige Technologien noch keine Standardisierung vorliegt und erhebliche Unsicherheit mit Blick auf die Netzinvestitionen bestehen. Zudem mag die anfängliche Adaption der Dienste gering sein, sodass die Erlösgenerierung erst nach einiger Zeit möglich ist, andererseits aber Netzinvestitionen in hohem Maße quasi vorab getätigt werden müssen.

In diesem Zusammenhang wurde von der Europäischen Kommission zunächst vorgeschlagen, dass die Mindestlaufzeit für versteigerte Frequenznutzungsrechte bei elektronischen Kommunikationsdiensten 25 Jahre sein sollte. Alternative Ansätze sehen eine unbefristete Zuteilung vor, wobei jährlich eine Form der Überprüfung mit Blick auf die effiziente Nutzung der Frequenzen stattfindet, sodass in begründeten Fällen eine Verlängerung des Nutzungsrechtes untersagt werden kann.

### 6.2.6 Reservepreise bzw. Mindestgebote

Die Start- oder Mindestpreise in Auktionen können einen Einfluss auf die Endpreise in einer Auktion haben. Endet die Auktion in einer effizienten Frequenzzuteilung, so ist aus regulierungspolitischer Sicht das primäre Ziel der Frequenzzuteilung erreicht. Sofern hohe Auktionspreise eine negative Implikation auf Netzinvestitionen und den Netzausbau haben, so sind diese aus regulierungspolitischer Sicht zu vermeiden. Von daher gibt es ein starkes Argument dafür, möglichst geringe Mindestgebote zu setzen, die sich an den administrativen Kosten der Frequenzzuteilung bzw. den minimalen Gebühren der Frequenzgebührenordnung orientieren. Dieser Grundsatz gilt insbesondere mit Blick auf 5G und IoT, da bezüglich der Netzausbaukosten und der generierten Enderlöse hohe Unsicherheiten bestehen. Gründe dafür sind noch nicht ausgereiftes Equipment und noch nicht verfügbare Preise für Infrastrukturelemente und eine hohe Unsicherheit mit Blick auf die Nachfrage, sowohl hinsichtlich der spezifisch nachgefragten Dienste als auch der Zahlungsbereitschaft für selbige. Im Extremfall können in Verbindung mit weitgehenden Netzausbaupflichtungen sogar negative Startpreise erwogen werden. Negative Preise sind eine spezifische Form eines staatlichen Fördermechanismus. Niedrige Mindestgebote sind insbesondere auch dann zu wählen, wenn die Frequenzen für Anwendungen genutzt werden sollen, die eine hohe Bedeutung für die Daseinsvorsorge haben.

### 6.2.7 Netzaufbauverpflichtungen

Das Thema zu geringer Netzversorgung wird in einem jüngsten Report von BEREC und der RSPG aufgegriffen.<sup>18</sup> In diesem wird primär die mangelnde mobile Breitbandversorgung mit Blick auf Indoor, auf Straßen und in fahrenden Zügen sowie in unprofitablen Gebieten adressiert. Auch mit Blick auf IoT-Anwendungen wird eine derartige Sichtweise in Zukunft von Relevanz sein. Ohne drahtlose Konnektivität werden die Potentiale von IoT nicht gehoben. Versorgungsaufgaben in Verbindung mit der Vergabe von Frequenznutzungsrechten können als ein Instrument von Seiten des Staates genutzt werden, volkswirtschaftlich wünschenswerte Netzabdeckungen zu realisieren. Auf diese Weise wird eine (volkswirtschaftlich) effiziente Nutzung der Frequenzen aus Sicht des Staates insbesondere in der Fläche implementiert. Aufgrund auferlegter bindender Verpflichtungen können Unternehmen dazu veranlasst werden, Netzversorgungen zu realisieren, die andernfalls aufgrund eines rein unternehmerischen Kalküls nicht erfolgen würden. Dies wird dann ohne einen komplexen, mit hohem administrativen Aufwand verbundenen Fördermechanismus erreicht. Sofern die Frequenzen versteigert werden, haben die Auktionsteilnehmer die Möglichkeit, Wertminderungen der Frequenznutzungsrechte aufgrund der Versorgungsaufgaben in ihre Gebote einzupreisen. Derartige Wertminderungen werden dann in den finalen Auktionspreisen reflektiert. De facto entstehen den erfolgreichen Bietern/Frequenznutzern somit keine finanziellen Nachteile sofern der verbleibende Wert der Frequenzen die Höhe der Mindestgebote übersteigt. Dieser Zusammenhang wird von den Netzbetreibern jedoch nicht vollständig reflektiert. So findet sich in einer kürzlich veröffentlichten Studie im Auftrag der Europäischen Kommission folgende Aussage bezüglich der Einführung von 5G:

„In general, MNOs argued that licence conditions for 5G need to be structured in a manner conducive to optimising the potential for private investment. This would include low reserve prices in auctions, long license durations and rollout conditions that align with customer expectations (e.g. general service obligations and not band specific coverage obligations) [...]. MNOs argue that for 5G millimeter wave bands, due to the short-range propagation characteristics, coverage should not be regulated.”<sup>19</sup>

In der Studie kam des Weiteren zum Ausdruck, dass es unter den Mobilfunknetzbetreibern keine klare Haltung bezüglich der Ausgestaltung von Versorgungsverpflichtungen gibt. Im Ergebnis kommen die Autoren der Studie zu der Aussage, dass marktfreundliche Versorgungsaufgaben für die Entwicklung von 5G förderlich seien.<sup>20</sup>

---

<sup>18</sup> BEREC (2017): BEREC and RSPG joint report on Facility mobile connectivity in „challenge areas“, 31 October, 2017, BoR (17 (185), verfügbar unter: [http://berec.europa.eu/eng/news\\_and\\_publications/whats\\_new/4618-berec-rspg-joint-report-on-facilitating-mobile-connectivity-in-challenge-areas-berec-and-rspg-see-your-views-ends-28-november-2017](http://berec.europa.eu/eng/news_and_publications/whats_new/4618-berec-rspg-joint-report-on-facilitating-mobile-connectivity-in-challenge-areas-berec-and-rspg-see-your-views-ends-28-november-2017).

<sup>19</sup> LS telcom et al. (2017), Study on Spectrum Assignment in the European Union. Studie im Auftrag der Europäischen Kommission, S. 38.

<sup>20</sup> LS telcom et al. (2017), Study on Spectrum Assignment in the European Union. Studie im Auftrag der Europäischen Kommission, S. 11.

Gerade auch vor dem Hintergrund obiger Ausführungen sind bei der Festsetzung von Versorgungsaufgaben folgende Aspekte zu prüfen bzw. beachten:

- Versorgungsaufgaben sollten nicht übermäßig sein, sodass nicht erforderliche Investitionen unterbleiben. Diese würden andernfalls implizit durch einen niedrigeren Auktionserlös von Seiten des Staates subventioniert.
- Weitgehende, nicht näher spezifizierte Versorgungsaufgaben könnten sich negativ auf den Infrastrukturwettbewerb auswirken. Versorgungsaufgaben sollten ausreichend Raum für eine wettbewerbliche Differenzierung der Mobilfunknetzbetreiber geben.
- Die mit der Versorgungsaufgabe verbundenen Kosten können nur schwer von den betroffenen Unternehmen im Vorfeld der Vergabe von Frequenzen genau quantifiziert werden. So gibt es noch keine Preise für die Hardware. Zudem ist die Standardisierung von 5G noch nicht abgeschlossen, so dass noch Unsicherheit bezüglich der technischen Leistungsfähigkeit besteht. Um hier der Unsicherheit zu begegnen, wäre zu prüfen, ob und wie die Flächen, in denen entweder eine Duplizierung von Infrastruktur technisch oder wirtschaftlich nicht möglich ist, oder sogar ein eigenwirtschaftlicher Ausbau gänzlich ausscheidet, (kartografisch) identifiziert werden können.
- Die nunmehr zu vergebenen Frequenzen im Bereich 3,4-3,8 GHz werden aufgrund ihrer Ausbreitungseigenschaften, die mit denen von Frequenzen im Bereich 2 GHz vergleichbar sind, in der Regel zur Bereitstellung von Kapazität verwendet. Typischerweise werden Anwendungen, die eine Flächenversorgung bedingen und im Vergleich weniger Kapazität bedürfen, im Frequenzbereich unter 1 GHz realisiert. Im Hinblick auf 5G sind hier die 700 MHz-Frequenzen relevant, für die es jedoch keine Versorgungsaufgabe gibt, die beispielsweise sämtliche Landstraßen erfasst. 3,4-3,8 GHz-Frequenzen können somit eine Ergänzung der Basisversorgung im 700 MHz-Band komplementieren.
- Weitgehende Versorgungsaufgaben müssen im Zusammenhang mit den Potentialen des Infrastruktur-Sharings gesehen werden. Gerade in den Regionen oder Abschnitten, in denen eine Duplizierung von Infrastruktur nicht möglich ist oder eine eigenwirtschaftliche Lösung ausscheidet, könnte Infrastruktur-Sharing dazu führen, dass die Versorgung mit Mobilfunkdiensten dennoch möglich ist. Entsprechende regulatorische Vorgaben beispielsweise für ein regionales Sharing sind zu prüfen. Hierbei ist zu prüfen, in wieweit ein Spektrum-Sharing den eigenwirtschaftlichen Ausbau befördern kann.

