

Mobilfunkgestützte M2M-Kommunikation in Deutschland – zukünftige Marktentwicklung und Nummerierungsbedarf

Autoren:

Christin Gries
Julian Knips
Christian Wernick

Bad Honnef, Dezember 2019

Impressum

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

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

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

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

ISSN 1865-8997

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Zusammenfassung	V
Summary	VI
1 Einleitung	1
2 Übertragungstechnologien und Standards für die Konnektivität von M2M-Lösungen	2
3 Grundlagen: Merkmale und Charakteristika von M2M-Kommunikation	10
3.1 Begriffsabgrenzung M2M	10
3.2 M2M als Teil komplexer Lösungen	12
4 M2M-Kommunikation: Nutzbare Erkenntnisse aus verfügbaren Marktstudien	15
4.1 Bisherige Entwicklung	15
4.2 Zukünftige Entwicklung	18
4.2.1 Cisco VNI	19
4.2.2 Ericsson Mobility Report	23
4.2.3 GSMA	27
4.2.4 IoT Analytics	30
5 WIK-Prognose: Szenarien für die mobilfunkgestützte M2M-Kommunikation	34
5.1 Relevante Einflussfaktoren	35
5.1.1 Rahmenbedingungen	36
5.1.2 Angebot und Nachfrage	38
5.1.3 Zusammenfassende Bewertung	39
5.2 Annahmen für mögliche Zukunftsszenarien	40
5.3 Ergebnisse möglicher Zukunftsszenarien	43
5.4 Zwischenfazit	46

6 Nummerierung	49
6.1 Aktueller regulatorischer Rahmen	49
6.1.1 International Mobile Subscriber Identity (IMSI)	49
6.1.2 Rufnummern	51
6.1.3 Exterritoriale Nutzung	54
6.2 Zukunftsfähigkeit des regulatorischen Rahmens auf Basis der Prognose	55
6.2.1 International Mobile Subscriber Identity (IMSI)	56
6.2.2 Rufnummern	60
6.2.3 Einfluss weiterer qualitativer Aspekte auf den Nummernbedarf	62
6.3 Regulatorische Handlungsoptionen	68
7 Fazit	69
Literaturverzeichnis	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Kriterien zur Auswahl der geeigneten M2M-Konnektivätslösung	2
Abbildung 2-2:	Leistungsfähigkeit (Bandbreite, Reichweite) verschiedener drahtloser Konnektivätsstechnologien	3
Abbildung 2-3:	Mögliche Technologien für M2M-Konnektiväts	4
Abbildung 2-4:	Typische Use Cases über öffentliche Mobilfunknetze	5
Abbildung 2-5:	Geeignete Anwendungsbereiche von LPWAN-Technologien	7
Abbildung 2-6:	LoRAWAN – Netzwerk	8
Abbildung 3-1:	BEREC-Begriffsverständnis: M2M als Teilmenge von IoT	11
Abbildung 3-2:	Wertschöpfungskette der M2M-Kommunikation	13
Abbildung 3-3:	Relevante Anbieter von IoT-Lösungen aus Nachfragersicht	14
Abbildung 4-1:	Bisherige Entwicklung der SIM-Profile* für M2M und Individualkommunikation (2012–2018)	16
Abbildung 4-2:	M2M-SIM-Karten in den OECD-Ländern (Dezember 2018)	17
Abbildung 4-3:	Cisco-Prognose: Mobile Endgeräte und Verbindungen weltweit nach Gerätetyp (in Mrd., 2017–2022)	22
Abbildung 4-4:	Cisco-Prognose: Mobile Endgeräte und Verbindungen weltweit nach Anschlusstechnologie (in Mrd., 2017–2022)	23
Abbildung 4-5:	Ericsson-Prognose: Zellulare IoT-Verbindungen nach Technologie weltweit (in Mrd., 2015–2025)	26
Abbildung 4-6:	Ericsson-Prognose: IoT connections über öffentliche Mobilfunknetze weltweit nach Regionen (in Mrd., 2017–2023)	27
Abbildung 4-7:	GSMA-Szenarien: Zellulare M2M-Verbindungen, weltweit (in Mio., 2010–2020)	29
Abbildung 4-8:	GSMA-Prognose: Anzahl der IoT-Verbindungen weltweit (in Mrd., 2018–2025)	30
Abbildung 4-9:	IoT und Non-IoT (in Mrd., 2015–2025)	32
Abbildung 4-10:	IoT Analytics Prognose: Anzahl aktiver vernetzter IoT-Geräte weltweit nach Art der Konnektiväts (in Mrd., 2015–2025)	33
Abbildung 5-1:	Ansatz der WIK-Prognose zur M2M-Kommunikation im öffentlichen Mobilfunk	34
Abbildung 5-2:	Einflussfaktoren auf die Entwicklung der M2M-Kommunikation	36
Abbildung 5-3:	Basisszenario: SIM-Profile deutscher Mobilfunknetzbetreiber für die M2M-Kommunikation (in Mio., 2018–2030)	44

Abbildung 5-4:	Stärkeres Wachstumsszenario: SIM-Profile deutscher Mobilfunknetzbetreiber für die M2M-Kommunikation (in Mio., 2018–2030)	45
Abbildung 5-5:	Schwächeres Wachstumsszenario: SIM-Profile deutscher Mobilfunknetzbetreiber für die M2M-Kommunikation in Deutschland (in Mio., 2018–2030)	46
Abbildung 5-6:	Szenarien der WIK-Prognose im Vergleich: SIM-Profile deutscher Mobilfunknetzbetreiber für die M2M-Kommunikation (in Mio., 2018–2030)	48
Abbildung 6-1:	Zusammensetzung der IMSI	50
Abbildung 6-2:	Zusammensetzung der Mobilfunkrufnummern	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Überblick über bedeutende LPWAN-Technologien	9
Tabelle 4-1:	Studienüberblick M2M-Prognosen: Erfasste Technologien	18
Tabelle 4-2:	Studienüberblick: Definitionen von M2M	19
Tabelle 4-3:	Studienüberblick CISCO VNI (2019)	21
Tabelle 4-4:	Studienüberblick Ericsson Mobility Report (2019)	24
Tabelle 4-5:	Ericsson-Prognose: IoT-Verbindungen über öffentliche Mobilfunknetze weltweit (in Mrd., 2019–2025)	25
Tabelle 4-6:	Studienüberblick GSMA (2014)	28
Tabelle 4-7:	Studienüberblick IoT Analytics (2018)	31
Tabelle 5-1:	WIK-Prognose: Mögliche Ausprägungen im Bereich der Rahmenbedingungen	42
Tabelle 5-2:	WIK-Prognose: Mögliche Ausprägungen von Angebot und Nachfrage	43
Tabelle 5-3:	SIM-Profile deutscher Mobilfunknetzbetreiber für die M2M-Kommunikation – Anzahl der SIM-Profile und CAGR in den M2M-Szenarien der WIK-Prognose	47
Tabelle 6-1:	Exterritoriale Nutzung	54
Tabelle 6-2:	Vorschlag zur Vergabe von IMSI in lokalen Netzen	65

Zusammenfassung

Zielsetzung des vorliegenden Diskussionsbeitrags ist die Abschätzung der Entwicklung der mobilfunkgestützten M2M-Kommunikation in Deutschland. Darauf aufbauend wird untersucht, ob sich aus unseren Prognosen ein Anpassungsbedarf für die bestehende Nummernregulierung ergibt.

Es herrscht Einigkeit darüber, dass der M2M/IoT-Markt in den nächsten Jahren stark wachsen wird. Gleichzeitig liegen jedoch keine dezidierten Prognosen vor, die sich auf die Entwicklung der mobilfunkgestützten M2M-Kommunikation beziehen.

Wir unterscheiden in unserer Prognose drei Szenarien, denen unterschiedliche Annahmen bezüglich Angebot, Nachfrage sowie den technologischen, regulatorischen und politischen Rahmenbedingungen zugrunde liegen:

- Im Basisszenario, welches aus unserer Sicht das wahrscheinlichste Szenario darstellt, erreicht die Anzahl der SIM-Profile, die in Deutschland für die M2M-Kommunikation genutzt werden, im Jahr 2025 110 Mio. und steigert sich bis zum Jahr 2030 auf 223 Mio..
- In einem starken Wachstumsszenario erwarten wir im Jahr 2025 244 Mio. SIM-Profile für M2M-Kommunikation und im Jahr 2030 678 Mio..
- Bei einer ungünstigeren Entwicklung in relevanten Einflussbereichen gehen wir von einer Zunahme der SIM-Profile auf 61 Mio. im Jahr 2025 und 87 Mio. im Jahr 2030 aus.

Trotz der hohen Wachstumsraten in allen drei Szenarien erwarten wir keine Knappheit bei den erforderlichen IMSIs und Rufnummern. Dies hat zwei Ursachen: Zum einen sind die Nummernressourcen in Deutschland großzügig bemessen. Zum anderen nutzen die in Deutschland tätigen Mobilfunknetzbetreiber in erheblichem Umfang internationale und ausländische Nummern für die M2M-Kommunikation und dürften diese Praxis auch in Zukunft fortsetzen.

Da unsere Prognose einen sehr weiten Blick in die Zukunft wirft, besteht bei den skizzierten Entwicklungen ein entsprechend hoher Grad an Unsicherheit. Vor diesem Hintergrund empfehlen wir, die Prognose unter Verwendung einer vergleichbaren Methodik in einem regelmäßigen Turnus durchzuführen, um frühzeitig auf mögliche disruptive Marktentwicklungen reagieren zu können.

Summary

The objective of the present discussion paper is to assess the development of cellular M2M communication in Germany. On this basis, it is examined whether our forecast indicates a need for adaptation of existing number regulations.

There is agreement that the M2M/IoT market will grow strongly in the coming years. At the same time, however, there are no dedicated forecasts relating to the development of mobile radio-based M2M communication.

In our forecast, we differentiate between three scenarios that differ in terms of supply, demand and the technological, regulatory and political framework conditions.

- In the baseline scenario, which in our view is most likely, the number of SIM profiles used for M2M communication in Germany reaches 110 million in 2025 and increases to 223 million by 2030.
- In a strong growth scenario, we expect 244 million SIM profiles for M2M communication in 2025 and 678 million SIM profiles for M2M communication in 2030.
- If developments in relevant areas of influence are less favourable, we expect SIM profiles to increase to 61 million in 2025 and 87 million in 2030.

Despite the high growth rates for M2M in all three scenarios, we do not expect a shortage of the necessary IMSIs and mobile phone numbers. There are two reasons for this: First, the number resources in Germany are generously dimensioned. Second, the German mobile network operators use international and foreign numbers for M2M communication to a considerable extent and are likely to continue this practice in the future.

Since our forecast takes a very wide look into the future, there is a certain degree of uncertainty about the developments outlined. Against this background, we recommend that the forecast be carried out on a regular basis using a comparable methodology in order to be able to react to possible disruptive market developments at an early stage.

1 Einleitung

Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation, d.h. der automatisierte Informationsaustausch zwischen Endgeräten wie Maschinen, Automaten, Fahrzeugen oder Containern untereinander oder mit einer zentralen Leitstelle, ist ein enormer Wachstumsmarkt. Über M2M-Kommunikation lassen sich neue Anwendungen entwickeln, bestehende Arbeitsabläufe rationalisieren und die Produktivität steigern.

Spätestens mit der Versteigerung der 5G Lizenzen ist das Thema auch in den Fokus der breiten Öffentlichkeit gerückt, da sich aufgrund der höheren Leistungsfähigkeit der 5G-Mobilfunktechnologie im Vergleich zu ihren Vorgängertechnologien neue Anwendungen im Bereich M2M realisieren lassen. Gleichwohl sind M2M-Anwendungen in vielen Bereichen bereits heute Realität. Hinzu kommt, dass M2M-Anwendungen nicht nur über Mobilfunknetze sondern auch über andere Technologien und Standards realisiert werden können.

Das Ziel der Studie besteht darin, basierend auf einer fundierten Prognose den zukünftigen Nummernbedarf für die M2M-Kommunikation und mögliche regulatorische Handlungserfordernisse in Deutschland zu untersuchen.

Für die Erarbeitung der Studie wurden zunächst die zur Verfügung stehenden Quellen ausgewertet. Dies diente einem grundlegenden Verständnis der Thematik. Im zweiten Schritt wurde ein Fragebogen an die Mobilfunknetzbetreiber versendet, der sowohl Markteinschätzungen und Daten, als auch den Nummerierungsbedarf und regulatorische Aspekte umfasste. Im dritten Schritt wurden Experteninterviews mit verschiedenen Stakeholdern durchgeführt, deren Einschätzungen zu einzelnen Aspekten der M2M-Kommunikation und Nummerierung (z.B. Campusnetze) relevant sind.

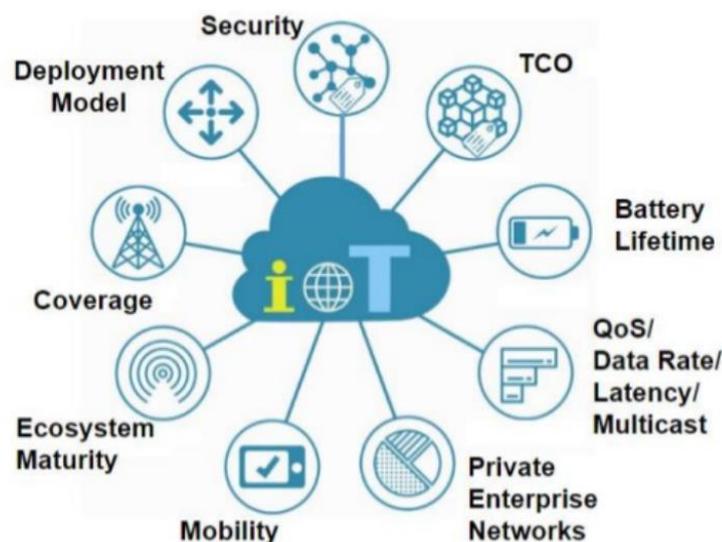
Die Studie ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 werden zunächst verschiedene Übertragungstechnologien und Standards für M2M vorgestellt. In Kapitel 3 werden Merkmale und Charakteristika von M2M-Kommunikation thematisiert. In Kapitel 4 stellen wir verschiedene Prognosen zur zukünftigen Marktentwicklung vor und diskutieren die angewandte Methodik. In Kapitel 5 wird die WIK Prognose zur zukünftigen Entwicklung der mobilfunkgestützten M2M-Kommunikation vorgestellt. Kapitel 6 stellt den aktuellen regulatorischen Rahmen vor und diskutiert dessen Zukunftsfähigkeit sowie regulatorische Handlungsempfehlungen. Die Studie schließt mit einem Fazit in Kapitel 7.

2 Übertragungstechnologien und Standards für die Konnektivität von M2M-Lösungen

- Die Vernetzung von Geräten kann über verschiedene Übertragungstechnologien und Standards mit unterschiedlichen Leistungsmerkmalen erfolgen.
- Jeder individuelle Use Case stellt spezifische Ansprüche an die Konnektivität, auf deren Basis dann die jeweils passende technische Lösung identifiziert werden kann.
- Es gibt keine „one size fits all“-Lösung, die für alle Use Cases als optimal angesehen werden kann.

Für die Vernetzung von Geräten steht ein breites Spektrum an Übertragungstechnologien und Standards zur Verfügung. Diesen liegen unterschiedliche Spezifikationen zugrunde, die sie hinsichtlich ihrer Merkmale in den Bereichen Datendurchsatz, Latenz, Batterielebenszeit, Reichweite und Security charakterisieren.¹ Darüber hinaus gehören die Kosten der Module/Komponenten sowie der Gesamtlösung zu den Auswahlkriterien bei der Entscheidung für eine geeignete Konnektivitätslösung (siehe Abbildung 2-1).