Eine administrative Festsetzung der Versorgungsaufgaben sollte transparent, nachvollziehbar und vor dem Hintergrund belastbarer Fakten ausformuliert werden. Um diese Kriterien zu erfüllen, sind die Versorgungsaufgaben in der Fläche und bezüglich der technischen Parameter möglichst exakt zu definieren. Hierbei ist die Evolution der 5G-Technologie mitzubeachten. Dies könnte Anpassungen im zeitlichen Verlauf erzwingen. Insoweit wären Öffnungsklauseln zu diskutieren. Sofern diese Kriterien erfüllt sind, ist

zu vermuten, dass die Lösung auf Akzeptanz im Markt stößt und einer gerichtlichen Überprüfung standhält.

## **7 Frequenzpolitische Initiativen auf europäischer Ebene mit Blick auf IoT**

### **7.1 Die aktuelle perspektivische Sichtweise der RSPG mit Blick auf Frequenzen für IoT**

Im November 2016 hat die Radio Spectrum Policy Group eine Stellungnahme zur Frequenzpolitik für IoT inklusive M2M veröffentlicht:<sup>21</sup> Die Radio Spectrum Policy Group (RSPG)<sup>22</sup>, ist das Beratergremium in frequenzpolitischen Fragen der Europäischen Kommission. Es unterstützt und berät die Kommission in frequenzpolitischen Fragen, bei der Koordinierung der politischen Ansätze sowie bei Maßnahmen, die für die Errichtung eines harmonisierten europäischen Binnenmarktes notwendig sind. Die RSPG ist auf der Grundlage eines Beschlusses der Kommission (2002/622/EC) eingerichtet worden. Mitglieder der Gruppe sind Repräsentanten der EU-Mitgliedsstaaten, Repräsentanten der assoziierten Staaten sowie der Staaten mit Kandidatenstatus. Darüber hinaus arbeiten Vertreter des EU-Parlamentes, der Europäischen Konferenz der Verwaltung für Post und Telekommunikation (CEPT) sowie des Europäischen Instituts für Telekommunikationsnormen (ETSI) mit.

Die nachfolgend angeführten Sichtweisen der RSPG wurden von einer Arbeitsgruppe in Zusammenarbeit mit der Working Group on Intelligent Transport Systems (ITS) und 5G erarbeitet. IoT wird als heterogen angesehen, welches vielfältige Anwendungen umfasst und unterschiedliche funktionale Anforderungen hat. Mit Blick auf die Zurverfügungstellung von Frequenzen gibt es nicht eine einzelne Lösung, da die technischen Erfordernisse sich extrem unterscheiden können, beispielsweise hinsichtlich der erforderlichen Daten, der Zuverlässigkeit, der Reichweite und der Strahlleistung (output power).

1. IoT-Anwendungen sind dramatisch gewachsen und gegenwärtig existiert bereits eine Vielzahl von Frequenzlösungen, die für diverse Anwendungsfälle verfügbar sind. Das kontinuierliche Wachstum von IoT-Anwendungen generiert eine zunehmende Nachfrage nach Frequenzen. Der Umfang und der Typ der Frequenznutzungsrechte, die zur Deckung der Nachfrage erforderlich sind, sind von den technischen Erfordernissen und den Anwendungsfällen abhängig. Die RSPG intendiert in diesem Zusammenhang die Nachfrage nach Frequenzen für

---

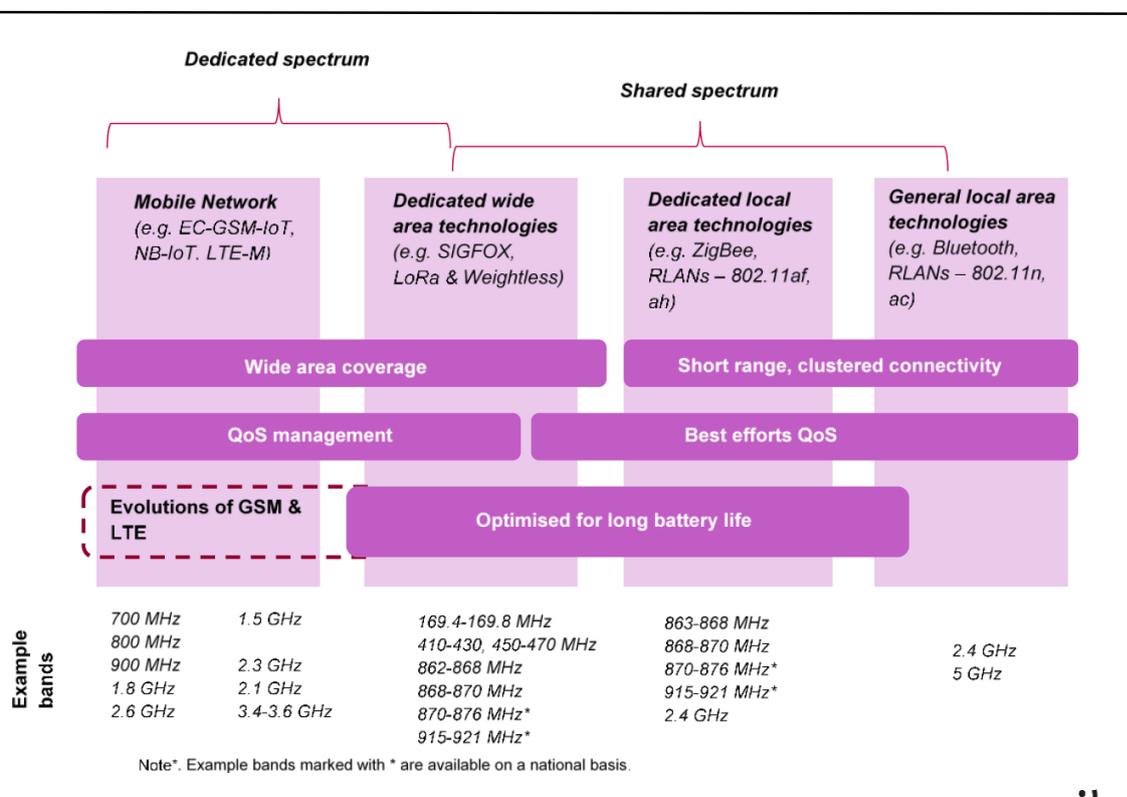
<sup>21</sup> Radio Spectrum Policy Group (2016): A Spectrum Roadmap for Internet-of-things (IoT) including M2M, RSPG17-006 FINAL, 9. November 2016. (verfügbar unter: [https://circabc.europa.eu/sd/a/a0faa1a5-ca41-42c3-83d5-561b197419b0/RSPG17-006-Final\\_IoT\\_Opinion.pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/a0faa1a5-ca41-42c3-83d5-561b197419b0/RSPG17-006-Final_IoT_Opinion.pdf)).

<sup>22</sup> Siehe [https://de.wikipedia.org/wiki/Radio\\_Spectrum\\_Policy\\_Group](https://de.wikipedia.org/wiki/Radio_Spectrum_Policy_Group).

IoT-Anwendungen in der evolutorischen Entwicklung insbesondere in Bezug auf Frequenzen unterhalb von 1 GHz zu beobachten.