Abbildung 2-1: Kriterien zur Auswahl der geeigneten M2M-Konnektivitätslösung²



Quelle: Activity.³

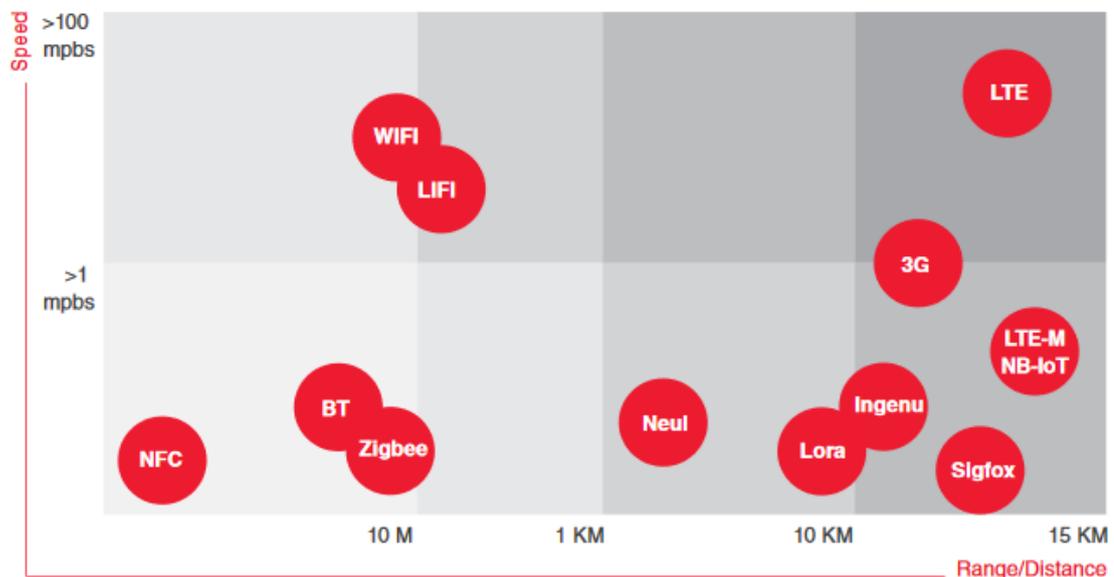
¹ Siehe z.B. für einen ausführlichen Überblick zur Leistungsfähigkeit und dem Einsatzspektrum verschiedener Funklösungen Deloitte (2018): The Future of Connectivity in IoT Deployments, elektronisch verfügbar unter:

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/technology/Connectivity-in-IoT-deployments-Deloitte.pdf>, S. 8 ff.

² TCO= Total Cost of Ownership, Gesamtkosten des Betriebs.

Jeder individuelle Use Case⁴ stellt spezifische Ansprüche an die Konnektivität, auf deren Basis dann die jeweils passende technische Lösung identifiziert werden kann.⁵ Dabei besteht typischerweise ein Trade-Off zwischen Leistungsfähigkeit, Batterielebenszeit, Reichweite, anderen Qualitätskriterien sowie Kostenaspekten. Es gibt keine „one size fits all“-Lösung, die für alle Use Cases als optimal angesehen werden kann. Die drahtlose Vernetzung von Geräten kann im **Short-Range- und im Long-Range-**Bereich stattfinden, wobei die realisierbare Reichweite hier das primäre Unterscheidungskriterium bildet (siehe Abbildung 2-2).

Abbildung 2-2: Leistungsfähigkeit (Bandbreite, Reichweite) verschiedener drahtloser Konnektivitätstechnologien



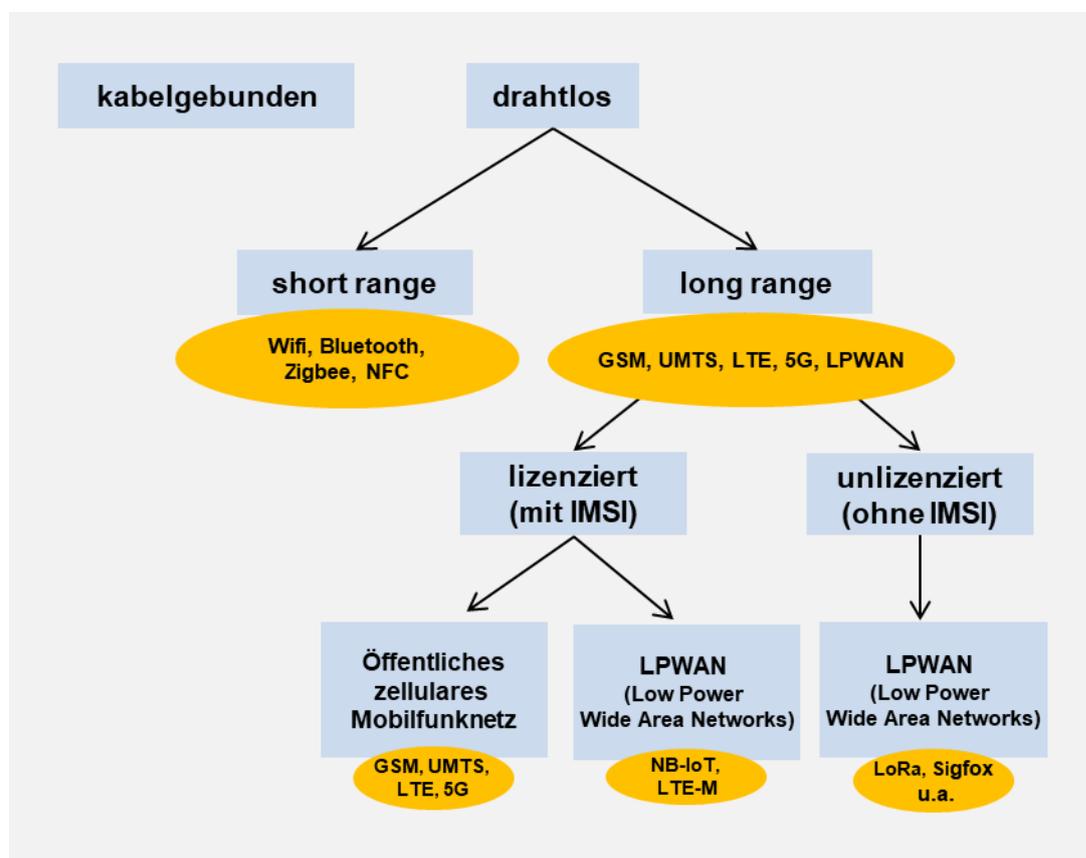
Quelle: Frost & Sullivan.⁶

- 3 Vgl. Actility (2018): LoRaWAN and Cellular IoT (NB-IoT, LTE-M): How do they complement each other? Whitepaper, S. 13; elektronisch verfügbar unter: <https://www.slideshare.net/Actility/whitepaper-lorawan-and-cellular-iot-nbiot-ltem-how-do-they-complement-each-other>.
- 4 Vgl. zu einer Analyse wichtiger Use Cases und Anwendungsschwerpunkte z.B. EY (2019) Future of IoT, elektronisch verfügbar unter: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_-_Future_of_IoT/\\$FILE/EY-future-of-iot.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_-_Future_of_IoT/$FILE/EY-future-of-iot.pdf).
- 5 Vgl. z.B. zu intelligenten Verkehrssystemen ausführlich Protzmann, R.; Radusch, I.; Festag, A.; Fritzsche, R.; Rehme, M. (2018): IV2X Integrierte Betrachtung Fahrzeugkommunikation, Studie von Fraunhofer Fokus, Fraunhofer IVI und Institut für Vernetzte Mobilität gGmbH, S. 19 ff., elektronisch verfügbar unter: https://cdn0.scrvt.com/fokus/45694b7fa7ff31b5/33cc346d4b88/ASCT_iv2X-Dokumentation-1.5.pdf.
- 6 Vgl. Frost & Sullivan (2016): Growing Industry Applications of LPWAN Technologies, S. 6, elektronisch verfügbar unter: https://rfdesignuk.com/uploads/9/4/6/0/94609530/murata_lpwan_study.pdf.

Auf **Short-Range-Verbindungen** entfällt heute der überwiegende Teil der realisierten M2M-Verbindungen.⁷ Insbesondere mit WLAN und Bluetooth werden zahlreiche Geräte in Anwendungsfeldern vernetzt, die sich auf eine relativ eng begrenzte Fläche beziehen, wie z.B. im Smart Home. Zudem ist Bluetooth die derzeit bedeutendste Technologie für Wearables-Produkte, die typischerweise noch keine Mobilfunkanbindung haben. Darüber hinaus sind auch Standards wie Zigbee (z.B. für CO₂-Detektoren), NFC (z.B. für Automaten) und Z-Wave (z.B. für Thermostate) von Relevanz.⁸

Der **Long-Range-Bereich** lässt sich in einen **lizenzierten** und einen **unlizenzierten** Bereich unterteilen (siehe Abbildung 2-3).

Abbildung 2-3: Mögliche Technologien für M2M-Konnektivität



Quelle: WIK.

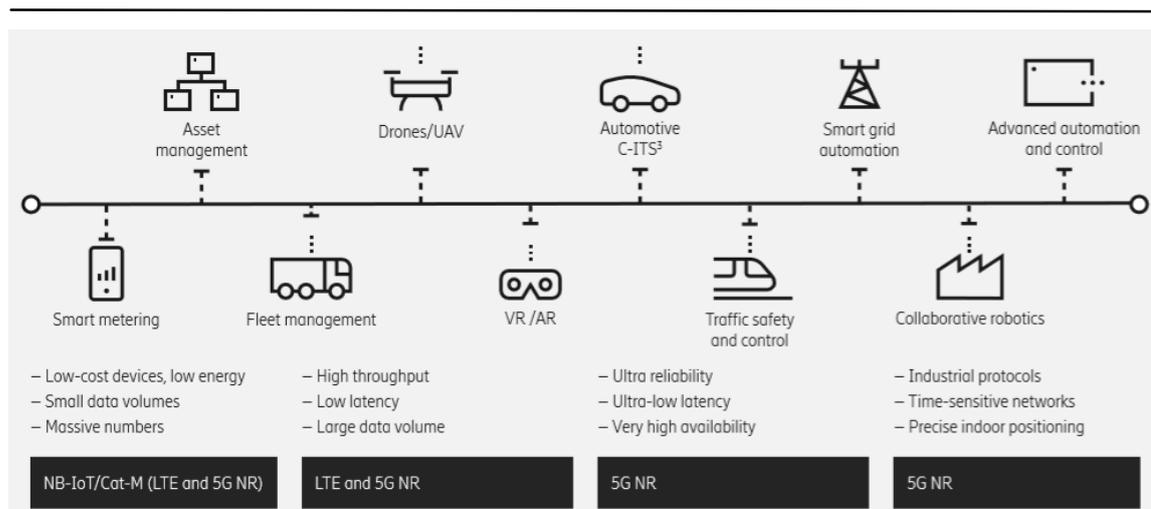
⁷ Laut Ericsson Mobility Report 2019 87%, vgl. Ericsson (2019): Ericsson Mobility Report, June 2019, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/49d1d9/assets/local/mobility-report/documents/2019/ericsson-mobility-report-june-2019.pdf>.

⁸ Vgl. zu den Leistungsmerkmalen im Detail Deloitte (2018): The Future of Connectivity in IoT Deployments, elektronisch verfügbar unter: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/technology/Connectivity-in-IoT-deployments-Deloitte.pdf>.

Die Nutzung von **lizenziertem** Spektrum erfolgt dabei in den öffentlichen zellularen Mobilfunknetzen (GSM, UMTS, LTE, 5G) sowie in Low Power Wide Area Networks (LPWAN), die in diesen Netze implementiert werden (v.a. Narrowband Internet of Things (NB-IoT), Long Term Evolution for Machines (LTE-M)). Nur in diesem lizenzierten Bereich werden SIM-Profile benötigt.

M2M-Kommunikation über öffentliche Mobilfunknetze erfolgt derzeit primär über LTE-Netze. Diese werden für Use Cases genutzt, die relativ hohe Datenübertragungsraten, geringe Latenz und große Datenmengen erfordern, z.B. im Flottenmanagement (siehe Abbildung 2-4). Der anstehende Aufbau von 5G-Infrastruktur wird hier mit starken Verbesserungen bei Verlässlichkeit, Latenz und Verfügbarkeit zahlreiche neue Use Cases ermöglichen, z.B. für interaktive Transportsysteme und Smart Energy, die Echtzeitkontrolle erfordern. Darüber hinaus ermöglichen lokale Frequenzen im Bereich von 3,7-3,8 GHz sowie 26 GHz interessierten Unternehmen die Errichtung von eigenen 5G-Campusnetzen (z.B. für automatisierte Fabriken oder landwirtschaftliche Lösungen).

Abbildung 2-4: Typische Use Cases über öffentliche Mobilfunknetze



Quelle: Ericsson (2019).⁹

Typischerweise hat jedes über das öffentliche Mobilfunknetz angeschlossene Gerät eine **SIM-Karte** bzw. ein **SIM-Profil**. Das SIM-Profil enthält die für die Identifizierung des Benutzers erforderliche Kundennummer (International Mobile Subscriber Identity (IMSI))¹⁰, die teilnehmerbezogene Rufnummer (Mobile Station Integrated Services Digi-

⁹ Vgl. Ausschnitt aus Ericsson (2019): Ericsson Mobility Report, June 2019, S. 9, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/49d1d9/assets/local/mobility-report/documents/2019/ericsson-mobility-report-june-2019.pdf>.

¹⁰ Die IMSI besteht aus maximal 15 Ziffern, die sich zusammensetzen aus drei verschiedenen Codes: Mobile Country Code (MCC), Mobile Network Code (MNC) und Mobile Subscription Identification

tal Network Number (MSISDN)) sowie Authentifizierungsschlüssel und andere sicherheitsrelevante Informationen (z.B. Personal Identification Number (PIN) sowie einen Personal Unblocking Key (PUK)).

Es gibt jedoch Varianten, die mehrere SIM-Profile auf einem Gerät ermöglichen (z.B. Dual-SIM oder eSIM) oder aber Multi-SIM-Lösungen, die mehreren SIM-Karten nur eine einzige Rufnummer zuordnen. Diese Varianten finden sowohl im Consumer-Bereich als auch bei M2M Anwendung, wobei Dual-SIM sich typischerweise auf Mobiltelefone/Smartphones mit zwei SIM-Einschüben bezieht, die in Deutschland jedoch weniger intensiv genutzt als in einigen anderen Ländern der Welt (z.B. Indien, Indonesien, Ägypten, Ukraine) genutzt werden.¹¹ Die programmierbare eSIM spielt im M2M-Bereich, für den sie ursprünglich entwickelt wurde, eine bedeutende Rolle.¹² Dabei wurde aufgrund der besonderen Anforderungen zahlreicher Use-Cases ein breites Spektrum an spezifischen SIM-Modulen entwickelt, deren Eigenschaften sich von den herkömmlichen SIM-Karten aus dem Consumerbereich unterscheiden. Typische Merkmale der M2M-SIM-Module sind z.B. eine geringe Größe, extreme Robustheit und ein niedriger Energieverbrauch. Auch die Möglichkeiten globaler Nutzung spielen für mobile M2M-Anwendungen, z.B. im Bereich der Logistik, eine wichtige Rolle.

Für eine Vielzahl der zu erwartenden M2M/IoT-Anwendungen ist 5G aus verschiedenen Gründen (z.B. Kosten, Datenübertragungsmengen, Energieverbrauch) nicht optimal. Speziell für diese M2M-Use Cases wurden **Low Power Wide Area Network (LPWAN)-Technologien** entwickelt.¹³ Allen LPWAN-Technologien gemeinsam ist ihre hohe Reichweite, lange Batterielebensdauer (mind. 10 Jahre) und eine im Vergleich zu 3G/4G/5G deutliche Kostenreduktion durch geringe Bandbreiten für Up- und Download, Datenraten und Sendeleistung.

Typische Einsatzbereiche sind Anwendungen mit einer Vielzahl von Geräten, die jedoch nur selten oder geringe Mengen an Informationen übertragen müssen und über einen vergleichsweise großen Bereich verteilt sein können. Hierzu zählen z.B. Rauchmelder, Mülleimer, Feinstaubsensoren, Lösungen für Parkhäuser, Fahrräder, Fernwartung, Landwirtschaft, Produkttracking. Diese Anwendungen finden sich vielfach in umfassenden Smart City- oder Smart Farming-Lösungen wieder (siehe Abbildung 2-5).

Number (MSIN), vgl. ITU (2016): The international identification plan for public networks and subscriptions, Recommendation ITU-T E.212, S. 3, elektronisch verfügbar unter:

<https://www.itu.int/rec/T-REC-E.212-201609-I/en>.

11 Vgl. Devices Atlas (2019): Dual SIM smartphone usage – 2019, elektronisch verfügbar unter: <https://deviceatlas.com/blog/dual-sim-smartphone-usage>.

12 Vgl. zur eSIM im M2M-Bereich ausführlich Godlovitch, I.; Arnold, R.; Gries, C.; Marcus, J.S.; Taş, S. (2019): Technological developments and roaming, S. 21 ff., elektronisch verfügbar unter: <https://www.wik.org/fileadmin/Studien/2019/FinalReportSMART20180012.pdf> und zu Grundlagen der eSIM Gries, C.; Wernick, C. (2017): Bedeutung der embedded SIM (eSIM) für Wettbewerb und Verbraucher im Mobilfunkmarkt, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 422, Bad Honnef.

13 Vgl. detailliert zu technischen Details z.B. Mekki, K.; Bajic, E.; Chaxel, F.; Meyer, F. (2019): A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, in: ICT Express, Volume 5, Issue 1, March 2019, S. 1–7, elektronisch verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>.