2. Eine spezifische Zuordnung und Widmung von Frequenzbändern für IoT wird von Seiten der RSPG als nicht erforderlich angesehen. Der Zugang zu Frequenzen für IoT kann auf vielfältige Weise erfolgen: Technische Harmonisierungsmaßnahmen, welche die Nutzung von IoT erlauben, spezifische Autorisierungsregime und die Schaffung von Frequenznutzungsrechten gleichzeitig in einer größeren Anzahl von Mitgliedsstaaten der Europäischen Union.
3. Gegenwärtig fordert die Industrie den Zugang zu 800-900 MHz Frequenzen für lizenzfreie Anwendungen (d. h. Smart Metering, Smart Home Anwendungen etc.). Die RSPG empfiehlt die weitere Frequenzharmonisierung für Short Range Devices, welche für verschiedenartige IOT-Anwendungen in diesem Bereich genutzt werden können. Hierbei soll die Priorität auf bestehende lizenzfreie Frequenzbänder gelegt werden und solche die Skalenerträge im Wege einer Harmonisierung ermöglichen. Ein besonderes Augenmerk ist auf den Schutz bestehender Frequenznutzungen, insbesondere staatliche Nutzungen und die Kommunikation im Eisenbahnbereich, zu legen.
4. Ökonomische Skalenerträge sind bedeutsam für sich entwickelnde Technologien. Europa profitiert diesbezüglich von vorgenommenen Harmonisierungen spezifischer Frequenzbänder. Dies betrifft Frequenzbänder für Short Range Devices (SRD) (inkl. WiFi) und Low Power Wide Area Networks, sowie die Frequenzen (inkl. 5G), die für zellularen Mobilfunk bzw. öffentlichen mobilen Breitbandzugang zur Verfügung stehen.
5. Neue Anwendungsarten wie ultra-zuverlässige private Netzwerke in lokal beschränkten Bereichen (z.B. in Krankenhäusern, smarte Fabriken und bei öffentlichen Versorgungsunternehmen) erfordern neue harmonisierte Nutzungsbedingungen für IoT. Betriebsfunk (PMR) und andere Nutzer erfordern kontinuierlichen Zugang zu nutzbaren Frequenzen, insbesondere auch um neue innovative Dienste zu nutzen.
6. Die Zusammenarbeit von Mitgliedstaaten kann mit dazu beitragen, ökonomische Skalenerträge zu realisieren. Die Möglichkeit der satellitengestützte Datenübertragung, die komplementär zu terrestrischem IoT erfolgt, würde von einem solchen IoT-Ecosystem profitieren. Diesbezüglich hat die Industrie Aktivitäten zur Harmonisierung von 800-900 MHz Frequenzen gestartet.
7. Die RSPG schlägt einen Fahrplan für den IoT-Frequenzverfügbarkeit in Europa vor, welche die verschiedenen Nutzungsfälle und Szenarien umfasst. Die RSPG sieht, dass eine weitergehende Harmonisierung und weitere Maßnahmen mit Vorsicht angegangen werden sollten. Hierbei sei zu beachten, dass derartige Maßnahmen immer mit Opportunitätskosten verbunden sind. Zudem sind die unterschiedlichen Situationen der nationalen Mitgliedstaaten hierbei zu beachten. Die nachfolgende Abbildung zeigt, welche Frequenzbänder aktuell im Fokus der RSPG mit Blick auf IoT-Anwendungen sind.

Abbildung 3: RSPG-Wegweiser für IoT-nutzbare Frequenzen



Quelle: RSPG

Bestimmte Frequenzen können lizenzfrei allerdings nicht interferenzfrei und ungeschützt im Wege einer Allgemeinzuteilung genutzt werden. Diese werden vornehmlich mit geringer Leistung genutzt. Mit Blick auf IoT sind dies die Frequenzbänder 169 MHz, 433 MHz, 863-870 MHz, 2400 – 2483,5 MHz, 5150 - 5350 MHz und 5470 – 6725 MHz. Hierbei verwendete Technologien wie Wi-Fi und Bluetooths sind insbesondere für Gesundheits- und Fitnessmessgeräte, tragbare Geräte oder Smart Home Geräte geeignet, die nur kurze Reichweiten benötigen und keine Anforderung an eine geringe Latenzzeit haben. Diese Technologien umfassen Bluetooth Low Energy (Bluetooth smart), IEEE 802.11ah, IEEE 802.13,4, ZigBee, z-Wave, etc. mit geringer Reichweite und weitreichenderen Technologien wie Sigfox, Weightless, Ingenu, LoRaWan, etc.

- Um Frequenzen in hinreichendem Umfang für IoT-Anwendungen zur Verfügung zu stellen, ist ein komplementärer Mix von exklusiven und gemeinsamen Frequenznutzungsrechten erforderlich. Es wird hervorgehoben, dass es ein einheitliches Autorisierungsregime und einheitliche technische Nutzungsbestimmungen für alle IoT-nutzbaren Frequenzen nicht adäquat ist, da diese den unterschiedlichen Aspekten und der möglichen Nachfrage nicht Rechnung würden.

9. IoT umfasst einen größeren Umfang an Anwendungen und Nutzungsfällen als diejenigen, die heutzutage durch mobile zellulare Netzwerke generiert werden. 5G ermöglicht neue IoT-Anwendungen. Einige spezifische IoT-Funktionalitäten werden von Beginn an durch 5G umgesetzt werden. Funktionalitäten diesbezüglich umfassen network slicing<sup>23</sup>, geringen Energieverbrauch und Skalierbarkeit.
10. Frequenzen, die für zellularen Mobilfunk (ECS – elektronische Kommunikationsdienste) vergeben wurden, können auch für sich entwickelnde IoT-Anwendungen und IoT-Dienste genutzt werden. Dem Prinzip der Technologie-neutralität folgend, sollte sichergestellt werden, dass die harmonisierten technischen Lösungen mit denen von IoT-Anwendungen kompatibel sind. In diesem Zusammenhang überprüft die ECC gegenwärtig, wie die gegenwärtigen technischen Bedingungen für die ECS harmonisierten Frequenzbänder angepasst werden können, damit NB-IoT, LTE basiertes IoT und Breitband IoT in diesen Frequenzbändern genutzt werden kann.
11. Frequenzbehörden sollten IoT-Interessenten die möglichen Optionen aufzeigen, Frequenznutzungsrechte für IoT-Anwendungen zu erhalten. Angesichts der heterogenen Natur von IoT ist davon auszugehen, dass diese keinen vollständigen Überblick zu bestehenden Frequenzmanagementsystemen haben. Ein derartiges Informationssystem sollte die für IoT-nutzbaren Frequenzen auflisten und die technischen Nutzungsbestimmungen für die jeweiligen Frequenzbänder beinhalten. Die Mitglieder der RSPG, d. h. die nationalen Frequenzmanagementbehörden, überprüfen ihr Frequenzmanagementsystem für IoT-Anwendungen und beabsichtigen eine Erklärung wie die Möglichkeiten für die Nutzung von IoT-Anwendungen sind.

Daneben ist die Stellungnahme der RSPG zu 5G von Relevanz, die parallel zur angeführten Stellungnahme veröffentlicht wurde, da 5G auch für IoT-Anwendungen genutzt werden kann.<sup>24</sup> Hinsichtlich der Entwicklung von 5G sieht die RSPG den Fokus auf Frequenzen in niedrigeren Lagen, um auf diese Weise eine weitreichende Flächendeckung mit Blick auf verbesserten und weiterentwickelten Breitbandzugang zu schaffen, und zudem für M2M-Kommunikation, welche eine universelle Netzabdeckung verlangt, eine geringe Latenzzeit hat und eine geringe Komplexität. Das Ziel ist die Markteinführung von 5G in großem Umfang bis 2020.

In der nachfolgenden Tabelle 10 sind die zukünftigen Frequenzbänder gelistet, die die RSPG als prioritär für 5G-Anwendungen in Europa sieht.

---

<sup>23</sup> „Network slicing allows a network operator to provide dedicated virtual networks with functionality specific to the service or customer over a common network infrastructure. This it will be able to support the numerous and varied services envisaged in 5G.“ (Siehe <https://5g.co.uk/guides/what-is-network-slicing/>).

<sup>24</sup> Radio Spectrum Policy Group 2016): Strategic Roadmap towards 5G for Europe, Opinion on spectrum related aspects for next-generation wireless systems (5G), RSPG16-032, 9. November 2016..

Tabelle 10: Priorisierte Frequenzbänder für 5G-Anwendungen in Europa

Frequenzband	Bemerkungen
<b>Unterhalb von 1 GHz</b>	Frequenzbänder, die als Mobilfunkfrequenzbänder technologieneutral zugeteilt wurden, hier insbesondere die 700 MHz Frequenzen (Digitale Dividende II).
<b>3,4 – 3,8 GHz</b>	Harmonisiertes Frequenzband für 5G-basierte Dienste. Dieses Band kann primär vor 2020 für die Etablierung von 5G-Diensten genutzt werden.
<b>24,25 – 27,5 GHz</b>	Priorisiertes Pionier-Band oberhalb von 24 GHz. Harmonisierungsmaßnahmen in diesem Band sind vor 2020 anzustreben. Mitgliedstaaten sollten dieses Band für 5G zur Verfügung stellen, wobei mit in Betracht zu ziehen ist, dass dieses Band voraussichtlich regional beschränkt genutzt werden wird, zunächst in den dichtbesiedelten urbanen Gebieten. Gegenwärtig wird dieses Band primär für Richtfunkstrecken von Mobilfunkunternehmen genutzt, sodass der Übergangsprozess (Verlagerung von Frequenznutzungsrechten für Richtfunk) gute Rahmenbedingungen hat.
<b>31,8 – 33,4 GHz</b>	Wird von der RSPG als vielversprechend zur Nutzung von 5G für die Zukunft angesehen. Weitere Untersuchungen sind erforderlich hinsichtlich der zukünftigen Verfügbarkeit, potentieller globaler Harmonisierung und der Festsetzung der technischen Nutzungsbestimmungen, letzteres insbesondere mit Blick auf die Nichtbeeinträchtigung von passiven Diensten in angrenzenden Frequenzbändern. Um diesem Prozess nicht entgegen zu wirken, sollten keine neuen Frequenznutzungsrechte in diesen Bereich verlagert werden.
<b>40,5 – 43,5 GHz</b>	Wird als ein geeignetes Frequenzband angesehen. Allerdings ist eine Interessenabwägung zwischen der Nutzbarkeit für den Mobilfunksektor einerseits und den Satellitensektor andererseits vorzunehmen. Um diesem Prozess nicht entgegenzuwirken, sollten keine neuen Frequenznutzungsrechte in diesen Bereich verlagert werden.

Quelle. RSPG (2016)

## 7.2 Aktuell laufende frequenzpolitische Maßnahmen zur Förderung von IoT auf europäischer Ebene

### 7.2.1 Lockerung der technischen Nutzungsbedingungen für IoT im Frequenzband 862-868 MHz und eine Initiative um Teile des Bandes 870-876 MHz und 915-921 MHz verfügbar zu machen

Im CEPT Report 59 von 2016 wurden die technischen Nutzungsbestimmungen zur Harmonisierung der technischen Nutzungsbedingungen für Short Range Devices geändert.

Ferner vertritt die RSPG die Auffassung, dass das Band 915-921 MHz Potential für eine globale Harmonisierung hat, um auf diese Weise ökonomische Skalenerträge zu ermöglichen.

### 7.2.2 Schaffung von Nutzungsmöglichkeiten im Band 1900 – 1920 MHz für IoT

Dieses zum Teil wenig genutzte Frequenzband wurde von CEPT für BDA2GC (Broadband Direct Air-to-ground Communications) als alternative Nutzungsmöglichkeit identifiziert. Die ECC Decision (15)02, vom 3. Juli 2015, zielt auf Harmonisierungsmaßnahmen für BDA2GC in diesem Band ab.

### 7.2.3 Standardisierungsmaßnahmen und Ermöglichung der Nutzung dieser Technologien in den für Mobilfunk zugeteilten Frequenzbändern

Die meisten M2M Anwendungen nutzen die GPRS-Technologie. Neue Technologien werden jedoch erwogen:

- Erweiterte Reichweite (GSM für IoT) (EC-GSM-IoT), Leistungssteigerung zu EGPRS für M2M, global zellular IoT für alle GSM-Märkte,
- LTE-eMTC, LTE Evolution für massive MTC. Genehmigt unter 3GPP Release 13.
- Schmalbandige Frequenztechnologie auf der LTE-Plattform für die Bereitstellung von low cost massive MTC (NB-IoT).

Diese Technologien werden im Rahmen von 3GPP für IoT standardisiert. 3GPP Release 15 „pre-5G“ ist für Juni 2018 anvisiert, und Release 16 bis Ende 2019. Die Europäische Kommission sollte darauf hin wirken, dass die Mobilfunkfrequenzen in allen Bereichen für NB-IoT, LTE-Mu und EC-GSM-IoT nutzbar sind.

#### 7.2.4 Nutzung von Betriebsfunk-Frequenzbändern für IoT und weitere Frequenzen für derartige Anwendungen

Netze für Betriebsfunk in den Frequenzbereichen von 20 MHz bis 942 MHz, insbesondere die Frequenzbänder 80 MHz, 150 MHz und 400 MHz, beinhalten bereits seit einigen Jahren Lösungen für M2M Anwendungen.

Typische M2M Anwendungen, die über Betriebsfunk implementiert sind, sind: Sendungskritische und mit Blick auf Sicherheit sensible Anwendungen (d. h. im Bereich Transport, Energie etc.).

Insbesondere das 400 MHz Frequenzband ist geeignet für IoT- und M2M-Verbindungen, die sensibel sind. Diese Frequenzbänder haben Ausbreitungseigenschaften, die eine kostengünstige Flächenabdeckung (geringe Anzahl an Standorten) sowie eine gute Inhouse-Versorgung ermöglichen. Eine Herausforderung stellt die Nutzung neuer Technologien wie NB-IoT in Bezug auf die Kanalbandbreite (d. h. 200 kHz anstelle von 25 kHz) bzw. Kapazitätsbeschränkungen dar.

Zukünftig sind noch weitere Frequenzbänder für PMR/IoT zu identifizieren. Ein Kandidat ist hierbei das Frequenzband 2.670 MHz bis 2.620 MHz. Auch die derzeitigen ECS-Bänder sind potentielle Kandidaten für die zusätzliche Nutzung durch PMR/IoT.

#### 7.2.5 Richtfunkfrequenzen bzw. Punkt-zu-Mehrpunkt Frequenzen für IoT

In Mitgliedstaaten werden bereits M2M-Richtfunk bzw. Punkt-zu-Multipunkt System verwendet. Der Vorteil derartiger UHF-Verbindungen besteht in der Reichweite von bis bzw. mehr als 30 km.

#### 7.2.6 Ermöglichung von IoT-Diensten mittels Satellitenfunk

Satellitenfunk ermöglicht die Versorgung von Gebieten, welche durch terrestrische Netze nicht abgedeckt werden. Satellitenbasierte IoT-Dienste können komplementär zu terrestrischen Diensten eingesetzt werden. Solche Dienste, bei denen eine Flächenversorgung notwendig ist, sind beispielsweise in der Forstwirtschaft oder im Logistikbereich anzutreffen. Für Unterbänder im Bereich 800-900 MHz gab es Harmonisierungsaktivitäten, welche eine Datensammlung upstream ermöglichen soll.

#### 7.2.7 Vorbereitungen für die WRC-2019 mit Blick auf IoT-Dienste

Auf der Weltfunkkonferenz (World Radio Conference (WRC)) 2015 wurden neue Frequenzbänder identifiziert, die für IMT-Anwendungen als Basis für 5G genutzt werden

sollen. Nach einem Beschluss sind dies gemäß IMT-2020 Frequenzbänder unterhalb von 6 GHz:

- 700 MHz Band (694-790 MHz) wurde als global nutzbares Frequenzband identifiziert
- Das L-Band (1.427 – 1.518 MHz) global, wobei der Bereich 1452 – 1492 MHz in Europa ausgenommen ist.
- Das C-Band 4-8 GHz: 3.400 – 3.600 MHz ausgeweitet auf Europa und Region 2- und -3 Länder.

Ferner wurde eine Resolution erlassen, dass auf der nächsten Weltfunkkonferenz im Jahre die nachfolgenden Frequenzbänder als Kandidaten für neue IMT-Bänder auf der Tagesordnung stehen werden:

- 24,25 – 27,6 GHz
- 31,8 – 33,4 GHz
- 37 – 490,5 GHz
- 40,5 – 43,5 GHz
- 45,5 – 47 GHz
- 47 – 50,2 GHz
- 50,4 – 52,6 GHz
- 66 – 76 GHz
- 81 -86 GHz.

Man kam ferner überein, dass die Frequenzbänder zwischen 6 GHz und 24 GHz nicht als Kandidatenbänder für IMT auf der Tagesordnung stehen werden. Ebenso wird der Frequenzbereich 27,5 – 29,5 GHz, das sogenannte Satellitenband, ausgenommen.

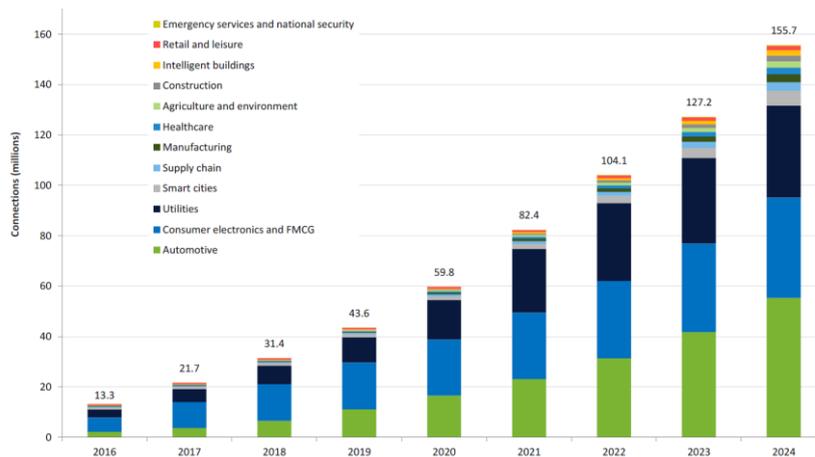
## **8 Frequenzpolitische Initiativen und Ansätze zur Förderung von M2M-Dienste in Großbritannien**

### **8.1 Der Markt für IoT-Dienste in Großbritannien**

Im Jahre 2016 wurden die meisten IoT-Verbindungen durch tragbare Endgeräte wie Smart-Uhren oder Smart-Messgeräte generiert. In Großbritannien fallen ca. 60 % in diese Kategorie. Andere Anwendungen werden nach und nach adaptiert, insbesondere auch solche mit elementaren Nutzungen und erheblichen kommerziellen Treibern, wie beispielsweise Smart-Straßenbeleuchtung, um die Betriebskosten zu senken. Nach Einschätzung von Cambridge Consult (2016) wird das Wachstum an IoT-Verbindungen insbesondere durch den Automobilsektor, Konsumentenelektronik und FMCG (Fast Moving Consumer Goods) sowie den Dienstleistungssektor bestimmt. Für das Jahr

2024 werden 13,3 Millionen IoT-Verbindungen prognostiziert. Die durchschnittliche Wachstumsrate beträgt demnach 36 % pro Jahr. Nachfolgende Abbildung 4 präsentiert die prognostizierten IoT-Verbindungen für 12 verschiedene Anwendungssektoren.