Abbildung 2-5: Geeignete Anwendungsbereiche von LPWAN-Technologien

Industry	Application	Coverage	Consumption	Cost	Capacity	LPWA Suitability
Healthcare	Assisted Living /Medical	+	○	+	+	HIGH
Agriculture	Stationary Tracking / Monitoring	+	+	+	+	HIGH
Agriculture	Livestock Tracking	+	+	○	○	AVERAGE
Consumer	VIP / Pet Tracking	+	+	+	○	HIGH
Consumer	Home Appliances	○	+	+	+	HIGH
Consumer	Wearables	+	○	○	○	AVERAGE
Consumer	Vending Machines	○	-	+	+	AVERAGE/LOW
Transportation & Logistics	Smart Bicycles	+	+	+	-	HIGH
Transportation & Logistics	Asset Tracking	○	○	○	○	AVERAGE
Environmental Management	Environmental Monitoring	+	+	+	+	HIGH
Environmental Management	Environmental Data Collection	○	+	+	+	HIGH
Utilities	Water/Gas Metering	+	+	+	+	HIGH
Utilities	Microgeneration	○	-	+	+	AVERAGE
Utilities	Smart Grid / Power	+	○	○	+	AVERAGE
Smart City	Lighting	+	-	+	+	HIGH
Smart City	Waste Management	-	+	+	+	HIGH
Smart City	Building Automation – e.g. Alarms, Actuators	-	○	+	+	AVERAGE
Smart City	Home Automation	-	○	+	+	AVERAGE
Smart City	Smoke Detectors For Home/ Enterprise	○	○	+	+	AVERAGE
Smart City	Parking	-	+	+	○	AVERAGE
Manufacturing	Industrial – Tank Process /Safety Monitoring	○	+	+	+	HIGH
Manufacturing	Propane Tank Monitoring	+	+	+	+	HIGH
Manufacturing	Industrial – Asset Tracking	○	+	○	○	AVERAGE
Manufacturing	Industrial – Machinery Control	-	+	○	○	LOW

+ Represents positive parameters ○ Represents neutral parameters - Represents negative parameters

Quelle: Frost & Sullivan.¹⁴

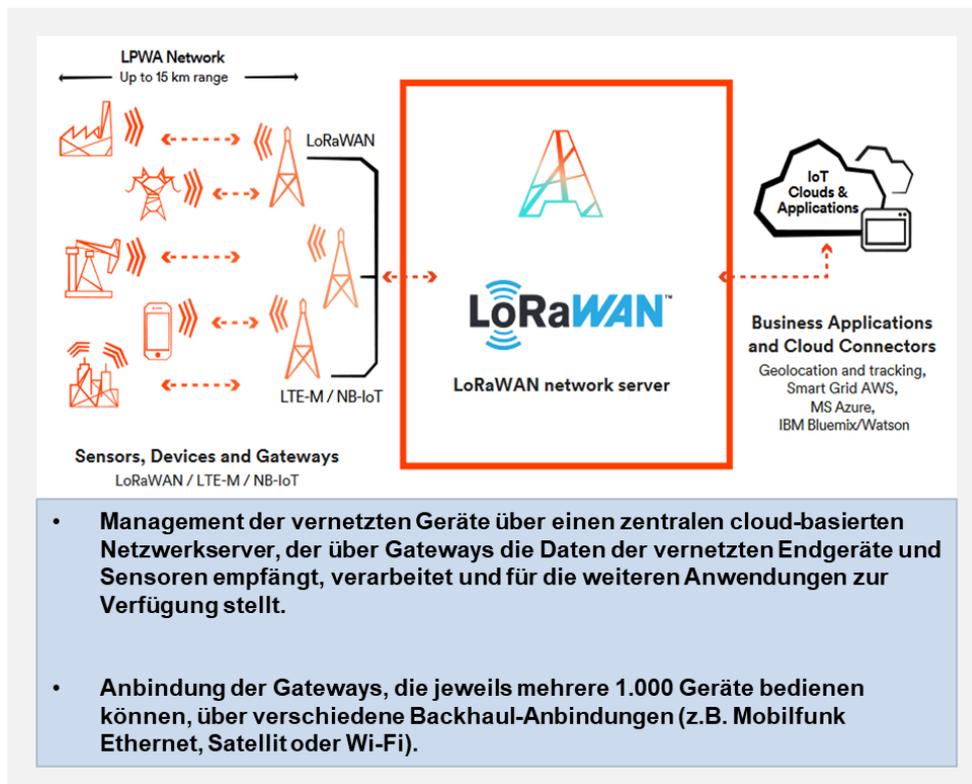
LPWAN-Technologien werden sowohl im lizenzierten als auch (in vielfältiger Form) im unlizenzierten Bereich implementiert.

Im **unlizenzierten Bereich** gibt es eine Vielzahl verschiedener Standards, die frei verfügbares Frequenzspektrum in unterschiedlicher Weise nutzen. Hier gehören LoRA-WAN (siehe Abbildung 2-6) und Sigfox zu den am weitesten verbreiteten globalen

¹⁴ Frost & Sullivan (2016): Growing Industry Applications of LPWAN Technologies, S. 14, elektronisch verfügbar unter: https://rfdesignuk.com/uploads/9/4/6/0/94609530/murata_lpwan_study.pdf.

Standards. Weitere Standards sind z.B. die RPMA-Technologie von Ingenu¹⁵, und der open standard von Weightless¹⁶.

Abbildung 2-6: LoRAWAN – Netzwerk



Quelle: LoRaWAN/Actility.¹⁷

Für die LPWAN-Standards im **lizenzierten Bereich** (NB-IoT, LTE-M) müssen keine neuen Antennen oder Basisstationen errichtet werden, sondern es ist lediglich ein Upgrade der Netzwerksoftware erforderlich. Diese Lösungen werden von den Mobilfunknetzbetreibern vorangetrieben und sind als Ergänzung zu den 4G/5G-Netzen sowie als Reaktion auf die LPWAN-Entwicklungen im unlizenzierten Bereich zu verstehen. Perspektivisch auf 5G ausgerichtet, können sie bereits in bestehenden LTE-Netzen implementiert werden.

¹⁵ Vgl. <https://www.ingenu.com/>. Eigenen Angaben zufolge hat das Unternehmen innerhalb von 7 Jahren 35 Netzwerke weltweit errichtet.

¹⁶ Vgl. <http://www.weightless.org/>, Spezifikation elektronisch verfügbar unter: <http://www.weightless.org/about/weightless-specification>.

¹⁷ Vgl. LoRaWAN/Actility (2019): LoRaWAN™: global standard for Low Power Wide Area IoT networks, Whitepaper, S. 6, elektronisch verfügbar unter: <https://iotbusinessnews.com/download/white-papers/ACTILITY-LoRaWAN-white-paper.pdf>.

Insgesamt befindet sich LPWAN noch in einer frühen Phase und ist durch ein hohes Maß an Fragmentierung gekennzeichnet. Die Relevanz der Standards mit Blick auf ihre Verbreitung, Eignung und Leistungsfähigkeit wird von den Marktakteuren sehr unterschiedlich beurteilt. TK-Netzbetreiber (und andere Akteure) favorisieren unterschiedliche Lösungen, auch hybride Ansätze sind verbreitet. IoT-Analytics erfasste basierend auf Informationen von Sigfox, der GSMA und der LoRaAlliance im Oktober 2018 weltweit insgesamt 199 öffentliche LPWAN, die kommerziell in Betrieb waren.¹⁸ Einige von ihnen (z.B. KPN, Orange) setzen nicht nur auf lizenzierte LPWAN-Lösungen, sondern nutzen auch unlizenzirtes Spektrum.¹⁹

Tabelle 2-1: Überblick über bedeutende LPWAN-Technologien

	NB-IoT	Sigfox	LoraWan
Frequenzspektrum	lizenziert	unlizenziert	unlizenziert
Infrastruktur	Basierend auf bestehendem zellularem Mobilfunknetz	Neue Funkinfrastruktur	Neue Funkinfrastruktur
Hintergrund	Globaler Standard der Mobilfunknetzbetreiber	Standard eines französischen Unternehmens mit Fokus auf Europa	Standard der LoRa Alliance, vorangetrieben durch das US-Halbleiterunternehmen Semtech
Zeitlicher Aspekt	Standardisierung 2016, Ausbau 2018/2019	Gegründet 2010, Start 2011 in Frankreich	Gegründet 2015
Verbreitung/Infrastruktur	In Deutschland 84% Netzabdeckung (Stand Februar 2019) ²⁰	Fokus auf Westeuropa, Flächendeckung in Deutschland geplant bis Ende 2019, weltweit in 60 Ländern vertreten, 1 Mrd. Menschen erreichbar, Sigfox hat pro Land einen exklusiven Netzbetreiber	In Deutschland implementiert von Unitymedia, digimondo, Zenner, Netzikon, weltweit in mehr als 140 Ländern verfügbar
Netzbetreiber weltweit (Anzahl)²¹	46	57	83
Netzbetreiber (Beispiele)	Vodafone, Deutsche Telekom, Telefónica, China Mobile, Orange	Sigfox Germany	ZTE, Tata, Orange, KPN, start-ups, IOT provider

Quelle: WIK basierend auf Firmeninformationen.²²

¹⁸ Vgl. Pasqua, Eugenio (2018): LPWAN technologies: How cellular MNOs are placing their bets, IoT Analytics, October 23, 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/lpwan-technologies-cellular-mnos/>.

¹⁹ Z.B. setzt Orange in Belgien NB-IoT und LTE-M ein, in Frankreich jedoch LoRaWAN, vgl. Pasqua, Eugenio (2018): LPWAN technologies: How cellular MNOs are placing their bets, IoT Analytics, October 23, 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/lpwan-technologies-cellular-mnos/>.

²⁰ Vgl. Sigfox, elektronisch verfügbar unter: <http://www.sigfox.de/sigfox-demokratisiert-0g-netzausbau/>.

²¹ Vgl. Pasqua, Eugenio (2018): LPWAN technologies: How cellular MNOs are placing their bets, IoT Analytics, October 23, 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/lpwan-technologies-cellular-mnos/>.

3 Grundlagen: Merkmale und Charakteristika von M2M-Kommunikation

- M2M-Kommunikation bedeutet den überwiegend automatisierten Informationsaustausch zwischen technischen Einrichtungen, an dem der Mensch allenfalls in begrenzter Form beteiligt ist und keine Rufnummer frei anwählen kann.
- Es gibt eine Vielzahl von Use Cases, die verschiedenste Anforderungen an die Konnektivität stellen und über unterschiedliche Technologien im Festnetz und Mobilfunk (lizenziert und unlizenziert) realisierbar sind.
- Unter dem Blickwinkel des Nummerierungsbedarfs liegt der Fokus der Studie auf dem öffentlichen zellularen Mobilfunk einschließlich der LPWAN-Technologien, die diese Netze nutzen. Das heißt, es werden alle M2M-Geräte betrachtet, die mit SIM-Profilen ausgestattet sind.

3.1 Begriffsabgrenzung M2M

Bei der M2M-Kommunikation handelt es sich um einen Teilbereich der Telekommunikation, der nicht einheitlich definiert ist und daher Interpretationsspielraum zulässt.

Für die vorliegende Studie wird das Begriffsverständnis der Bundesnetzagentur zugrunde gelegt.²³ Demzufolge handelt es sich bei der M2M-Kommunikation, die kabelgebunden oder drahtlos erfolgen kann, um einen überwiegend automatisierten Informationsaustausch zwischen technischen Einrichtungen – wie z.B. Maschinen, Automaten, Fahrzeugen oder Messwerken in Form von Strom-, Gas-, Wasserzählern o.ä. – untereinander bzw. zu einer zentralen Datenverarbeitungsanlage.

Ein Mensch ist an der Kommunikation in der Regel nicht beteiligt. Eine begrenzte menschliche Beteiligung steht der Einordnung als M2M-Kommunikation allerdings nicht entgegen. Sie liegt z.B. dann vor, wenn der Mensch eine M2M-Anwendung lediglich über technische Einrichtungen wie PC, Smartphone oder Tablet aktiviert, bedient, steuert oder überwacht. Dies ist sowohl im privaten Bereich (z.B. im Bereich Smart Home) als auch im industriellen Bereich möglich.

Folgt man diesem Begriffsverständnis, so gilt als M2M-Kommunikation auch eine Individualkommunikation im Sinne einer voreingestellten Punkt-zu-Punkt-Kommunikation

²² Die Angaben variieren teils zwischen verschiedenen Quellen.

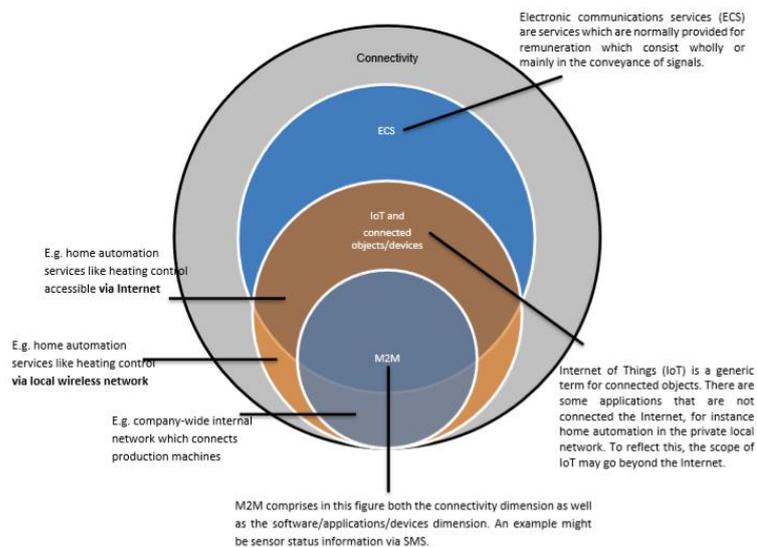
²³ Vgl. Bundesnetzagentur (2019): Exterritoriale Nummernnutzung; Auslegung des Begriffs „begrenzte menschliche Beteiligung“ bei der Definition von M2M-Kommunikation, Amtsblatt der Bundesnetzagentur, Nr. 9, 15. Mai 2019, Mitteilung Nr. 232/2019, S. 973.

(z.B. eCall oder privater Notruf in Aufzügen), jedoch kein Anruf zu einer frei wählbaren Rufnummer.²⁴

Inwieweit Dienste tatsächlich eine begrenzte menschliche Beteiligung umfassen, ist jedoch in der Praxis vielfach schwierig zu beurteilen. Hier besteht Interpretationsspielraum und die Bundesnetzagentur nimmt derzeit eine einzelfallbezogene Betrachtung entlang der einzelnen Merkmale der spezifischen Anwendung vor.

In der Praxis wird M2M häufig synonym mit dem Begriff „IoT“ verwendet.²⁵ Diese Auffassung vertrat zunächst auch BEREC (2016). Nach eingehender Bewertung im Rahmen einer Konsultation fasst BEREC (2019) die M2M-Kommunikation nun als Teilmenge des IoT auf (siehe Abbildung 3-1).²⁶

Abbildung 3-1: BEREC-Begriffsverständnis: M2M als Teilmenge von IoT



Quelle: BEREC.²⁷

- ²⁴ Vgl. zur weiteren Klarstellung in Bezug auf Anwendungen mit einem oder mehreren frei wählbaren Endpunkten Bundesnetzagentur (2019): Exterritoriale Nummernnutzung; Auslegung des Begriffs „begrenzte menschliche Beteiligung“ bei der Definition von M2M-Kommunikation, Amtsblatt der Bundesnetzagentur, Nr. 9, 15. Mai 2019, Mitteilung Nr. 232/2019, S. 973.
- ²⁵ Vgl. ausführlich Büllingen, F.; Börsen, S. (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, Bad Honnef und BEREC (2019): Internet of Things indicators, BoR (19) 25, 07 March 2019, elektronisch verfügbar unter: https://bereg.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/bereg/reports/8464-bereg-report-on-internet-of-things-indicators.
- ²⁶ Vgl. BEREC (2019): Internet of Things indicators, BoR (19) 25, 07 March 2019, S. 12–13, elektronisch verfügbar unter: https://bereg.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/bereg/reports/8464-bereg-report-on-internet-of-things-indicators.
- ²⁷ Vgl. BEREC (2019): Internet of Things indicators, BoR (19) 25, 07 March 2019, S. 16, elektronisch verfügbar unter: https://bereg.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/bereg/reports/8464-bereg-report-on-internet-of-things-indicators.

Die unterschiedlichen Auffassungen von M2M/IoT führen dazu, dass auch bisher verfügbare Studien und quantitative Abschätzungen nur begrenzt miteinander vergleichbar sind. Für die vorliegende Studie soll nicht der gesamte M2M-Bereich kabelgebundener und drahtloser Kommunikation in den Blick genommen werden. Vielmehr erfolgt eine Konzentration auf den Bereich der M2M-Kommunikation, der über SIM-Profile realisiert wird.