Abbildung 4: Prognostizierte IoT-Verbindungen für Großbritannien



Quelle: Cambridge Consultants 2016, S. 5,

## 8.2 Staatliche IoT-Initiativen in Großbritannien

Im Dezember 2014 hat das UK Government Office of Science im Rahmen eines Review<sup>25</sup> zehn Empfehlungen an die britische Regulierung zur Förderung von IoT formuliert, um Großbritannien in diesem Bereich zu einem Weltmarktführer zu machen (Government Office of Science (2016): The Internet of Things: making the most of Second Digital Revolution: A report by the UK Government Chief Scientific Adviser). Hierbei wurden acht verschiedene Bereiche identifiziert.

### Auftragsvergabe

Die Regierung muss ein fachkundiger und strategischer Kunde für das Internet der Dinge sein. Sie sollte eine fundierte Kaufkraft dazu nutzen, um Best Practices zu definieren und Technologien zu nutzen, die offene Standards verwenden, zugleich interoperabel und sicher sind. Sie sollte alle Marktteilnehmer, vom Start-Up bis zum etablierten Marktteilnehmer, ermutigen, derartige Dienste zu entwickeln. Es sollten skalierbare Pilotprojekte unterstützt werden, um Entwicklern eine entsprechende Umgebung und Infrastruktur zu bieten, damit sie neue Anwendungen ausprobieren und implementieren können.

25 Siehe <https://www.gov.uk/government/publications/internet-of-things-blackett-review>.

### *Frequenzen und Netze*

Die Regierung sollte gemeinsam mit Experten eine Fahrplan-Roadmap für eine Internet-of-Things-Infrastruktur entwickeln. Die Regierung sollte mit der Industrie, der Regulierungsbehörde und der Wissenschaft zusammenarbeiten, um die Konnektivität und Kontinuität sowohl für stationäre als auch für mobile Geräte zu maximieren, unabhängig davon, ob sie von Unternehmen oder Verbrauchern genutzt werden.

### *Standards*

Unter Beteiligung der Industrie und britischer Forschungsgemeinschaften sollte die Regierung die Entwicklung von Standards unterstützen, die Interoperabilität, Offenheit für neue Marktteilnehmer und Sicherheit gegen Cyberkriminalität und Terrorismus gewährleisten. Regierung und andere Behörden können Experten beauftragen, um Teilnehmer an Demonstratorprogrammen dazu anzuregen, Standards zu entwickeln, die inoperable und sichere Systeme gewährleisten. Die Regierung sollte eine proaktive Rolle bei der internationalen Harmonisierung der Standards übernehmen.

### *Fähigkeiten und Forschung*

Fachkräfteförderung beginnt in der Schule. Der Mathematikunterricht in der Sekundarstufe II sollte sich von einem Schwerpunkt auf der Berechnung per se in Richtung Problemlösung mit Hilfe von Berechnungen entwickeln. Regierung, Bildungssektor und Unternehmen sollten sich vorrangig um die Entwicklung qualifizierter Arbeitskräfte und die Bereitstellung leistungsfähiger Datenwissenschaftler für die Wirtschaft, den dritten Sektor und den öffentlichen Dienst bemühen.

### *Daten*

Offene Schnittstellen zur Anwendungsprogrammierung sollten für alle öffentlichen Einrichtungen und regulierten Industrien geschaffen werden, um eine innovative Nutzung öffentlicher Daten in Echtzeit zu ermöglichen, wobei den Anstrengungen im Energie- und Transportsektor Vorrang eingeräumt werden sollte.

### *Regulierung und Gesetzgebung*

Die Regierung sollte ein flexibles und verhältnismäßiges Modell für die Regulierung in vom Internet der Dinge betroffenen Bereichen entwickeln, um schnell und effektiv auf den technologischen Wandel reagieren zu können. Der für Informationsfragen zuständige Kommissar wird im Bereich personenbezogene Daten eine Schlüsselrolle spielen. Die Regulierungsbehörden sollten für alle Entscheidungen verantwortlich sein, die die Anwendung des Internet der Dinge beschleunigen oder verzögern, die in den Geltungsbereich der Regulierung fallen.

### *Sicherheit*

Das Centre for Protection of National Infrastructure (CPNI) and Communications and Electronics Security Group (CESG) sollte mit der Industrie und internationalen Partnern

zusammenarbeiten, um auf der Grundlage von "Security by Default"-Grundsätzen für Sicherheit und Datenschutz vorbildliche Praktiken zu vereinbaren.

### *Koordination*

Der Digital Economy Council sollte einen Internet-of-Things-Beirat schaffen, der den privaten und den öffentlichen Sektor zusammenbringt. Der Verwaltungsrat hätte folgende Aufgaben: Koordinierung der Finanzierung und Unterstützung der einschlägigen Technologien durch die Regierung und den Privatsektor, Förderung der öffentlich-privaten Zusammenarbeit, wo dies die Effizienz und Effektivität der Umsetzung des Internet der Dinge maximieren wird; Zusammenarbeit mit der Regierung, um die politischen Entscheidungsträger zu beraten, wenn eine Regulierung oder Gesetzgebung erforderlich ist; Aufsicht und Sensibilisierung für potenzielle Risiken und Schwachstellen im Zusammenhang mit der Umsetzung des Internet der Dinge aufrechtzuerhalten; Förderung des öffentlichen Dialogs. Um wirksam zu sein, sollte dieses Gremium von einem Sekretariat mit ausreichender Mittelausstattung unterstützt werden.

Im Januar 2016 wurde PETRAS<sup>26</sup> Internet of Things Research Hub ins Leben gerufen. Finanziert wird dieses Zentrum mit einem Budget von ca. GBP 23 Mio. vom Engineering and Physical Science Research Council (EPSRC) und Beiträgen von Partnern. In diesem Netzwerk arbeiten führende Universitäten und Unternehmenspartner zusammen, um kritische Themenfelder im Zusammenhang mit IoT zu erörtern. Diese Themenfelder umfassen Privatsphäre, Ethik, Vertrauen, Zuverlässigkeit, Akzeptanz und Sicherheit. Insgesamt laufen 22 Projekte in sieben verschiedenen Anwendungsbereichen: Design und Verhalten, Gesundheit und Pflege, Identifizierung, Infrastruktur, Versorgung- und Kontrollsysteme sowie Transport und Mobilität.

## **8.3 Frequenzpolitische Initiativen mit Blick auf IoT**

OFCOM ist in Großbritannien für das effiziente Frequenzmanagement zuständig. Dies umfasst die Abschätzung von zukünftigem Bedarf nach Spektrum sowie die Wahl geeigneter Mechanismen für die Zuteilung von Frequenznutzungsrechten. Am 27. Januar 2015 veröffentlichte OFCOM eine Erklärung, wie die Behörde Investitionen in das Internet der Dinge fördern will: „Promoting Investment and Innovation in the Internet of Things“

Zunächst wurde konstatiert, dass der aktuelle Bedarf durch nutzbare Frequenzen abgedeckt werde, insbesondere aufgrund typischerweise geringe Datenraten. Diese nutzten zum damaligen Zeitpunkt insbesondere Bluetooth und WiFi. Die dafür benötigten Frequenzen waren frei zugänglich. Ferner wurde die Entwicklung von neuen effizienten Technologien wie Bluetooth Smart oder ein für IoT-Anwendungen optimiertes Wi-Fi (802.11ah) realisiert.

---

<sup>26</sup> Siehe <https://www.petrashub.org/>

Der Markt für IoT-Anwendungen gelte als erst in den Anfängen und es bestehe eine hohe Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Nachfrage. Von daher sei es erforderlich die sich anbahnenden Entwicklungen genau zu beobachten und mit einer gewissen Vorausschau entspricht zu reagieren.

Darin werden folgende Initiativen mit Blick auf die IoT-Frequenzpolitik angeführt:

- Die Frequenzbänder 870/915 MHz sollen für IoT verfügbar werden.
- Lizenzbedingungen für die sogenannten Mobilfunkfrequenzen sollen soweit liberalisiert werden, dass es möglich ist, in diesen auch IoT-Anwendungen zu nutzen.<sup>27</sup> Ferner wurde darauf hingewiesen, dass Frequenzen im Bereich 2,3 GHz und 3,4 – 3,6 GHz in Zukunft für 5G zugeteilt würden, und diese auch für IoT-Anwendungen nutzbar würden.
- Die Notwendigkeit von weiterem Spektrum wird für die Zukunft gesehen. Die Frequenzbänder 2,4 GHz und 5 GHz werden als positive Kandidaten für IoT-Anwendungen gesehen.
- Es soll eine kontinuierliche Beobachtung der Frequenznutzung von IoT-Anwendungen insbesondere in den lizenzfreien Bändern erfolgen. Auf diese Weise soll ein möglicher zusätzlicher Bedarf identifiziert werden.