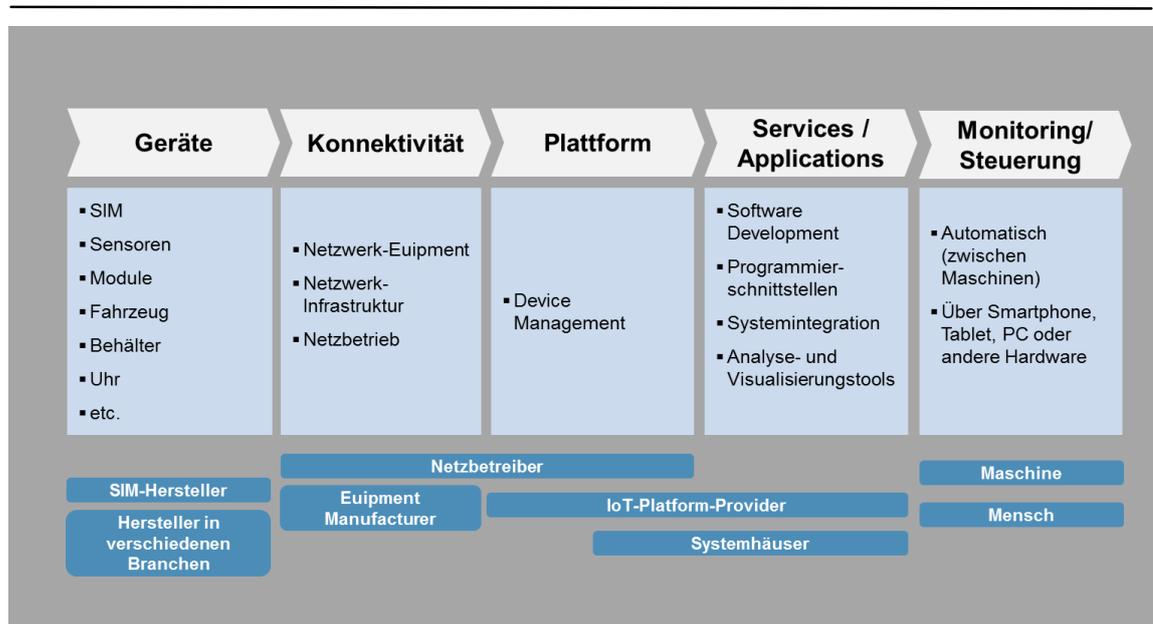
3.2 M2M als Teil komplexer Lösungen

Ein wesentliches Charakteristikum der M2M-Kommunikation ist, dass sie häufig als komplexe Kundenlösung realisiert wird, innerhalb derer eine Vielzahl von Geräten über einheitliche Plattformen miteinander verbunden und gemanagt werden.

Aufgrund der Vielfalt der erforderlichen Kompetenzen für die Implementierung von IoT sind zahlreiche Akteure in die Erbringung der oft komplexen Lösungen eingebunden.

Am Anfang der Wertschöpfungskette stehen die Geräte, die als Voraussetzung für mobile Anbindbarkeit mit einem SIM-Profil ausgestattet sein müssen. Hier ist grundsätzlich ein extrem breites Spektrum denkbar, wobei für eine breite Durchdringung der Wirtschaft mit M2M-Kommunikation auch entsprechend zahlreiche Akteure aktiv werden müssen. So müssen z.B. zunächst Hersteller von Behältern, die in einer vernetzten Fabrik später getrackt werden sollen, SIM-Module in ihr Produkt integrieren. Anschließend sind diverse Akteure der ITK-Branche in die Herstellung von Konnektivität, Plattformen und zugehörige Services eingebunden, bevor schließlich die Kommunikation zwischen den Maschinen bzw. eine mögliche Steuerung durch den Mensch erfolgen kann (siehe Abbildung 3-2).

Abbildung 3-2: Wertschöpfungskette der M2M-Kommunikation



Quelle: WIK.

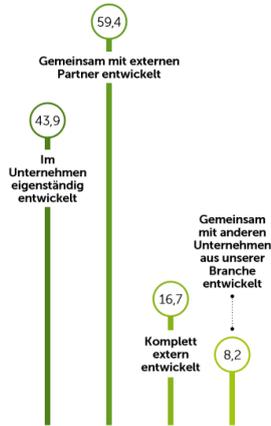
Aus Sicht des Nachfragers ist die Einführung von IoT/M2M in das Unternehmen mit weitreichenden strategischen Entscheidungen und umfassenden Planungsaufgaben verbunden. Vor allem für mittelständische Unternehmen ist der Ressourceneinsatz beträchtlich und die Kompetenz im eigenen Hause häufig begrenzt.²⁸

IoT-Projekte werden daher vielfach mit spezialisierten IT-Beratungs-Unternehmen, Systemhäusern und Service Providern realisiert, die IoT-Projekte aus einer Hand anbieten können. Netzbetreiber rangieren aus Kundensicht als Ansprechpartner hinter diesen Spezialisten (siehe Abbildung 3-3).

²⁸ Vgl. zu den zusätzlichen Ressourcen, die Unternehmen zur Realisierung von IoT benötigen Telefónica (2019): Studie Internet of Things 2019, durchgeführt von IDG, S. 27, elektronisch verfügbar unter: <https://iot.telefonica.de/wp-content/uploads/2018/11/IoT-Studie-2019-Key-Findings.pdf>.

Abbildung 3-3: Relevante Anbieter von IoT-Lösungen aus Nachfragersicht

Wie werden die IoT-Lösungen Ihres Unternehmens entwickelt?
 Angaben in Prozent. Mehrfachantworten möglich.
 Basis: n = 342



Wer ist für Sie erster Ansprechpartner, wenn es um die Einführung von IoT-Technologien geht?
 Angaben in Prozent. Basis: n = 260



Quelle: Telefónica (2019).²⁹

²⁹ Vgl. Telefónica (2019): Studie Internet of Things 2019, durchgeführt von IDG, S. 21, elektronisch verfügbar unter: https://iot.telefonica.de/wp-content/uploads/2018/11/loT-Studie-2019-Key_Findings.pdf.

4 M2M-Kommunikation: Nutzbare Erkenntnisse aus verfügbaren Marktstudien

- Basierend auf Angaben der Netzbetreiber weist die Bundesnetzagentur seit 2010 die Anzahl der SIM-Karten für M2M aus. Ende 2018 wurden 23 Mio. SIM-Karten dem M2M-Bereich zugeordnet, die CAGR (compound annual growth rate, d.h. durchschnittliche jährliche Wachstumsrate) lag seit Einführung der Berichterstattung bei ca. 40%.
- Prognosen zur zukünftigen Entwicklung der M2M-Kommunikation weichen aufgrund verschiedener Begriffsabgrenzungen und Methodik stark voneinander ab.
- M2M wird im weitesten Sinne als ein Enabler für eine Vielzahl innovativer Anwendungen gesehen, die sich im Einzelnen mit unterschiedlicher Dynamik entwickeln und in ihrer Gesamtheit ein kontinuierliches Wachstum des M2M-Bereichs bewirken.
- Tendenziell erwarten die Studien ein Wachstum des M2M-Marktes, das zwischen 20 und 30% CAGR für die kommenden 5 Jahre liegt.
- Je nach Use Case sind verschiedene Technologien für die Realisierung der Konnektivität optimal. Marktstudien erwarten ein stärkeres Wachstum im Long-Range- als im Short-Range-Bereich – insbesondere für LPWAN-Technologien wird ein Bedeutungszuwachs erwartet.

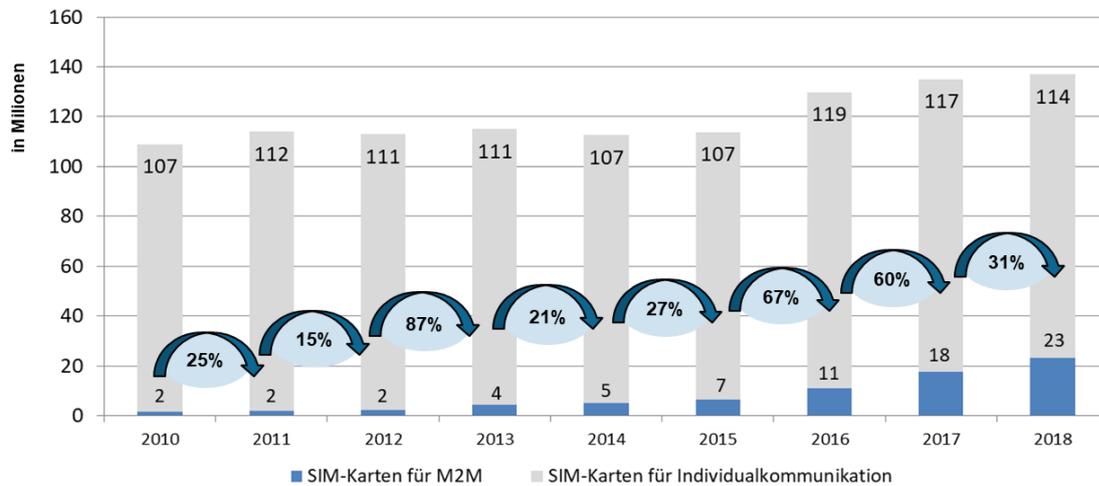
4.1 Bisherige Entwicklung

Bereits vor mehr als 20 Jahren zeichnete sich das hohe Potential in der mobilen Vernetzung von Endgeräten ab. Während erste Anwendungsbereiche z.B. in der Logistik entstanden, bestanden jedoch mit Blick auf die Weiterentwicklung der M2M-Kommunikation zahlreiche Herausforderungen und offene Fragen.

Offizielle Statistiken zur Entwicklung von M2M/IoT sind nicht verfügbar. Dieser Mangel und mögliche Ansätze zur einheitlichen statistischen Erfassung wurden auch von BEREC (2019) festgestellt.³⁰ Die Bundesnetzagentur weist in ihren Jahresberichten seit dem Jahr 2010 die Zahl der SIM-Karten aus, die auf den M2M-Bereich entfallen (siehe Abbildung 4-1). Diese Daten basieren auf den Angaben der deutschen Netzbetreiber. Sie sind derzeit die einzigen Akteure, die SIM-Karten an ihre eigenen Kunden oder an Dritte (z.B. Service Provider, Systemhäuser) herausgeben.

³⁰ BEREC (2019): Internet of Things indicators, BoR (19) 25, 07 March 2019, S. 7, elektronisch verfügbar unter: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/reports/8464-berec-report-on-internet-of-things-indicators.

Abbildung 4-1: Bisherige Entwicklung der SIM-Profile* für M2M und Individualkommunikation (2012–2018)



*von der BNetzA als „SIM-Karten“ ausgewiesen

2011: Zahl der M2M-Karten ist eine WIK-Schätzung

2012: Rückgang der gesamten SIM-Kartenzahl ist auf Bereinigungen der Netzbetreiber bei längerfristig inaktiven SIM-Karten zurückzuführen³¹

Quelle: WIK basierend auf Jahresberichten der Bundesnetzagentur.

Im M2M-Bereich verzehnfachte sich der Gesamtbestand der SIM-Karten von knapp 2 Mio. Karten im Jahr 2010 auf etwa 23 Mio. im Jahr 2018 (siehe Abbildung 4-1). Innerhalb dieses Zeitraums ist ein kontinuierliches Wachstum mit einem CAGR von 40% zu beobachten.

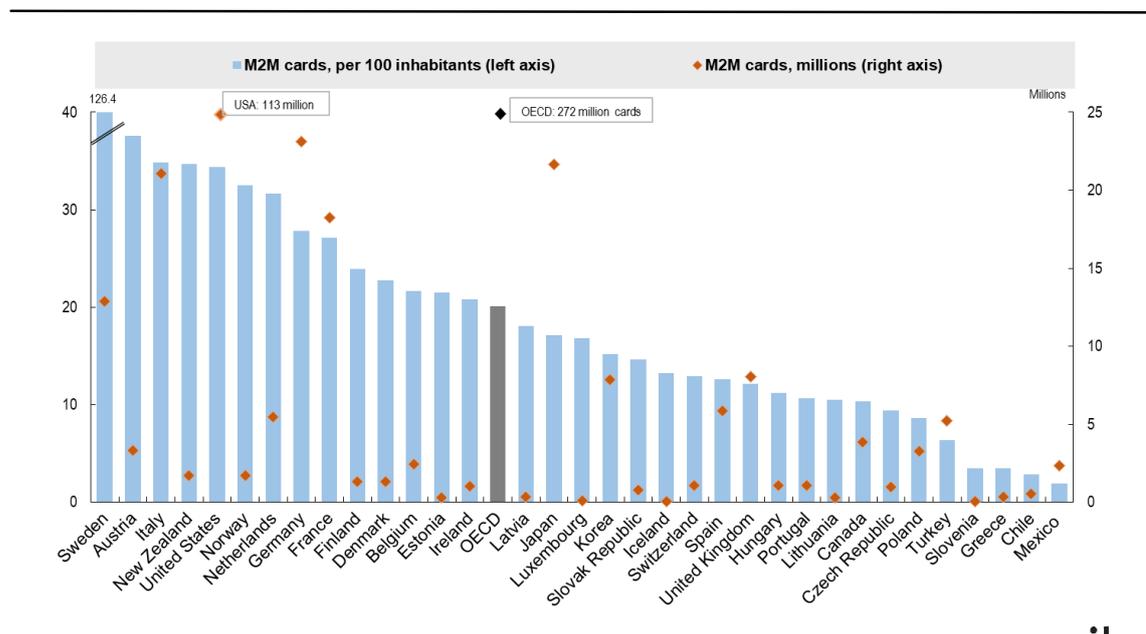
Während im Jahr 2010 nur 1% aller erfassten SIM-Karten dem M2M-Bereich zuzuordnen waren, lag dieser Anteil im Jahr 2018 bei 17%. Im Jahr 2010 war im Bereich der Individualkommunikation bereits eine Sättigungsgrenze erreicht, da infolge von Zweit- und Drittverträgen schon eine rein rechnerische Penetration von mehr als 100% gegeben war. Für den Gesamtzeitraum 2010-2018 konnte noch ein Wachstum um 6% verzeichnet werden (bei einem CAGR von 1%), wobei die beobachtbaren Schwankungen im SIM-Karten-Bestand auf Bereinigungen der Netzbetreiber um längerfristig inaktive SIM-Karten zurückzuführen sind.³²

³¹ Vgl. Bundesnetzagentur (2013): Jahresbericht 2012, S. 78, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2013/130506_Jahresbericht2012.pdf?blob=publicationFile&v=5.

³² Vgl. Bundesnetzagentur (2013): Jahresbericht 2012, S. 78, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2013/130506_Jahresbericht2012.pdf?blob=publicationFile&v=5.

Daten zur internationalen Entwicklung des M2M-Marktes werden von der OECD bereitgestellt. Für Deutschland werden im Einklang mit der Bundesnetzagentur für Dezember 2018 23 Mio. M2M-SIM-Profile ausgewiesen. In der gesamten OECD sind Ende 2018 bereits 272 Mio. SIM-Karten für M2M-Kommunikation im Einsatz, d.h. Deutschland hat hier einen Anteil von ca. 8% (siehe Abbildung 4-2). Das größte Volumen haben mit 113 Mio. M2M-SIM-Karten die USA. Bezogen auf die M2M-Penetration gehört Deutschland zu den Top 10. An der Spitze stehen in Bezug auf diese Kennzahl Schweden, Österreich und Italien (vor Neuseeland und den USA).

Abbildung 4-2: M2M-SIM-Karten in den OECD-Ländern (Dezember 2018)



Quelle: OECD.³³

Nationale Unterschiede sind hierbei jedoch nicht unbedingt auf einen höheren Entwicklungsstand im Bereich M2M zurückzuführen, sondern können auch das Resultat einer intensive exterritorialen Nutzung von Rufnummernressourcen aus bestimmten Ländern sein (vgl. auch Kapitel 6.1.3). Telenor nutzt beispielsweise 6,8 von seinen 9,8 Mio. schwedischen M2M SIM-Karten außerhalb Schwedens.³⁴

³³ Vgl. OECD (2018): OECD Broadband statistics, 1.12. M2M/embedded mobile cellular subscriptions, December 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics/>.

³⁴ Vgl. PTS (2019): The Swedish Telecommunications Market 2018, S. 10, elektronisch verfügbar unter: <https://www.pts.se/contentassets/70e598b7a817445cafae5b6f1e12eae9/swedish-telecoms-market-2018.pdf>.

4.2 Zukünftige Entwicklung

Zu der in Deutschland über SIM-Profile erfolgenden M2M-Kommunikation, die in der vorliegenden Studie im Fokus steht, sind keine aktuellen Prognosen verfügbar.

Es existiert jedoch eine Vielzahl von weltweit ausgerichteten Studien, die basierend auf unterschiedlichen Begriffsabgrenzungen und Methodiken Zahlen zur Entwicklung von M2M ausweisen (siehe Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2).

Tabelle 4-1: Studienüberblick M2M-Prognosen: Erfasste Technologien

	Short Range (WLAN, Blue- tooth etc.)	Öffentliches zelluläres Mo- bilfunknetz	LPWAN lizenziert	LPWAN unlizenziert
Cisco (komplett) ³⁵	X	X	X	X
Cisco (mobil) ³⁶		X	X	X
Ericsson ³⁷		X	X	
IoT Analytics ³⁸	X	X	X	X
GSMA ³⁹		X	X	
WIK-Schätzung		X	X	

Quelle: WIK.