OFCOM weist jedoch auf internationale Initiativen zur Harmonisierung von Frequenznutzungsrechten und die Entwicklung von Standards hin, um auf diese Weise Skaleneffekte zu generieren und die Kosten für die Geräte zur Nutzung zu verringern. Hierbei wurde auf die CEPT-Initiative hingewiesen, 2x3 MHz an 700 MHz Frequenzen (733-736 MHz und 788-791 MHz) für IoT-optimierte mobile Technologien (GERAN Release 13) zur Verfügung zu stellen.

Im Jahr 2016 hat OFCOM VHF-Frequenzen für IoT zur Verfügung gestellt.

- Nach einer Anhörung kam OFCOM zu dem Schluss, dass die Frequenzbänder 55-68 MHz, 70,5-71,5 MHz und 80,0-81,5 MHz für IoT-Dienste und M2M-Anwendungen genutzt werden können.<sup>28</sup> Diese Frequenzbänder sind aktuell auf europäischer Ebene für diese Anwendungen nicht harmonisiert.<sup>29</sup> Aufgrund dessen erfolgten mit den angrenzenden Ländern (insb. Frankreich) Frequenzkoordinierungsabkommen nach dem Konzept der „preferential frequencies“.

---

<sup>27</sup> Hier wird auf technologische Entwicklungen hingewiesen wie beispielsweise LTE Kategorie 0 in 4 G-Netzen oder GERAN in 2G-Netzen, welche für geringere Datenraten und weniger komplexe Geräte nutzbar ist.

<sup>28</sup> Zu diesem Zeitpunkt wurde Telemetry bereits für die Überwachung und Veränderung von Energieerfordernissen in Energienetzen und im Schienentransport verwendet. Aufgrund der Ungeeignetheit für Breitbandanwendungen soll die bis dahin gültige Kanalbandbreite von 12,5 kHz auf 4,8 kbps<sup>-1</sup> verringert werden.

<sup>29</sup> Aktuell werden diese Frequenzbänder für pan-European-Land-Mobile-Dienste genutzt (siehe CEPT Recommendation T/R 25-08).

- Gleichzeitig wurden die BR-Lizenzen geändert, sodass diese nunmehr BR Produkte, die auch M2M/IoT umfassen, und bestehende BR-Produkte erfasst werden. Dies war erforderlich, weil vorherige Lizenzen ausschließlich auf die Übertragung von Sprache fokussierten. Spezifische Technische Parameter dieser Lizenz werden fallweise – sofern notwendig – angepasst. In diesem technischen Rahmen sind die Frequenzen frei nutzbar.
- OFCOM hat eine exklusive Homepage für Anwender eingerichtet, die Zugang zu Frequenzen haben wollen, die für IoT-Dienste genutzt werden können.

Die Bänder sind für schmalbandige IoT-Dienste und M2M-Anwendungen mit geringer Datenrate geeignet. Exklusive Frequenznutzungsrechte werden nicht als notwendig angesehen.

#### **8.4 Verfügbare Frequenzen für IoT-Anwendungen in Großbritannien**

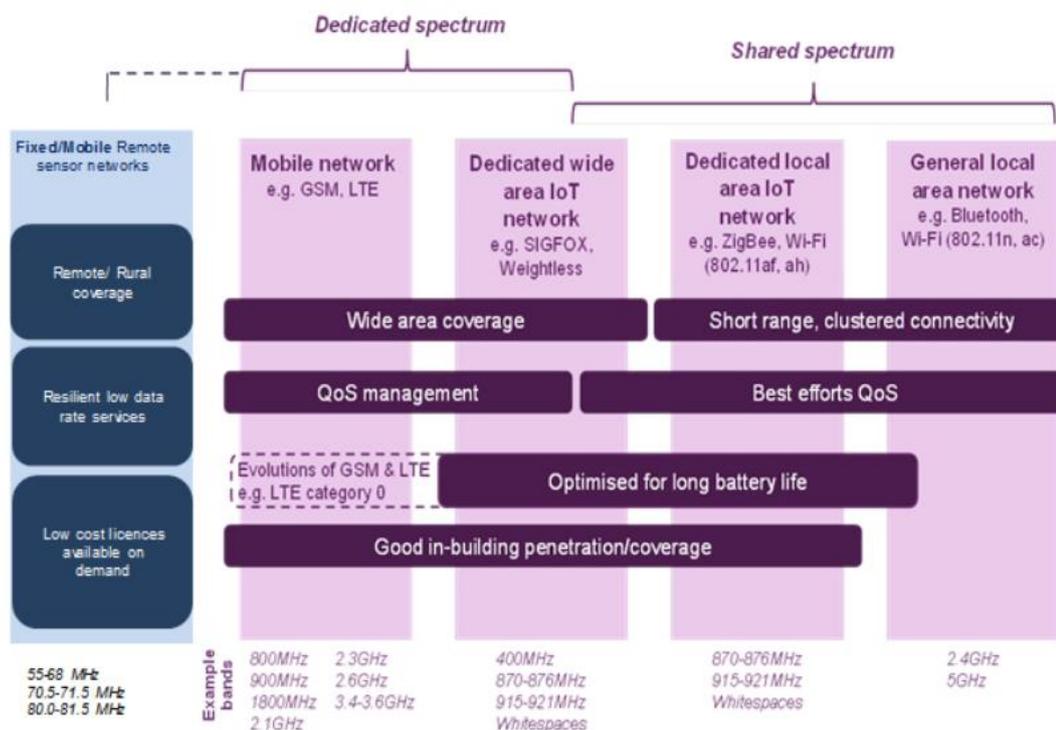
OFCOM definiert Internet of Things (IoT) als ("The interconnection via the Internet of computing devices embedded in everyday objects, enabling them to send and receive data.")<sup>30</sup>

Verschiedene Frequenzbereiche stehen für IoT-Anwendungen in Großbritannien zur Verfügung, die exklusiv oder in gemeinsamer Nutzung mit anderen für IoT verwendet werden können. Diese Nutzungsrechte sind entweder lizenzfrei oder bedürfen einer spezifischen Lizenz (Wireless Telegraphy Act licence). Von den in der nachfolgenden Abbildung 5 gelisteten Frequenzbereichen sind diejenigen oberhalb von 800 MHz für Business Ratio Internet of Things lizenzfrei nutzbar.

---

<sup>30</sup> Siehe hierzu <https://www.ofcom.org.uk/manage-your-licence/radiocommunication-licences/internet-of-things>.

Abbildung 5: Frequenzbereiche, die in Großbritannien aktuell für IoT-Dienste zur Verfügung stehen



Quelle: OFCOM

Frequenznutzungsrechte, die über eine Business-Radio-Internet-of-Things-Lizenz erworben werden können, sind in den folgenden Frequenzbereichen angesiedelt: 55,75625-60 MHz, 62,75625-64,8 MHz, 64,8875-66,2 MHz, 70,5-71,5 MHz und 80,0-81,5 MHz.

Die Lizenzierung erfolgt auf zwei unterschiedliche Weisen:

- **Technische Zuteilungen:** Diese Frequenzzuteilung erfolgt für spezifische Standorte, von denen aus Frequenzen genutzt werden. Die Frequenznutzung kann in diesem Fall von geringer (d. h. innerhalb eines Gebäudes) oder hoher (d. h. Bezirk oder Landkreis) Reichweite sein. Die Lizenzgebühr beträgt in derartigen Fällen 75 engl. Pfund pro 25 kHz pro Standort.
- **Flächendefinierte Zuteilungen:** In diesem Fall erhält der Lizenznehmer das exklusive Frequenznutzungsrecht für ein Gebiet. Dies kann ein 50 qm Planquadrat, ein Landkreis (county) oder das gesamte Gebiet Großbritanniens sein. Die Frequenzgebühr ist abhängig von der Frequenzlage, dem Frequenzumfang und der räumlichen Ausdehnung des Frequenznutzungsrechtes.

Technische Nutzungsbestimmungen beispielsweise mit Blick auf die „maximum effective radiated power permissible“ sind in dem Dokument Interface Requirement 2044 spezifiziert.

## **9 Frequenzpolitische Herausforderungen mit Blick auf IoT-Dienste in Deutschland**

### **9.1 Generelle Prinzipien für die Behandlung von IoT**

Frequenzen sollten einer effizienten Nutzung zugeführt werden. Dies gilt insbesondere auch unter Einbeziehung von drahtlosen IoT-Diensten als eine potentielle Frequenznutzung. Frequenzregulierung und Maßnahmen sollten praktikabel, objektiv, transparent und nachvollziehbar sein sowie wettbewerblichen Belangen Rechnung tragen. Soweit wie möglich sollten die Erwerber von Frequenznutzungsrechten Planungssicherheit über die Nutzung haben. Ferner sollten andere Elemente wie Frequenzgebühren, Nutzungsaufgaben etc. so ausgestaltet sein, dass es hohe Investitionsanreize für den Netzaufbau bzw. Netzausbau gibt. Dieser Grundsatz sollte eine Umsetzung in den Frequenznutzungsplänen auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene Ausdruck finden. Hierbei gilt es Frequenzbereiche zu identifizieren, in denen IoT-Anwendungen zugelassen werden und diese auf europäischer und internationaler Ebene, soweit dies sinnvoll ist, zu harmonisieren insbesondere auch mit Blick auf technische Standardisierungen. Ebenso sollte die konkreten Zuteilungen der Frequenznutzungsrechte in Verbindung mit den konkreten Frequenznutzungsbedingungen (d. h. technische Nutzungsbestimmungen, Versorgungsaufgaben, Frequenz-Sharing, Laufzeiten der Frequenznutzungsrechte, Frequenznutzungsgebühren bzw. Mindestgebote) diesen Maßstäben folgend ausgestaltet werden. Hierbei gilt es ein angemessenes Mix an exklusiven und gemeinsamen Nutzungen zu ermöglichen.