-
- 35** Vgl. Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022, White Paper, elektronisch verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html> sowie VNI Forecast Highlights Tool elektronisch verfügbar unter: https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights.html#.
- 36** Vgl. Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022, White Paper, elektronisch verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.pdf> sowie VNI Mobile Forecast Highlights Tool elektronisch verfügbar unter: https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/forecast-highlights-mobile.html.
- 37** Vgl. Ericsson (2019): Ericsson Mobility Report, November 2019, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/4acd7e/assets/local/mobility-report/documents/2019/emr-november-2019.pdf>.
- 38** Vgl. Lueth, Lasse (2018): State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating, August 8, 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>.
- 39** Vgl. GSMA (2014): Cellular M2M forecasts and assumptions: 2010–2020, September 2014, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/09/GSMA-Intelligence-Cellular-M2M-forecasts-2010-2020.pdf>.

Tabelle 4-2: Studienüberblick: Definitionen von M2M

	Definition M2M
Cisco	“Machine-to-machine technologies that allow systems to communicate with other devices of the same capability, such as utility metering, security and surveillance, fleet management, GPS and navigation, asset tracking, and healthcare record devices.” ⁴⁰
Ericsson	In seinem Mobility Report konzentriert sich Ericsson ausschließlich auf cellular IoT und identifiziert Anwendungsbereiche, die in Legacy (2G/3G), Broadband IoT (LTE), Massive IoT (NB-IoT/Cat-M), Critical IoT (5G) und Industrial automation IoT unterschieden werden.
GSMA	“A unique SIM card registered on the mobile network at the end of the period, enabling mobile data transmission between two or more machines. It excludes computing devices in consumer electronics such as e-readers, smartphones, dongles and tablets.” “M2M denotes communication between machines/objects on a point-to-point basis, utilising the mobile network either directly, or using a gateway device. For example, in a smart metering deployment, if the smart meters are deployed using PLC and use mobile network only at the point of aggregation, we count this as one cellular connection.” ⁴¹
IoT Analytics	Zu den IoT-Geräten für Privat- (z.B. Smart Home) und Geschäftskunden (z.B. angeschlossene Maschinen) zählen keine Computer, Laptops, Festnetztelefone, Mobiltelefone oder Tablets. Gezählt werden aktive Knoten/Geräte oder Gateways, die die Endsensoren konzentrieren, nicht jeder Sensor/Aktor. Einfache, einseitig gerichtete Kommunikationstechnik wird nicht berücksichtigt (z.B. RFID, NFC).

Quelle: WIK.

Basierend auf einer eingehenden Analyse dieser Studien und ergänzenden Experten-gesprächen mit Cisco und Ericsson können für die WIK-Schätzung wichtige Anhaltspunkte für die zu erwartenden Wachstumsraten, erkennbare Trends und Wachstumstreiber identifiziert werden.

Im Folgenden (Kapitel 4.2.1 bis 4.2.4) wollen wir auf die Ergebnisse einiger der benannten Studien mit besonderer Relevanz näher eingehen.⁴²

4.2.1 Cisco VNI

Cisco legt mit seinem Cisco VNI⁴³ (und seiner gesondert auf den Mobilfunkmarkt bezogenen Auswertung⁴⁴) jährlich aktualisierte Erhebungen zum globalen Festnetz- und

⁴⁰ <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-forecast-ga.html>

⁴¹ GSMA (2014): Cellular M2M forecasts and assumptions: 2010–2020, September 2014, S. 5, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/09/GSMA-Intelligence-Cellular-M2M-forecasts-2010-2020.pdf>.

⁴² Über diese Studien hinaus haben wir im Rahmen der Literaturlauswertung weitere Prognosen von Marktforschungsunternehmen wie IHS, Strategy Analytics, Gartner, IDC, Berg Insight u.a. gesichtet, auf die im Folgenden jedoch nicht näher eingegangen wird.

Mobilfunkmarkt vor, im Rahmen derer auch M2M adressiert wird (siehe Tabelle 4-3). Die aktuell verfügbare Prognose bezieht sich auf den Zeitraum 2017-2022.

Da auch Zahlen für Regionen und einzelne Länder ausgewiesen werden, ist Cisco die einzige öffentlich zugängliche Quelle mit aktuellen Prognosen für M2M in Deutschland. In Bezug auf die vorliegende Studie passt die Definition/Methodik zur Erfassung von M2M nicht exakt, da Cisco für M2M-Kommunikation in seinem kompletten VNI auch WLAN und unlicenzierte LPWAN bzw. in seinem Mobile VNI unlicenzierte LPWAN-Technologien mit einschließt.

-
- 43** Vgl. Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022, White Paper, elektronisch verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf> sowie VNI Forecast Highlights Tool, elektronisch verfügbar unter: https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights.html#.
- 44** Vgl. Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022, White Paper, elektronisch verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.pdf> sowie VNI Mobile Forecast Highlights Tool, elektronisch verfügbar unter: https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/forecast-highlights-mobile.html.

Tabelle 4-3: Studienüberblick CISCO VNI (2019)

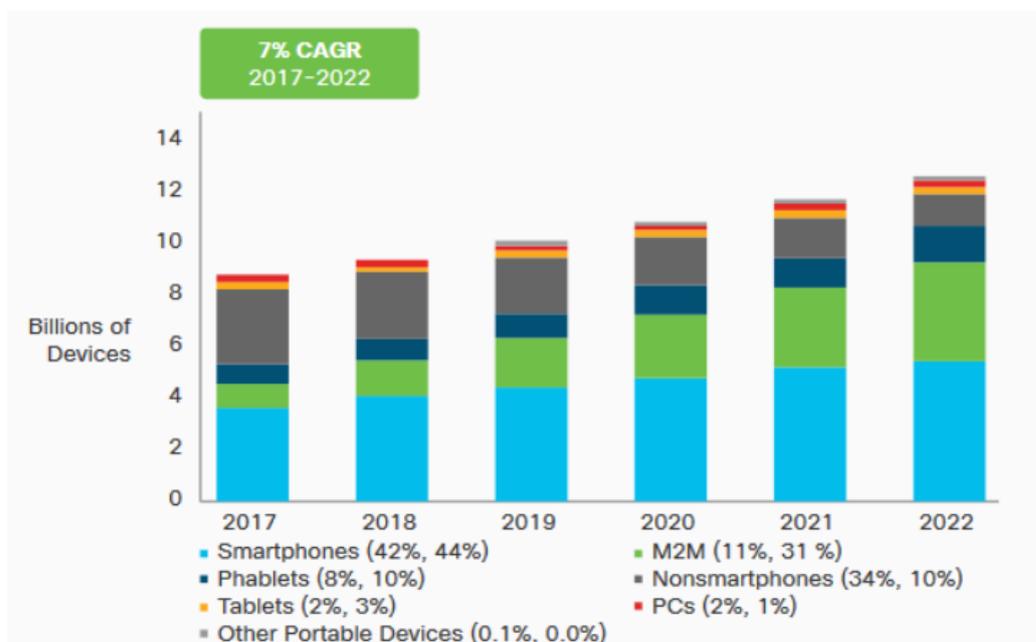
CISCO VNI		
Zeitraum	<ul style="list-style-type: none"> - seit 2006 - jährlich aktualisierte Erhebung - Prognosen für den jeweils kommenden 5-Jahres-Zeitraum 	
Methodik	<ul style="list-style-type: none"> - gleichbleibende Methodik - basiert auf Daten von Marktanalysten wie z.B. IDC, Ovum, ITU, Regulierrungsbehörden u.a. sowie Cisco-Schätzungen für bestimmte Anwendungen⁴⁵ 	
Inhaltlicher Fokus	<ul style="list-style-type: none"> - Fokus auf globalen Datenverkehr - Gesamtmarktanalyse Mobilfunk und Festnetz (Cisco VNI) sowie auf Mobilfunk spezialisierte Auswertung (Cisco Mobile VNI) - weltweite, regionale und Länderergebnisse - keine weitere Differenzierung von Technologien und Anwendungen innerhalb von M2M. Lediglich Daten für die Produktgruppe „Wearables“. - M2M-bezogene Informationen: Anzahl der vernetzten M2M-Module, M2M-Traffic, Anteil am gesamten Mobilfunkverkehr, Wearables 	
Verfügbarkeit	- öffentlich zugänglich (White Papers, Online-Tool)	
Wichtigste Kennzahlen für die vorliegende Studie	Weltweit	Deutschland
	<p><u>Mobilfunk und Festnetz:</u> <i>M2M-Geräte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2017: 6,1 Mrd. ▪ 2022: 14,6 Mrd. ▪ 2017–2022: CAGR 19% <p><i>Anwendungsbereiche</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Größter Anteil: Connected Home (ca. 48% im Jahr 2022) - Größter CAGR: Connected Car (28%) <p><i>Anteil an allen vernetzten Geräten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 2017: 34% - 2022: 51% <p><u>Mobilfunk:</u> <i>Mobile M2M-Verbindungen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2017: 974,5 Mio. ▪ 2022: 3,9 Mrd. ▪ 2017–2022: 32% CAGR <p><i>Anteil an gesamten Geräteverbindungen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2017: 11,4% ▪ 2022: 31,3% 	<p><u>Mobilfunk und Festnetz:</u> <i>M2M-Geräte</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2017: 192 Mio. ▪ 2022: 477 Mio. ▪ 2017–2022: CAGR 20% <p><i>Anteil am Weltmarkt: 3%</i></p> <p><u>Mobilfunk:</u> <i>Mobile M2M-Verbindungen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2017: 29,8 Mio. ▪ 2022: 122,4 Mio. ▪ 2017–2022: 33% CAGR <p><i>Anteil an gesamten Geräteverbindungen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2017: 20,7% ▪ 2022: 51,3% <p><i>Anteil am Weltmarkt: 3%</i></p>
Nutzen der Quelle für die vorliegende Studie	<ul style="list-style-type: none"> + Qualität der Quelle: verlässlich, langjährig, nachvollziehbar, öffentlich verfügbar + Gesonderte Daten für Deutschland - Mobilfunkgestützte M2M-Verbindungen umfassen zellulären Mobilfunk und sämtliche LPWAN-Technologien, d.h. auch unlicenzierte 	

Quelle: WIK basierend auf Cisco VNI⁴⁶ und Cisco VNI Mobile.

⁴⁵ Vgl. Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022, Appendix A, elektronisch verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.pdf>.

Laut Cisco entfielen 2017 11% aller mobil vernetzten Geräte weltweit auf M2M – dieser Anteil soll bis 2022 auf 31% steigen (siehe Abbildung 4-3). Im Vergleich zu allen anderen Gerätetypen generiert die M2M-Kommunikation das stärkste Wachstum.

Abbildung 4-3: Cisco-Prognose: Mobile Endgeräte und Verbindungen weltweit nach Gerätetyp (in Mrd., 2017–2022)



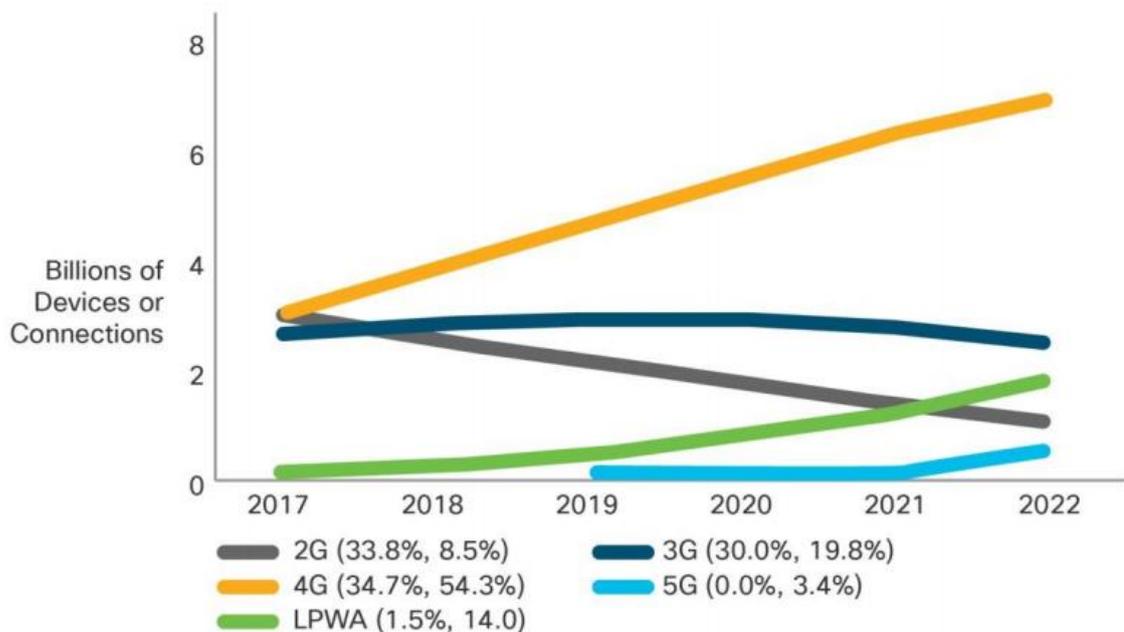
Quelle: Cisco VNI Mobile (2019).⁴⁷

Bezogen auf die insgesamt im Mobilfunkmarkt eingesetzten Anschlusstechnologien zeigen die Cisco-Daten, dass sowohl LPWAN als auch 5G heute keine bzw. eine sehr geringfügige Rolle spielen. Für 2022 werden immerhin 14% der vernetzten Geräte im LPWAN-Bereich erwartet (3,4% bei 5G). Da sich diese Aussagen jedoch auf den gesamten Markt beziehen, kann von einem wesentlich höheren Anteil der (im Consumer-Bereich irrelevanten) LPWAN-Technologie im M2M-Bereich ausgegangen werden.

⁴⁶ Vgl. Cisco (2019): VNI Forecast Highlights Tool, elektronisch verfügbar unter: https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights.html#, Cisco (2019): VNI Mobile Forecast Highlights Tool, elektronisch verfügbar unter: https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/forecast-highlights-mobile.html.

⁴⁷ Vgl. Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022, White Paper, S. 6, elektronisch verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.pdf>.

Abbildung 4-4: Cisco-Prognose: Mobile Endgeräte und Verbindungen weltweit nach Anslusstechologie (in Mrd., 2017–2022)



Quelle: Cisco VNI Mobile (2019).⁴⁸

4.2.2 Ericsson Mobility Report

Im **Ericsson Mobility Report** (siehe Tabelle 4-4)⁴⁹ wird seit 2011 jährlich der weltweite Mobilfunkverkehr erfasst. Aktuell ist eine Prognose für den Zeitraum 2018-2024 verfügbar. Ericsson weist Daten für einzelne Regionen (z.B. Westeuropa), jedoch keine landesspezifischen Daten aus. Der Mobilfunkmarkt und -verkehr wird in vielfältiger Weise detailliert analysiert, z.B. bezogen auf die Verfügbarkeit unterschiedlicher Zugangstechnologien und der Mobilfunkverkehrsentwicklung nach Anwendungskategorien. Connected Devices werden seit 2015 erfasst.

Da Ericsson sich auf den Mobilfunkmarkt konzentriert, stimmt die M2M-Abgrenzung von Ericsson mit den für die WIK-Schätzung relevanten Teilbereichen der M2M-Kommunikation (öffentliches zellulares Mobilfunknetz und lizenzierte LPWAN-Technologien) überein.

⁴⁸ Vgl. Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022 White Paper, S. 16, elektronisch verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.pdf>.

⁴⁹ Vgl. Ericsson (2019): Ericsson Mobility Report, November 2019, S. 8, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/49d1d9/assets/local/mobility-report/documents/2019/ericsson-mobility-report-june-2019.pdf>.

Tabelle 4-4: Studienüberblick Ericsson Mobility Report (2019)

Ericsson Mobility Report	
Zeitraum	- seit 2011 durchgeführt mit gleichbleibender Methodik - jährlich aktualisierte Erhebung - Prognosen für den jeweils kommenden 5-Jahres-Zeitraum (derzeit: 2019–2025)
Methodik	- Daten aus verschiedenen Quellen, validiert mit internen Ericsson-Daten, inkl. Messungen in Kundennetzwerken - Einfluss von makroökonomischen und technischen Entwicklungen, Annahmen über Marktreifen und Nutzertrends
Inhaltlicher Fokus	- Fokus auf globalen Datenverkehr - Fokus auf Mobilfunk - Differenzierung innerhalb von IoT nach Technologien (Mobilfunknetz, LPWAN) - Weltweite und regionale Analyseergebnisse
Verfügbarkeit	- öffentlich zugänglich (White Papers, Online-Tool)
Wichtigste Kennzahlen für die vorliegende Studie	IoT-Verbindungen (über öffentliche Mobilfunknetze): <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2019: 1,3 Mrd. ▪ 2025: 5,01 Mrd. ▪ 2019–2025: 25% CAGR ▪ 52% aller cellular IoT-Verbindungen werden in 2025 über NB-IoT und Cat-M realisiert
Nutzen der Quelle für die vorliegende Studie	+ Qualität der Quelle: verlässlich, langjährig, nachvollziehbar, öffentlich verfügbar + Mobile M2M-Verbindungen umfassen zellulären Mobilfunk und lizenzierte LPWAN-Technologien + Daten über Technologien - Keine Daten für Deutschland

Quelle: Ericsson (2019).⁵⁰

Die vernetzten Geräte werden als „IoT–Connections“ ausgewiesen. Dabei werden auch verschiedene Konnektivitätstechnologien unterschieden. Zellulare IoT-Technologien bilden den überwiegenden Teil der wide-area-IoT (in den zusätzlich unlicenzierte Technologien wie z.B. Sigfox und Lora fallen). Der Anteil der zellularen IoT-Technologie an wide-area-IoT steigt der Prognose von Ericsson zufolge von 71% (2018) auf 93% (2024) (siehe Tabelle 4-5).

⁵⁰ Vgl. Ericsson (2019): Ericsson Mobility Report, November 2019, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/4acd7e/assets/local/mobility-report/documents/2019/emr-november-2019.pdf>

Tabelle 4-5: Ericsson-Prognose: IoT-Verbindungen über öffentliche Mobilfunknetze weltweit (in Mrd., 2019–2025)

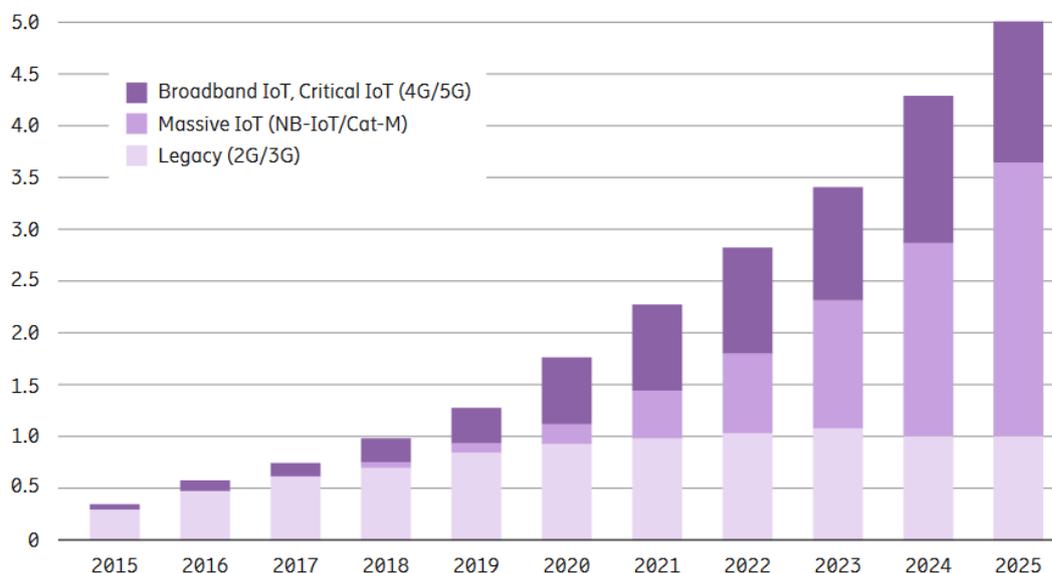
IoT	2019	2025	CAGR
Wide-area IoT	1.4	5.4	24%
Cellular IoT ³	1.3	5.0	25%
Short-range IoT	9.3	19.5	13%
Total	10.8	24.9	15%

Quelle: Ericsson (2019).⁵¹

Innerhalb des zellularen IoT-Bereichs wird bei den LPWAN-Technologien NB-IoT und Cat-M das stärkste Wachstum erwartet. 5G befindet sich noch in einer Anfangsphase, deren weitere Entwicklung nur schwierig vorherzusagen ist. Für den Bereich industrieller Automation wird aufgrund seiner aktuell noch geringen Bedeutung keine separate Prognose ausgewiesen.

⁵¹ Vgl. Ericsson (2019): Ericsson Mobility Report, November 2019, S. 17, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/4acd7e/assets/local/mobility-report/documents/2019/emr-november-2019.pdf>.

Abbildung 4-5: Ericsson-Prognose: Zellulare IoT-Verbindungen nach Technologie weltweit (in Mrd., 2015–2025)



¹ Cat-M includes both Cat-M1 and Cat-M2. Only Cat-M1 is being supported today

² GSA, Oct 2019

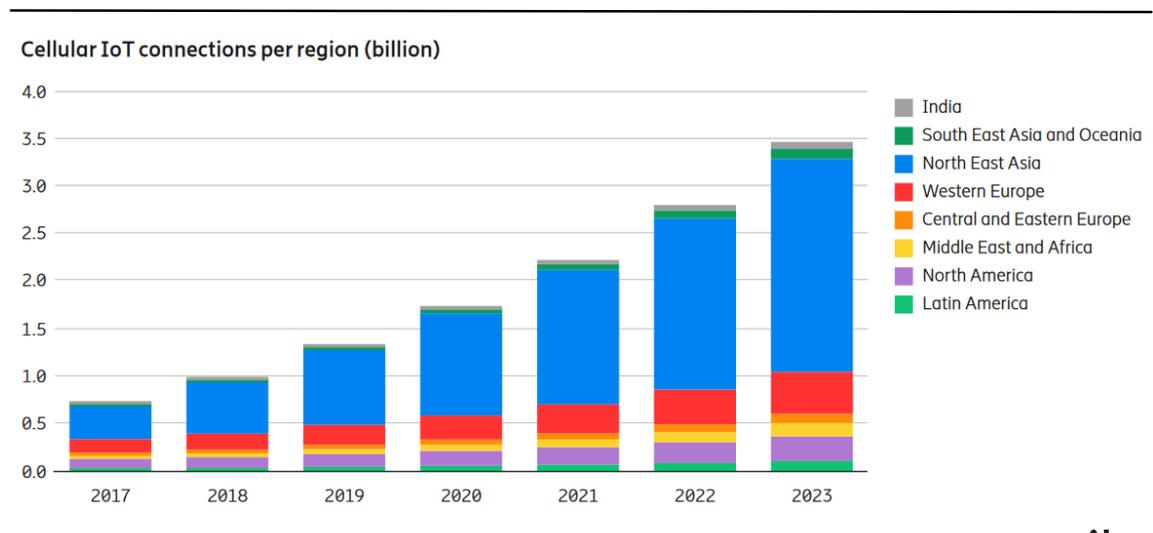
³ These figures are also included in the figures for wide-area IoT

Quelle: Ericsson.⁵²

Innerhalb des globalen IoT-Marktes entfällt der größte Anteil auf Nordostasien (siehe Abbildung 4-6).

⁵² Vgl. Ericsson (2019): Ericsson Mobility Report, November 2019, S. 17, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/4acd7e/assets/local/mobility-report/documents/2019/emr-november-2019.pdf>.

Abbildung 4-6: Ericsson-Prognose: IoT connections über öffentliche Mobilfunknetze weltweit nach Regionen (in Mrd., 2017–2023)



Quelle. Ericsson (2019).⁵³

4.2.3 GSMA

Mit Blick auf die für die vorliegende Studie erforderliche Begriffsabgrenzung von M2M sind auch Daten der internationalen Vereinigung der Mobilfunknetzbetreiber (und weiterer Akteure des Mobilfunkmarkts) **GSMA** geeignet, da sie ausschließlich auf M2M im öffentlichen Mobilfunknetz fokussiert.

Im Jahr **2014** veröffentlichte die GSMA eine Prognose für die Entwicklung der M2M-Kommunikation, die sich auch mit den Wachstumstreibern auseinandersetzt und verschiedene Szenarien betrachtet.⁵⁴

⁵³ Vgl. Ericsson (2019): Ericsson Mobility Report, Juni 2019, S. 16, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2019/ericsson-mobility-report-june-2019.pdf>.

⁵⁴ Vgl. GSMA (2014): Cellular M2M forecasts and assumptions: 2010-2020, September 2014, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/09/GSMA-Intelligence-Cellular-M2M-forecasts-2010-2020.pdf>.

Tabelle 4-6: Studienüberblick GSMA (2014)

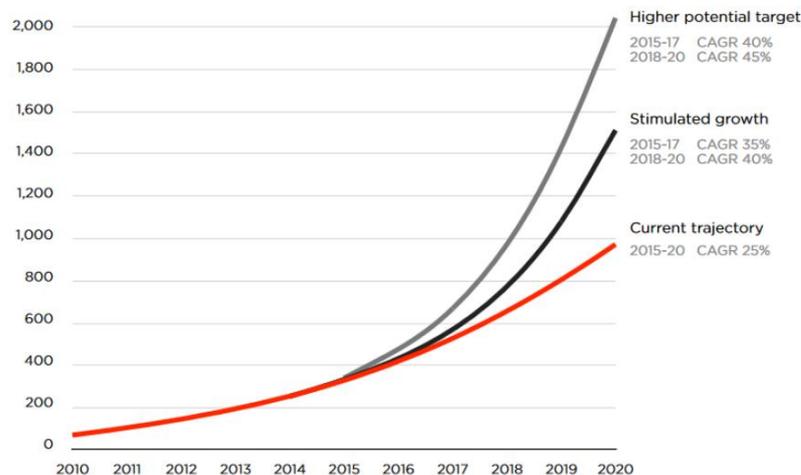
GSMA	
Zeitraum	- 2010–2020
Methodik	- Ausgangspunkt: M2M-Dienste der Mobilfunknetzbetreiber (Anzahl der Betreiber mit kommerziellem M2M-Angebot, Launch Dates, Partnerschaften und Anwendungsfelder) basierend auf Primär- und Sekundärrecherche, darauf basierend Data-Modelling und -Forecasting
Inhaltlicher Fokus	- Fokus auf M2M im Mobilfunk - Weltweit - Anwendungsfelder
Verfügbarkeit	- Öffentlich zugänglich
Wichtigste Kennzahlen für die vorliegende Studie	<p>Szenario 1: Fortsetzung des gegenwärtigen Wachstums:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2020: 974 million cellular M2M connections • CAGR 2015–2020: 25% <p>Szenario 2: Günstige Marktbedingungen (Wachstumstreiber: politische Initiativen in Schlüsselbereichen wie z.B. Energie, Smart City, Automobil, Gesundheit), Kostenreduktionen bei M2M-Modulen, steigende Standardisierung und Sicherheit, neue Geschäftsmodelle</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2020: 1,6 Mrd. cellular M2M connections • CAGR 2015–2017: 35% • CAGR 2018–2020: 40% <p>Szenario 3: Sehr günstige Marktbedingungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2020: 2 Mrd. cellular M2M connections • CAGR 2015–2017: 40% • CAGR 2018–2020: 45% <p>Asien-Pazifik-Region bleibt weiterhin größter Markt (2020: 50% aller globalen cellular M2M connections, davon allein China 36% vom Weltmarkt).</p> <p>Europa: CAGR: 27% (2010–2013), 23% (2014–2020)</p> <p>Welt: CAGR: 47% (2010–2013), 26% (2014–2020)</p>
Nutzen der Quelle für die vorliegende Studie	<ul style="list-style-type: none"> + Ausschließlich lizenzierter Mobilfunk + Zwei Szenarien + Transparente Annahmen für Prognose - Kein Update verfügbar - Keine Daten für Deutschland

Quelle: GSMA Intelligence.⁵⁵

Die CAGR in den betrachteten Szenarien schwanken je nach Betrachtungszeitraum zwischen 25 und 45% (siehe Abbildung 4-7).

⁵⁵ Vgl. GSMA Intelligence (2014): Cellular M2M forecasts and assumptions: 2010-2020, September 2014, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/09/GSMA-Intelligence-Cellular-M2M-forecasts-2010-2020.pdf>.

Abbildung 4-7: GSMA-Szenarien: Zellulare M2M-Verbindungen, weltweit
(in Mio., 2010–2020)



Quelle: GSMA.⁵⁶

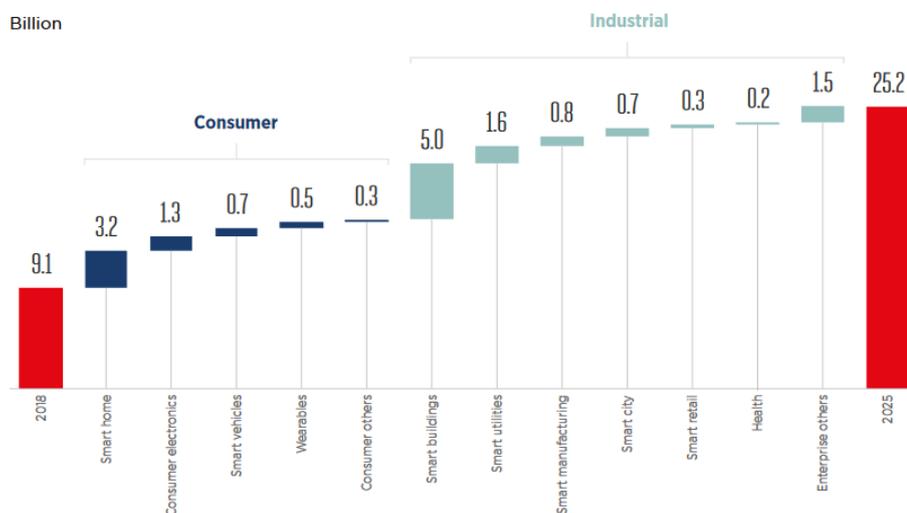
Diese Studie wurde in gleicher Form nicht aktualisiert. Allerdings veröffentlichte die GSMA im Jahr 2019 eine Studie zum gesamten Mobilfunkmarkt, in der sie sich auch mit IoT auseinandersetzt, wobei die konkrete Abgrenzung des Begriffs nicht eindeutig nachvollzogen werden kann.⁵⁷ Es wird prognostiziert, dass die Anzahl der IoT-Verbindungen über zellulare und nicht-zellulare Mobilfunknetze zwischen 2018 und 2025 von ca. 9 Mrd. auf 25 Mrd. weltweit steigen wird.⁵⁸ Als wichtigste Wachstumstreiber identifiziert sie Use cases in den Bereichen Smart Building und Smart Home. Für das Jahr 2018 geht die GSMA bereits von 83 kommerziell betriebenen Netzen weltweit aus, die LTE-M und/oder NB-IoT nutzen.

⁵⁶ Vgl. GSMA (2014): Cellular M2M forecasts and assumptions: 2010-2020, September 2014, S. 6, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/09/GSMA-Intelligence-Cellular-M2M-forecasts-2010-2020.pdf>.

⁵⁷ Vgl. GSMA (2019): The Mobile Economy 2019, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=b9a6e6202ee1d5f787cfebb95d3639c5&download>.

⁵⁸ Vgl. GSMA (2019): The Mobile Economy 2019, S. 36, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=b9a6e6202ee1d5f787cfebb95d3639c5&download>.

Abbildung 4-8: GSMA-Prognose: Anzahl der IoT-Verbindungen weltweit (in Mrd., 2018–2025)



Quelle: GSMA (2019).⁵⁹

4.2.4 IoT Analytics

Das auf IoT spezialisierte Marktforschungsunternehmen **IoT Analytics**⁶⁰ konzentriert sich auf den gesamten IoT-Bereich und setzt sich intensiv mit einzelnen Konnektivitätslösungen für IoT auseinander (siehe Tabelle 4-7).

⁵⁹ Vgl. GSMA (2019): The Mobile Economy 2019, S. 36, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=b9a6e6202ee1d5f787cfbb95d3639c5&download>.

⁶⁰ Vgl. Lueth, Lasse (2018): State of the IoT 2018 - Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating August 8, 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>.