### **9.2 Spezifische Themenfelder der Frequenzpolitik für IoT-Dienste aus deutscher Sicht**

#### **9.2.1 Mitwirkung in internationalen Gremien zur Schaffung eines IoT-freundlichen Frequenz-Ecosystems**

Wesentliche Rahmenbedingungen für die Frequenznutzung, insbesondere auch in Bezug auf IoT-Anwendungen werden auf internationaler Ebene geschaffen. International auf der ITU-Ebene, und dort im Rahmen der World Radio Conference, die 2019 das nächste Mal stattfindet. Der daran anknüpfende europäische Frequenznutzungsplan, technische Standardisierungen und Harmonisierungen erfolgen auf europäischer Ebene in den dafür etablierten Institutionen. Die deutschen Vertreter der zuständigen deut-

schen Institutionen in diesen Gremien sollten kreativ darauf hinwirken, dass genügend Frequenzen für IoT nutzbar sind. Als führende hochtechnisierte Nation hat Deutschland diesbezüglich sicherlich ein sehr weitgehendes Interesse. Insbesondere gilt es dabei mitzuwirken, die von der Radio Spectrum Policy Group anvisierten Ziele in die Tat umzusetzen.

### 9.2.2 Zukunftsgerechte Änderung der nationalen Frequenznutzungspläne zur Ermöglichung von IoT-Diensten

Frequenznutzungspläne sollten so ausgestaltet sein, dass überall dort wo IoT-Anwendungen regulierungsökonomisch mit Blick auf eine effiziente Nutzung der Frequenzen sinnvoll sind, ermöglicht werden. Entsprechend sind die Nutzungspläne für Frequenzen auf nationaler Ebene so zu ändern bzw. anzupassen, dass die sich entwickelnden Technologien für drahtlose IoT-Dienste überall dort wo dies sinnvoll ist, eingesetzt werden können. Parallel dazu sollte die Bundesnetzagentur, dem Beispiel Ofcom folgend, eine Informationsplattform generieren und öffentlich bereitstellen, welche den Anwendern eine komplette Liste der Frequenzbereiche listet, in denen IoT-Anwendungen möglich sind, und welche Frequenznutzungsbestimmungen dort bestehen.

### 9.2.3 Transparente und zugängliche Frequenznutzungsdatenbanken

Für eine effiziente Nutzung der Frequenzen scheint es sinnvoll wie in Großbritannien geolokale Datenbanken zu generieren, in denen erfasst wird, wie die zugeteilten Frequenzen aktuell mit Blick auf Frequenzkanal, Feldstärke und räumlich genutzt werden, etc. Zum einen erhält die Behörde auf diese Weise ein Bild über die tatsächliche Frequenznutzung. Ferner liefert dies für potentielle Nutzer die Informationsbasis für eine gemeinsame Nutzung von Frequenzen, die durch angemessene Frequenz-Sharing-Regime gestützt werden kann (siehe nächstes Kapitel).

### 9.2.4 Entwicklung von angemessenen Frequenz-Sharing-Systemen

Die gemeinsame Nutzung von Frequenzen, sieht man von bestimmten Allgemeinzuteilungen z.B. für Wifi und Bluetooth-Anwendungen ab, ist, wie in Kapitel 8.2.2 ausgeführt ist, aktuell nur begrenzt möglich. Neue Technologien (z.B. Cognitive Radio) ermöglichen es, dass zeitlich variabel genutzte Frequenzbänder von mehr als einem Nutzer genutzt werden können. Auch regional ist in einigen Bereichen die Nutzung der Frequenzen höchst unterschiedlich. Hier gilt es innovative Konzepte des Frequenz-Sharings zu entwickeln. Spectrum-Sharing sollte durch Initiativen und Vorgaben der Bundesnetzagentur vorangetrieben werden.

### 9.2.5 Adäquate Frequenzzuweisungen mit Blick auf das öffentliche Interesse

Es muss gewährleistet sein, dass für Rettungsdienste, Notrufdienste, Militär und andere Institutionen von herausragendem öffentlichen Interesse in hinreichendem Maße Frequenzspektrum zur Verfügung steht. Kritische Anwendungen können auch hierzu gehören. Sofern bestimmte Arten der privaten Nutzung als meritorische Güter angesehen werden, sollte auch gewährleistet sein, dass dies durch die Frequenzregulierung nicht konterkariert wird.

Mit Blick auf IoT-Dienste kann dies implizieren, dass bestimmte Arten von Anwendungen als derartige meritorische Dienste angesehen werden können. Ein Smart-Grid-Netz, welches als essentiell für die Energiewende angesehen wird, und dedizierter Frequenzen bedarf, um die Qualitätsanforderungen zu realisieren, oder ein BoS-Netz mit vielfältigen IoT-Anwendungen, mag ein solches Beispiel sein. Sofern diese Sichtweise von staatlicher Seite vertreten wird, ist es geboten, exklusive Lizenzen für solche Anwendungen zur Verfügung zu stellen.

## 10 Fazit

Das Internet der Dinge (IoT – Internet of Things) und Machine-to-Machine (M2M)-Kommunikation werden in Zukunft zunehmend an Bedeutung gewinnen. In unterschiedlichen Branchen ist zu erwarten, dass derartige Anwendungen verstärkt zum Einsatz kommen, um beispielsweise Prozesse oder die Produktion von Gütern effizienter zu gestalten. Viele IoT-Anwendungen basieren auf einer drahtlosen Kommunikation. Hierzu bedarf es der Nutzung von Frequenzen, über die die Daten übermittelt werden.

Die Bundesnetzagentur als nationale Frequenzmanagementbehörde steht hier vor der Herausforderung dafür Sorge zu tragen, dass Frequenzen in hinreichendem Umfang, in adäquaten Frequenzlagen, zeitgerecht, mit adäquaten technischen und sonstigen Nutzungsbestimmungen für IoT-Anwendungen zur Verfügung stehen. Dies bedingt, dass zunächst auf internationaler und dann insbesondere europäischer Ebene geeignete Frequenzbänder identifiziert und auch harmonisiert werden. Hierzu hat die Radio Spectrum Policy Group bereits eine Roadmap erstellt. Technische Standardisierungen beispielsweise für NB-IoT und 5G, wo IoT ein Teil der potentiellen Nutzung ist, laufen bereits in den entsprechenden europäischen Gremien (d. h. CEPT, etc.). Aufgrund der Dynamik technischer Entwicklungen und Unsicherheit mit Blick auf die Adaption der verschiedenen Anwendungen werden hierbei kontinuierlich Anpassungen und Modifikationen erforderlich sein. Neben der Änderung der Frequenznutzungspläne auf nationaler Ebene, in Anpassung auf Entwicklungen auf internationaler Ebene und zur Ermöglichung von IoT-Anwendungen in spezifischen Frequenzbändern in technologieneutraler Weise, wird die besondere Herausforderung für die Bundesnetzagentur darin bestehen, geeignete Frequenzzuteilungsregime zu generieren. Kritische Infrastrukturen, die hohe Anforderungen bspw. an die Latenzzeit haben, sollten Frequenzen nutzen, für die es keine Allgemeingenehmigungen gibt. Anwendungen mit geringer Reichweite und sehr geringen Anforderungen können auf allgemeinzuteilte Frequenzen zurückgreifen. Zweifelsohne gilt es von Seiten der Bundesnetzagentur die Initiative zu ergreifen, um ein detailliertes Verständnis über alternative Formen des Frequenz-Sharings zu entwickeln, und als angemessen identifizierte Regime in den jeweiligen Frequenzbereichen pro-aktiv umzusetzen. Unumgänglich erscheint es aktuell, dass die Bundesnetzagentur eine Informationsplattform erstellt, auf der für Dritte im Detail dokumentiert ist, welche Frequenzbänder für IoT-Anwendungen, in welcher Weise nutzbar sind.

## ANHANG A

Allgemeine Anforderungen an ein Mobilfunknetz		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sicherstellung der priorisierten Ende-zu-Ende-Übertragung der Kommunikationsdienste</li> <li>- Sichere Verfügbarkeit der Kommunikation bei Stromausfällen, Notfall- und Krisensituationen</li> <li>- Bedarfsorientierte Funknetzabdeckung zur sicheren Erreichung der Anlagen der Energiewirtschaft,</li> <li>- Ausreichende Funktonalität bzw. Skalierbarkeit, um große regionale und überregionale Gruppen von Anlagen zu steuern</li> <li>- Gute Durchdringung von Gebäuden, insbesondere zur Erreichbarkeit der innenliegenden Gateways in den Kellern</li> <li>- Geringe Latenz- und Verbindungsaufbauzeiten, insbesondere für Smart-Grid-Anwendungen</li> <li>- Hohe Stabilität und Verfügbarkeit der Kommunikationsdienste</li> <li>- Geringe Bitfehlerraten, insbesondere im Uplink für Smart-Meter-Anwendungen</li> </ul>		
Technische Anforderungen		
Art der Anforderung	NS	MS
Min Verfügbarkeit (Jahresmittel bezogen auf Einzelverbindungen)	99 %	
Max. Wiederherstellungszeit (bezogen auf Basisstation)	12 h	
Gleichzeitiges Schalten für Gruppen: 10.000 Anlagen/3 Min.	ja	nein
Max. Antwortzeit TK	<<1s	
Max. Übertragungsverzögerung (z.B: Sicherheits-Updates GW)	24 h	
Min. Datenrate pro Gerät (netto)	64 kBit/s	
Bidirektionalität 12 h	ja	
Schutzbedarf/IT-Sicherheit	hoch	
Monitoring Anlage/Fernwartung	ja	
IPv4-Abwärtskompatibilität	ja	
Min. Verfügbarkeit (räumlich, realisiert über diese Technologie)	95 %	99 %
IPv6	ja	outdoor
Verkehrsklassen und QoS	ja	

Quelle: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.<sup>31</sup>

<sup>31</sup> BDEW (2015): Betreibermodell für ein Mobilfunknetz in der Energiewirtschaft, Positionspapier, Berlin 2. Oktober 2015.

## Literaturverzeichnis

- BDEW (2015): Betreibermodell für ein Mobilfunknetz in der Energiewirtschaft, Positionspapier, Berlin 2. Oktober 2015.
- BEREC (2017): BEREC and RSPG joint report on Facility mobile connectivity in „challenge areas“, 31 October, 2017, BoR (17 (185), verfügbar unter: [http://berec.europa.eu/eng/news\\_and\\_publications/whats\\_new/4618-berec-rspg-joint-report-on-facilitating-mobile-connectivity-in-challenge-areas-berec-and-rspg-see-your-views-ends-28-november-2017](http://berec.europa.eu/eng/news_and_publications/whats_new/4618-berec-rspg-joint-report-on-facilitating-mobile-connectivity-in-challenge-areas-berec-and-rspg-see-your-views-ends-28-november-2017).
- Büllingen, Franz / Börnsen, Solveig (2015): Marktorganisation und Marktrealität von Machine-to-Machine-Kommunikation mit Blick auf Industrie 4.0 und die Vergabe von IPv6-Nummern, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 400, August 2015.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): 5G-Strategie für Deutschland – Eine Offensive für die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für 5G-Netze und -Anwendungen, 2017
- Cambridge Consultants für OFCOM (2017): Review of latest developments in the Internet of Things, 7 March 2017.
- Ericsson (2016): The Mobility Report, November 2016.
- Ericsson (2017): White Paper: 5G, Enabling the transformation of industry and society, Januar 2017
- FCC (2015): Amendment of the Commission's Rules with Regard to Commercial Operations in the 3550-3650 MHz Band, FCC 15-47, GN Docket No. 12-354, 21. April 2015, verfügbar unter: [https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-15-47A1.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-15-47A1.pdf).
- GSMA (2015): The Mobile Economy Europe 2015.
- LS telcom, VVA, Policy Tracker (2017): Study on Spectrum Assignment in the European Union. Studie im Auftrag der Europäischen Kommission, DG Communication Networks, Content & Technology.
- Policy Tracker (2017): Spectrum Sharing won't happen without strong regulatory push, by Dugie Standeford, 3
- Radio Spectrum Policy Group (2016): A Spectrum Roadmap for Internet-of-things (IoT) including M2M, RSPG17-006 FINAL, 9. November 2016.
- Radio Spectrum Policy Group (2016): Strategic Roadmap towards 5G for Europe, Opinion on spectrum related aspects for next-generation wireless systems (5G), RSPG16-032, 9. November 2016.
- RTR (2017): Konsultation zum Vergabeverfahren 3,4 – 3,8 GHz, Wien, 13. Juli 2017.
- WIK-Consult (2005): Flexibilisierung der Frequenzregulierung, Studie für die Bundesnetzagentur, Bad Honnef, Dezember 2005



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

- Nr. 349: Christine Müller, Christian Growitsch, Matthias Wissner:  
Regulierung und Investitionsanreize in der ökonomischen Theorie, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Dezember 2010
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:  
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:  
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 351: Peter Stamm, Anne Stetter unter Mitarbeit von Mario Erwig:  
Bedeutung und Beitrag alternativer Funklösungen für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen, Februar 2011
- Nr. 352: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann:  
Nationale Breitbandstrategien und Implikationen für Wettbewerbspolitik und Regulierung, März 2011
- Nr. 353: Christine Müller:  
New regulatory approaches towards investments: a revision of international experiences, IRIN working paper for working package: Advancing incentive regulation with respect to smart grids, April 2011
- Nr. 354: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:  
Elektronische Zustellung: Produkte, Geschäftsmodelle und Rückwirkungen auf den Briefmarkt, Juni 2011
- Nr. 355: Christin Gries, J. Scott Marcus:  
Die Bedeutung von Bitstrom auf dem deutschen TK-Markt, Juni 2011
- Nr. 356: Kenneth R. Carter, Dieter Elixmann, J. Scott Marcus:  
Unternehmensstrategische und regulatorische Aspekte von Kooperationen beim NGA-Breitbandausbau, Juni 2011
- Nr. 357: Marcus Stronzik:  
Zusammenhang zwischen Anreizregulierung und Eigenkapitalverzinsung, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Juli 2011
- Nr. 358: Anna Maria Doose, Alessandro Monti, Ralf G. Schäfer:  
Mittelfristige Marktpotenziale im Kontext der Nachfrage nach hochbitratigen Breitbandanschlüssen in Deutschland, September 2011
- Nr. 359: Stephan Jay, Karl-Heinz Neumann, Thomas Plückerbaum unter Mitarbeit von Konrad Zoz:  
Implikationen eines flächendeckenden Glasfaserausbaus und sein Subventionsbedarf, Oktober 2011
- Nr. 360: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:  
Neue Verfahren für Frequenzauktionen: Konzeptionelle Ansätze und internationale Erfahrungen, November 2011
- Nr. 361: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Martin Zauner:  
Qualitätsfaktoren in der Post-Entgeltregulierung, November 2011
- Nr. 362: Gernot Müller:  
Die Bedeutung von Liberalisierungs- und Regulierungsstrategien für die Entwicklung des Eisenbahnpersonenfernverkehrs in Deutschland, Großbritannien und Schweden, Dezember 2011
- Nr. 363: Wolfgang Kiesewetter:  
Die Empfehlungspraxis der EU-Kommission im Lichte einer zunehmenden Differenzierung nationaler Besonderheiten in den Wettbewerbsbedingungen unter besonderer Berücksichtigung der Relevante-Märkte-Empfehlung, Dezember 2011
- Nr. 364: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:  
Vom Smart Grid zum Smart Market – Chancen einer plattformbasierten Interaktion, Januar 2012

- Nr. 365: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm, Anne Stetter:  
Analyse der Kabelbranche und ihrer Migrationsstrategien auf dem Weg in die NGA-Welt, Februar 2012
- Nr. 366: Dieter Elixmann, Christin-Isabel Gries, J. Scott Marcus:  
Netzneutralität im Mobilfunk, März 2012
- Nr. 367: Nicole Angenendt, Christine Müller, Marcus Stronzik:  
Elektromobilität in Europa: Ökonomische, rechtliche und regulatorische Behandlung von zu errichtender Infrastruktur im internationalen Vergleich, Juni 2012
- Nr. 368: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele, Martin Zauner:  
Kostenstandards in der Ex-Post-Preiskontrolle im Postmarkt, Juni 2012
- Nr. 369: Ulrich Stumpf, Stefano Lucidi:  
Regulatorische Ansätze zur Vermeidung wettbewerbswidriger Wirkungen von Triple-Play-Produkten, Juni 2012
- Nr. 370: Matthias Wissner:  
Marktmacht auf dem Primär- und Sekundär-Regelenergiemarkt, Juli 2012
- Nr. 371: Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:  
Prognosemodelle zur Nachfrage von Briefdienstleistungen, Dezember 2012
- Nr. 372: Thomas Plückebaum, Matthias Wissner:  
Bandbreitenbedarf für Intelligente Stromnetze, 2013
- Nr. 373: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:  
Der Netzbetreiber an der Schnittstelle von Markt und Regulierung, 2013
- Nr. 374: Thomas Plückebaum:  
VDSL Vectoring, Bonding und Phantomomg: 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:  
Netzugang im Briefmarkt, Oktober 2013
- Nr. 383: Andrea Liebe, Christine Müller:  
Energiegenossenschaften im Zeichen der Energiewende, Januar 2014
- Nr. 384: Christian 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 Netzinfrastruktur, 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 Börsen:  
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



**ISSN 1865-8997**