Tabelle 4-7: Studienüberblick IoT Analytics (2018)

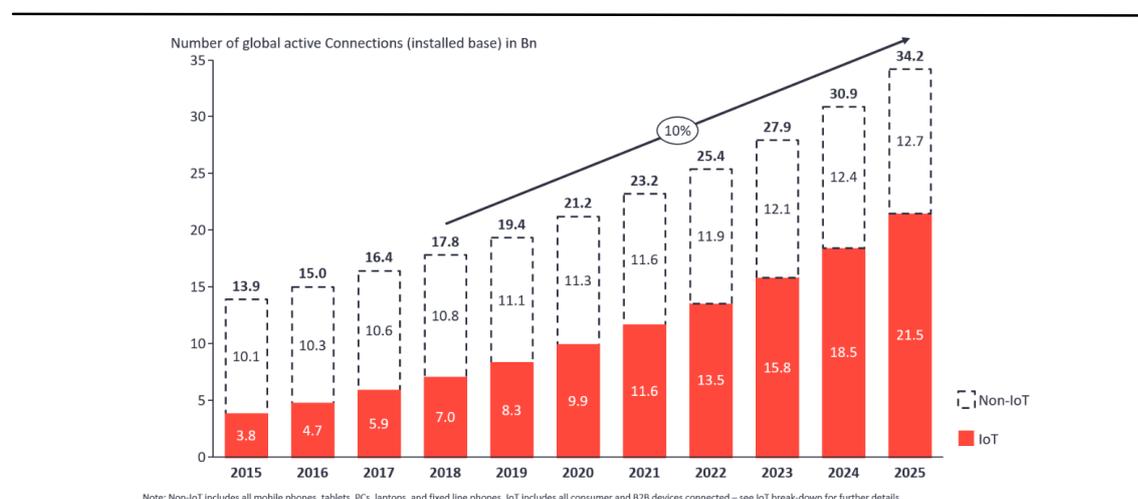
IoT Analytics	
Zeitraum	- 2015–2025 - Aktualisierung alle 6 Monate
Methodik	- Markt für active connected devices, wird heruntergebrochen auf Industrien, Technologien und Regionen - Basierend auf Expertengesprächen, Konferenzen, Briefings und Analyst Calls
Inhaltlicher Fokus	- Anzahl der vernetzten Geräte insgesamt sowie unterschieden in IoT und Non-IoT <ul style="list-style-type: none"> ○ IoT: Consumer (z.B. Smart Home) und Enterprise/B2B (z.B. vernetzte Produktion). ○ Non IoT: Smartphones, Tablets, Laptops und Festnetztelefone - Technologien - Umsatz - Trends auf verschiedenen Wertschöpfungsstufen
Verfügbarkeit	- Kostenpflichtige Studie, Überblick als Pressemitteilung verfügbar
Wichtigste Kennzahlen	Vernetzte Geräte insgesamt (weltweit): <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2015: 13,9 Mrd. ▪ 2018: 17,8 Mrd. ▪ 2020: 21,2 Mrd. ▪ 2025: 34,2 Mrd. Darunter IoT-Geräte (weltweit): <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2015: 3,8 Mrd. ▪ 2018: 7,0 Mrd. ▪ 2020: 9,9 Mrd. ▪ 2025: 21,5 Mrd.
Nutzen der Quelle für die vorliegende Studie	+ IoT-Fokus + Kontinuierliche Aktualisierung - Breite Definition in Bezug auf Technologien, daher keine Daten für M2M im lizenzierten Bereich (kostenfrei) - Keine Daten für Deutschland (kostenfrei)

Quelle: IoT Analytics (2018).⁶¹

Insgesamt erwartet IoT Analytics einen Anstieg der weltweit aktiven vernetzten Geräte im IoT-Bereich von 3,8 Mrd. (2015) auf 21,5 Mrd. (2025).

⁶¹ Vgl. IoT Analytics (2018): State of the IoT & Short term market outlook 2018, August 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/product/state-of-the-iot-2018/>, Pressemitteilung siehe Lueth, Lasse (2018): State of the IoT 2018 - Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating. August 8, 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>.

Abbildung 4-9: IoT und Non-IoT (in Mrd., 2015–2025)

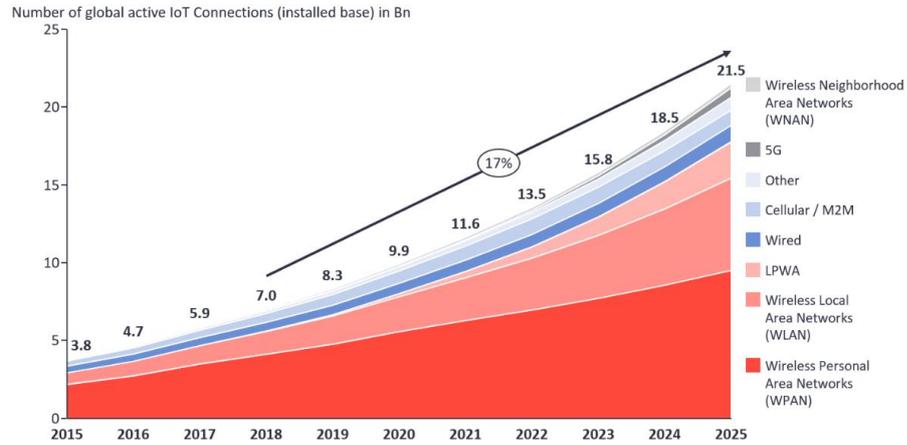


Quelle: IoT Analytics.⁶²

Mit Bezug auf die Art der Anbindung der vernetzten Geräte wird deutlich, dass über Mobilfunk derzeit nur ein vergleichsweise geringer Teil der Geräte miteinander kommuniziert. Im bisher noch unbedeutenden Bereich LPWA wird für die Zukunft ein deutliches Wachstum erwartet (siehe Abbildung 4-10).

⁶² Vgl. Lueth, Lasse (2018): State of the IoT 2018 - Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating, August 8, 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>.

Abbildung 4-10: IoT Analytics Prognose: Anzahl aktiver vernetzter IoT-Geräte weltweit nach Art der Konnektivität (in Mrd., 2015–2025)



Note: IoT Connections do not include any computers, laptops, fixed phones, cellphones or tablets. Counted are active nodes/devices or gateways that concentrate the end-sensors, not every sensor/actuator. Simple one-directional communications technology not considered (e.g., RFID, NFC). Wired includes Ethernet and Fieldbuses (e.g., connected industrial PLCs or I/O modules); Cellular includes 2G, 3G, 4G; LPWAN includes unlicensed and licensed low-power networks; WPAN includes Bluetooth, Zigbee, Z-Wave or similar; WLAN includes Wi-Fi and related protocols; WVAN includes non-short range mesh; Other includes satellite and unclassified proprietary networks with any range.

Quelle: IoT Analytics.⁶³

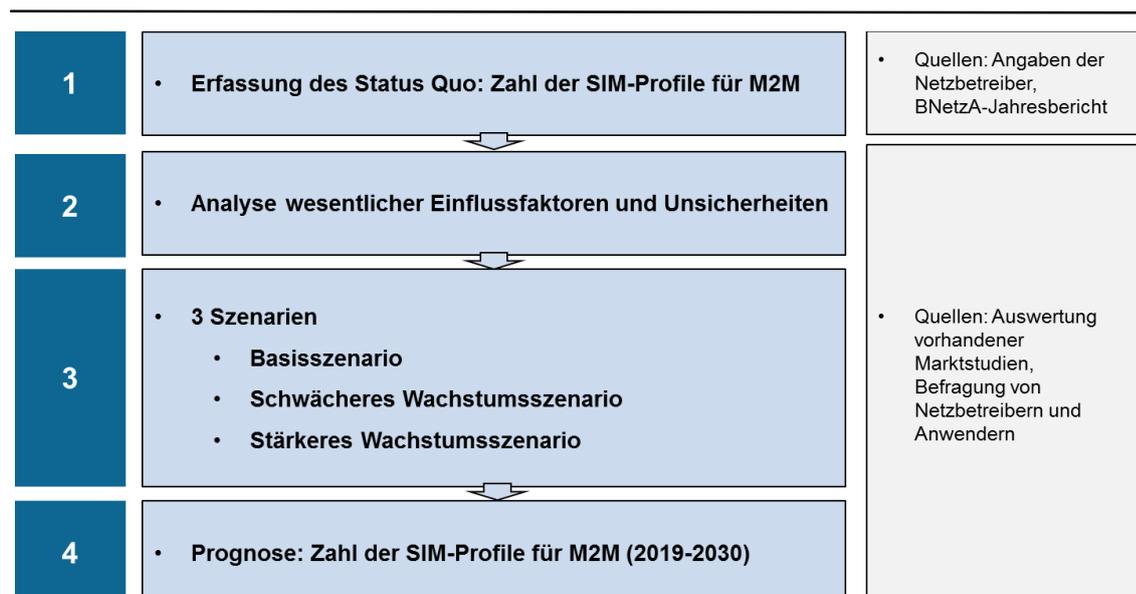
⁶³ Vgl. Lueth, Lasse (2018): State of the IoT 2018 - Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating, August 8, 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>.

5 WIK-Prognose: Szenarien für die mobilfunkgestützte M2M-Kommunikation

- Die M2M-Kommunikation wird von vielfältigen Einflussfaktoren geprägt, deren weitere Entwicklung nur mit hoher Unsicherheit vorhergesagt werden kann.
- Unterschiedliche Entwicklungsrichtungen werden in drei Szenarien zukünftiger M2M-Kommunikation im öffentlichen deutschen Mobilfunknetz abgebildet.
- Im Betrachtungszeitraum von 2019 bis 2030 können die CAGR zwischen ca. 10% und 30% schwanken und im Ergebnis kann die Anzahl der in im deutschen Mobilfunknetz für M2M-Kommunikation genutzten SIM stark von dem als am wahrscheinlichsten erachteten „Basisszenario“ abweichen.
- Im Basisszenario ist für das Jahr 2030 mit 223 Mio. SIM-Profilen für M2M-Kommunikation zu rechnen. Bei einem schwächerem Wachstum erwarten wir 87 Mio. SIM-Profile, bei einem stärkerem Wachstum hingegen 678 Mio..

In Abbildung 5-1 haben wir unser methodisches Vorgehen bei der Erstellung der WIK-Prognose dargestellt.

Abbildung 5-1: Ansatz der WIK-Prognose zur M2M-Kommunikation im öffentlichen Mobilfunk



Zur Erfassung der Ist-Situation werden die Daten der Bundesnetzagentur genutzt. Die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung berücksichtigt die Ergebnisse der in Kapitel 4.2 diskutierten Marktstudien. Darüber hinaus wurden unsere Einschätzungen durch Expertengespräche, WIK-Benchmarks und Plausibilitätsprüfungen validiert. Nach Analyse der relevanten Einflussfaktoren und Unsicherheiten werden Annahmen über drei verschiedene Wachstumsszenarien getroffen und auf dieser Basis eine quantitative Prognose über die Anzahl der M2M-Anwendungen im öffentlichen Mobilfunknetz erstellt.

Die WIK-Schätzung der zukünftigen Entwicklung der M2M-Kommunikation weist im Ergebnis (Kapitel 5.3) die folgenden Daten aus:

- Es wird der Zeitraum 2019–2030 betrachtet.
- Es ist anzunehmen, dass insbesondere Entwicklungen im Bereich 5G und LPWAN sich dann konkreter abzeichnen werden. Darüber hinaus werden sich bis dahin auch die Entwicklungen im Bereich der Campusnetze konkretisieren.
- Es werden drei verschiedene Wachstumsszenarien erarbeitet, wobei das Basisszenario die wahrscheinlichste Entwicklung abbildet.
- Es wird die Anzahl der SIM-Profile prognostiziert, die für M2M-Kommunikation im Sinne des Begriffsverständnisses der BNetzA (siehe Kapitel 3.1) zu erwarten ist.
- Die in der Prognose erfassten vernetzten Geräte nutzen für die M2M-Kommunikation ausschließlich öffentliche Mobilfunknetze und basieren somit auf zellularem Mobilfunk und lizenzierten LPWAN-Standards.
- Die prognostizierten Daten umfassen ausschließlich SIM-Profile, die von deutschen Netzbetreibern bereitgestellt werden.⁶⁴

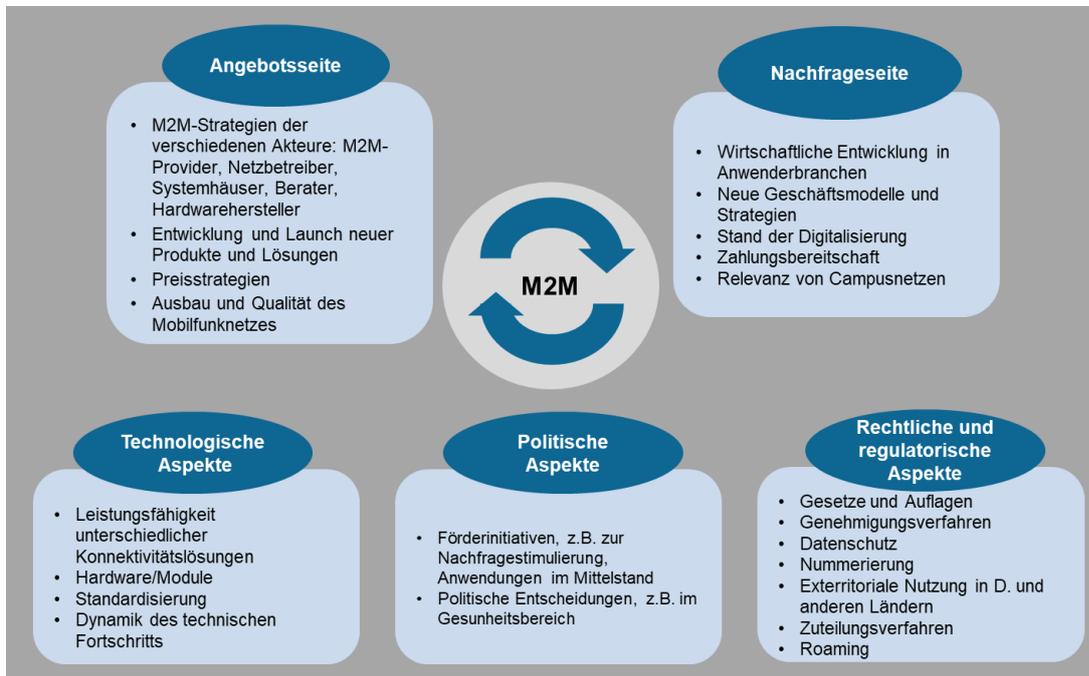
5.1 Relevante Einflussfaktoren

Die zukünftige Entwicklung der M2M-Kommunikation hängt von zahlreichen Faktoren ab, die durch wechselseitige Abhängigkeiten geprägt und größtenteils nur schwierig vorhersehbar sind. Diese betreffen zum einen die Rahmenbedingungen, die auf die Akteure einwirken (technologische, politische, rechtlich-regulatorische Entwicklungen), und zum anderen Entwicklungen auf Angebots- und Nachfrageseite der M2M-Kommunikation.

Im Folgenden sollen diese zentralen Einflussfaktoren-Bereiche im Hinblick auf ihre Bedeutung, Wechselwirkungen, bereits erkennbare Trends und auf bestehende Unsicherheiten analysiert werden.

⁶⁴ Dies bedeutet jedoch nicht, dass es sich um deutsche Nummern handelt (vgl. Kapitel 6.1.3).

Abbildung 5-2: Einflussfaktoren auf die Entwicklung der M2M-Kommunikation



Quelle: WIK.

5.1.1 Rahmenbedingungen

5.1.1.1 Konnektivität

Das Vorhandensein von Konnektivität ist eine wesentliche Voraussetzung für M2M-Lösungen. Hierbei stellen die verschiedenen Arten von Anwendungen unterschiedliche Voraussetzungen. Die Geschwindigkeit des Netzausbaus, die räumliche Verfügbarkeit der öffentlichen Mobilfunknetze und deren Leistungsfähigkeit haben einen direkten Einfluss auf das Wachstum von M2M in öffentlichen Mobilfunknetzen, da Anwender auf Konnektivität angewiesen sind und ggf. auf alternative Technologieplattformen ausweichen werden.

5.1.1.2 Technologische Entwicklungen

Die relevanten technologischen Rahmenbedingungen für die weitere Entwicklung der M2M-Kommunikation beziehen sich nicht nur auf die Leistungsfähigkeit von Konnektivitätslösungen, sondern umfassen auch andere Technologien, die zur Erbringung von IoT-Lösungen erforderlich sind (z.B. Robotik, KI, Big Data). Darüber hinaus beeinflus-

sen auch technologische Entwicklungen in den Anwenderbranchen, inwiefern dort IoT-Lösungen nachgefragt werden.

Inwieweit technologische Potentiale in allen relevanten Bereichen ausgeschöpft werden, hängt dabei von den Strategien der Anbieter ab. Zudem besteht ein Zusammenhang mit der öffentlichen Förderung von Forschung und Technologien rund um M2M, aber auch mit regulatorischen Rahmenbedingungen (insbesondere 5G-Lizenzen mit Blick auf Ausbauauflagen und Möglichkeiten für den Ausbau von Campusnetzen).

Man kann davon ausgehen, dass die noch jungen LPWAN-Technologien definitiv an Bedeutung zunehmen werden. Die Wachstumsgeschwindigkeit ist jedoch ebenso wie die Leistungsfähigkeit und zukünftige Relevanz unterschiedlicher LPWAN-Standards mit Unsicherheit behaftet. Darüber hinaus ist aber auch insbesondere die Dynamik des technischen Fortschritts in Bezug auf sämtliche rund um IoT-Lösungen erforderliche Soft- und Hardware kaum abzuschätzen.

5.1.1.3 Politische Rahmenbedingungen

Mit politischen Strategien und öffentlichen Förderprogrammen kann erheblicher Einfluss auf die weitere Entwicklung der M2M-Kommunikation in Deutschland genommen werden. Dies gilt zum einen für die Forschungsförderung in allen relevanten Technologiebereichen der gesamten M2M-Wertschöpfungskette (z.B. Robotik, KI). Zum anderen betrifft dies die gezielte Förderung der Anwendungsbereiche, um die Durchdringung der Wirtschaft mit M2M-Lösungen zu beschleunigen.

Während einige Vorreiterbranchen wie Automobil und Logistik M2M bereits nutzen, wird es noch dauern, bis alle Unternehmen die Potentiale von M2M erkennen. Weitere zentrale Bereiche wie das Gesundheitswesen sind sehr stark davon abhängig, inwieweit von politischer Seite zielgerichtete Strategien und Fördermaßnahmen zur umfassenden Digitalisierung vorhanden sind.

In Ländern wie China, Singapur, Südkorea und Indien hat IoT eine hohe politische Priorität und es wurden Fördermaßnahmen rund um das komplette IoT-Ecosystem entwickelt, einschließlich Anwendungsbereiche wie Smart Cities, Smart Grids, E-Health etc.⁶⁵

Derzeit fällt eine Einschätzung schwer, ob und wenn ja in welchem Umfang eine stärkere Förderung mit Relevanz für M2M in Deutschland zu erwarten ist. Da solche Pro-

⁶⁵ Einen knappen Überblick gibt z.B. EY (2019) Future of IoT, S.10-11, elektronisch verfügbar unter: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_-_Future_of_IoT/\\$FILE/EY-future-of-iot.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_-_Future_of_IoT/$FILE/EY-future-of-iot.pdf), KPMG (2019): Internet of Things in Smart cities, S. 14, elektronisch verfügbar unter: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/in/pdf/2019/05/urban-transformation-smart-cities-iot.pdf>. Zu Indien siehe auch Government of India, Ministry of Communication & Information Technology, Department of Telecommunications (2015): National Telecom M2M Roadmap, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2015/01/India-M2M-roadmap-avaliable-market-consultations-on-IoT.pdf>

gramme eine gewisse Vorlaufzeit bedürfen, ist kurzfristig nicht davon auszugehen. Allerdings kann längerfristig nicht ausgeschlossen werden, dass IoT in Deutschland politisch eine höhere Priorität gewinnen wird.

5.1.1.4 Rechtliche und regulatorische Aspekte

Auch der rechtlich-regulatorische Bereich hat Einfluss darauf, welche Spielräume M2M-Anbieter bei der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle haben. Die Einflussosphäre umfasst die Frequenzvergabe, den Umfang des Netzausbaus (über Versorgungsauflagen) sowie Fragen im Zusammenhang mit dem Netzzugang bis hin zum Zugang zu Rufnummernressourcen. So führt z.B. die Genehmigung einer exterritorialen Nutzung in Deutschland dazu, dass Anbieter ausländische SIM-Profile für die Realisierung von M2M-Kommunikation in Deutschland nutzen, um u.a. mögliche Netzlücken durch Roaming zu schließen.

Auflagen für einzelne Anwendungsbereiche können auch Auswirkungen auf den Einsatz bestimmter Lösungen und damit die Marktentwicklung haben. So führte die obligatorische Einführung von eCall in Europa für alle ab April 2018 verkauften Autos für einen Anstieg der genutzten SIM-Profile. Da Veränderungen im rechtlich-regulatorischen Bereich grundsätzlich einen gewissen Vorlauf haben, sind sie auf kurze Sicht weitgehend stabil. Angesichts des langen Betrachtungszeitraums sind diese jedoch als dynamisch anzusehen.

5.1.2 Angebot und Nachfrage

5.1.2.1 Angebot

Die vielfältigen Akteure, die in die Leistungserstellung von M2M-Lösungen eingebunden sind (siehe 3.2), verfügen grundsätzlich über ein hohes innovatives Potential und können zahlreiche Dienste und Lösungen mit hohem Mehrwert auf den Markt bringen. Dabei sind vor allem Lösungen für den Massenmarkt (die Vernetzung einer hohen Anzahl an Geräten), entscheidend dafür, wie schnell sich die Zahl der SIM-Profile für die M2M-Kommunikation steigern kann. Es bestehen dabei Wechselwirkungen mit nachfrageseitigen Entwicklungen, die ihrerseits das Angebot stimulieren.

Es ist davon auszugehen, dass schrittweise neue Anwendungen in den Markt eingeführt werden, deren Launch jedoch kaum vorhersehbar ist. Wann und in welchem Umfang LPWAN-basierte Massenanwendungen realisiert werden, ist ebenso schwierig zu beurteilen wie der Anteil der LPWAN-Lösungen, die im lizenzierten Bereich stattfinden. Auch die Frage, ob zwischen lizenzierten und unlizenzierten LPWAN zukünftig komplementäre oder substitutive Beziehungen bestehen, ist nicht eindeutig zu beantworten.

Darüber hinaus ist die Bedeutungszunahme von 5G für M2M zwar mit hoher Sicherheit zu erwarten, die konkrete Implementierung von Use Cases basierend auf 5G jedoch schwierig abzuschätzen.

5.1.2.2 Nachfrage

Die weitere Entwicklung der M2M-Kommunikation hängt davon ab, wie schnell die deutsche Wirtschaft mit den neuen Diensten durchdrungen wird. Dabei ist die allgemeine wirtschaftliche Situation und die Innovationsfähigkeit und -tätigkeit der Anwenderunternehmen ebenso relevant, wie ihre Ressourcenausstattung zur Einführung der M2M-Kommunikation.

Die deutsche Wirtschaft ist sehr heterogen in Bezug auf ihre Wirtschafts- und Größenstruktur. Innovatoren und Early Adopter für M2M/IoT stammen vor allem aus dem Automobil- und Logistikbereich und sind vorwiegend Großunternehmen. Zu den Großunternehmen gehören jedoch nur 0,5% der knapp 3,5 Mio. deutschen Unternehmen.⁶⁶ Fraglich ist, wann und wie schnell die Potentiale der M2M-Kommunikation von der überwiegenden Mehrheit kleiner und mittlerer Unternehmen ausgeschöpft werden.

Darüber hinaus eröffnen sich durch die jüngst geschaffene Möglichkeit zur Beantragung lokaler 5G-Frequenzen im Bereich 3.700 MHz - 3.800 MHz in Deutschland vielfältige Optionen zum Betrieb von 5G in non-public networks.⁶⁷ Anwenderunternehmen aus verschiedenen Wirtschaftsbereichen, z.B. aus der Automobilbranche, haben bereits großes Interesse signalisiert.⁶⁸ Die möglichen Implementierungsszenarien sind vielfältig und ihre zukünftige Relevanz noch nicht einzuschätzen (vgl. auch Kapitel 6).

5.1.3 Zusammenfassende Bewertung

Die Analyse der Einflussfaktoren, ihrer Wechselwirkungen und Unsicherheiten verdeutlicht, dass in der Gesamtwirkung insbesondere drei besonders kritische Bereiche für die weitere Entwicklung der M2M-Kommunikation in Deutschland identifiziert werden können:

⁶⁶ Insgesamt sind laut Definition des Institut für Mittelstandsforschung (IfM) 99,5% aller 3,47 Mio. Unternehmen den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zuzurechnen. Vgl. Institut für Mittelstandsforschung (2019): Volkswirtschaftliche Bedeutung der KMU, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ifm-bonn.org/statistiken/mittelstand-im-ueberblick/#accordion=0&tab=0>.

⁶⁷ Vgl. zu den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und Use Cases 5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G ACIA) (2019): 5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios, White Paper, July 2019, elektronisch verfügbar unter: https://www.5g-acia.org/fileadmin/5G-ACIA/Publikationen/5G-ACIA_White_Paper_5G_for_Non-Public_Networks_for_Industrial_Scenarios/WP_5G_NPN_2019_01.pdf.

⁶⁸ Vgl. zu Rahmenbedingungen, Verwaltungsvorschriften, Antragsverfahren, Anhörungen und Stellungnahmen unter Bundesnetzagentur (2019): Regionale und lokale Netze, Frequenzen für das Betreiben regionaler und lokaler drahtloser Netze zum Angebot von Telekommunikationsdiensten, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html.

- Zum einen ist mit Blick auf Massenanwendungen von zentraler Bedeutung, welche Rolle lizenzierte LPWAN-Lösungen für die Realisierung von M2M spielen werden. Hier sind die Strategien der Anbieter ausschlaggebend, inwiefern sie die technologischen Potentiale von LPWAN ausschöpfen werden und wie dies denjenigen Akteuren gelingt, die auf unlizenzierte LPWAN-Lösungen setzen.
- Zum anderen ist die Diffusionsgeschwindigkeit von M2M entscheidend abhängig von wirtschaftlichen und technologischen Entwicklungen auf der Anwenderseite, in der Breite unterstützt durch öffentliche Förderung mittelständischer Nachfrage. Es ist davon auszugehen, dass diese Entwicklungen den gesamten Bereich der M2M-Kommunikation gleichermaßen betrifft, da für Nachfrager die Art der Konnektivitätslösung grundsätzlich nachrangig ist.
- Begleitend hätte längerfristig die Konzeption einer nachhaltigen IoT-Strategie in der Politik mit Relevanz für alle Teile des IoT-Ökosystems deutliche Auswirkungen auf die Verbreitung von M2M in Deutschland.

5.2 Annahmen für mögliche Zukunftsszenarien

Aufgrund der hohen Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung der M2M-Kommunikation sollen verschiedene mögliche Entwicklungspfade im Rahmen von drei Szenarien erarbeitet werden. Für **alle Szenarien** gelten gleichermaßen die folgenden **zentralen Annahmen**:

- Die Grundstrukturen im M2M-Bereich bleiben erhalten: Es erfolgt keine Disruption, die Anbieterstruktur ist vielfältig, Akteure behalten die heute erkennbaren Strategien und Positionierungen überwiegend bei (z.B. treten spezialisierte Lösungsanbieter nicht in den Netzbetrieb ein).
- Es treten keine umfassenden Wirtschafts- und Finanzkrisen, Kriege und andere Katastrophen mit enormen Auswirkungen ein.
- Es wird grundsätzlich von einer Bedeutungszunahme der M2M-Kommunikation ausgegangen, da alle verfügbaren Studien und Einschätzungen diese übereinstimmend erwarten. Eine Stagnation oder ein Rückgang von SIM-Karten für M2M-Kommunikation wird daher nicht in Betracht gezogen.
- Die M2M-Kommunikation befindet sich in einer frühen Phase, in der im wesentlichen Innovatoren und Early Adopter bereits entsprechende Lösungen eingesetzt haben. Das weitere Wachstum wird durch die schrittweise Einführung neuer Anwendungen für M2M-Kommunikation erzielt.
- Die Anzahl der SIM-Profile, die für Individualkommunikation in Smartphones, Tablets, PCs u.a. benötigt werden, steigert sich bis zum Ende des Betrachtungszeitraums.

tungszeitraums um 2% p.a.. So werden im Jahr 2030 in allen Szenarien 144 Mio. SIM-Profile für Individualkommunikation genutzt. Das entspricht 1,7 SIM-Profilen pro Kopf.

Alternative Entwicklungspfade entstehen durch die unterschiedlich starke Ausprägung verschiedener Wachstumstreiber, die basierend auf den relevanten Einflussfaktoren (siehe Kapitel 5.1) identifiziert werden können und im Zusammenwirken die Anzahl der für die M2M-Kommunikation eingesetzten SIM-Profile beeinflussen.

Für die vorliegende Studie werden **drei Szenarien** entwickelt:

- Ein „**Basisszenario**“, dem die wahrscheinlichste zukünftige Entwicklung des Marktes zugrunde liegt.
- Ein **Szenario mit stärker ausgeprägtem Wachstum**, das sich durch stärkere Ausprägung einzelner Wachstumstreiber entwickeln kann.
- Ein **Szenario mit schwächer ausgeprägtem Wachstum**, das durch ungünstigere Entwicklungen einzelner Einflussfaktoren entstehen kann.

Tendenziell ist eine stärkere Zunahme der M2M-Kommunikation zu erwarten, wenn die technologische Leistungsfähigkeit auf allen für die M2M-Kommunikation relevanten Wertschöpfungsstufen (siehe Kapitel 3.2) zunimmt und auch in den Anwenderbranchen selbst ein starker technischer Fortschritt zu verzeichnen ist. Darüber hinaus nimmt die Anzahl der SIM-Profile für M2M-Kommunikation stärker zu, wenn sich die Leistungsfähigkeit der lizenzierten Konnektivitätslösungen im Vergleich zu Alternativen – insbesondere den unlizenzierten LPWAN-Lösungen – steigert (und diese durch Anbieter vorangetrieben wird) (siehe Tabelle 5-1).

Des Weiteren kann das Wachstum gesteigert werden, wenn von politischer Seite der IoT-Förderung eine hohe Priorität beigemessen wird. Dies wäre insbesondere gegeben, wenn eine IoT-Strategie die gesamte Wertschöpfungskette umfassen und nachhaltig günstige Rahmenbedingungen schaffen würde. Bei Ausbleiben einer solchen Priorisierung sind in einem stärkeren Wachstumsszenario zumindest eine gezielte Nachfrageförderung (z.B. von mittelständischen Unternehmen) und/oder Unterstützung wichtiger Technologien mit Relevanz für M2M mit öffentlichen Mitteln zu erwarten.

Zudem kann ein deutlich stärkeres Wachstum der M2M-Kommunikation auch dann eintreten, wenn durch gesetzliche Vorgaben bestimmte Anwendungsbereiche forciert werden.

Nicht zuletzt sind bei sehr günstigen regulatorischen Rahmenbedingungen mit breitem Spielraum für M2M-Anbieter Impulse für mehr Wachstum anzunehmen. So kann z.B. die großzügige Anerkennung von Diensten als „M2M“ verbunden mit entsprechenden

Vorteilen im Umgang mit Roaming den Weg für neue Geschäftsmodelle ebnen und zu hohen Stückzahlen konsumerorientierter M2M-Produkte führen.

Tabelle 5-1: WIK-Prognose: Mögliche Ausprägungen im Bereich der Rahmenbedingungen

	Schwächeres Wachstum	Basisszenario	Stärkeres Wachstum
<i>Technologische Rahmenbedingungen</i>			
Leistungsfähigkeit bei IoT- Hard- und Software	+	++	+++
Techn. Entwicklungen in Anwenderbranchen	+	++	+++
Leistungsfähigkeit der Konnektivitätslösungen im lizenzierten Mobilfunkbereich	+	++	+++
Leistungsfähigkeit von unlizenzierten LPWAN-Lösungen	+++	++	+
<i>Politische Rahmenbedingungen</i>			
Gezielte Fördermaßnahmen für M2M in Anwenderunternehmen	+	++	+++
Förderung von KI, Robotik u.a. Komponenten von M2M-Lösungen	+	++	+++
Umfassende IoT-Strategie mit hoher politischer Priorität	+	++	+++
<i>Rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen</i>			
Erfordernis bestimmter M2M-Anwendungen aufgrund gesetzlicher Vorgaben (z.B. im Bereich Smart Metering)	+	++	+++
Spielraum für M2M-Anbieter durch regulatorische Rahmenbedingungen	+	++	+++

- + schwache Ausprägung des Faktors/entwickelt sich positiv mit Blick auf M2M
- ++ mittlere Ausprägung des Faktors/entwickelt sich sehr positiv mit Blick auf M2M
- +++ starke Ausprägung des Faktors/entwickelt sich optimal für M2M

Quelle: WIK.

Wie in Kapitel 5.1 aufgezeigt bestehen dabei starke Wechselwirkungen mit der Angebots- und Nachfrageseite.

Angebotsseitig werden in einem starken Wachstumsszenario 5G und lizenzierte LPWAN-Standards deutlich stärker für M2M eingesetzt als bei verhaltenem Wachstum. Aufgrund ihres Potentials für die massenweise Vernetzung von Geräten steigert sich mit stärkerer Verbreitung lizenzierter LPWAN-Lösungen die Anzahl der erforderlichen SIM-Profile erheblich. Damit in Verbindung steht in einem stärkeren Wachstumsszenario eine intensive Innovationstätigkeit in Bezug auf neue M2M-Produkte und Lösungen.

Ebenso wachstumssteigernd wirken Preisreduktionen, die eine breite Nachfrage begünstigen.

Nachfrageseitig implementieren in einem starken Wachstumsszenario nach den Innovatoren und Early Adopters andere Kundengruppen zügig M2M-Technologien, so dass eine rasche Durchdringung aller Wirtschaftsbereiche und Unternehmensgrößenklassen erfolgt. Ein hohes Wirtschaftswachstum und eine ausgeprägte Innovationsdynamik in den Anwenderbranchen steigert die Anzahl der mobil vernetzten Geräte in einem günstigen Zukunftsszenario (siehe Tabelle 5-2). Bei schwachem Wachstum hingegen wäre auch im Jahr 2030 noch deutlicher Nachholbedarf in bestimmten Branchen und bei kleineren Unternehmen zu verzeichnen.

Tabelle 5-2: WIK-Prognose: Mögliche Ausprägungen von Angebot und Nachfrage

	Schwächeres Wachstum	Basisszenario	Stärkeres Wachstum
Anbieterseite			
Einsatz von 5G für M2M	+	++	+++
LPWAN-Nutzung (lizenziert) für M2M	+	++	+++
LPWAN-Nutzung (unlizenziert) für M2M	+++	++	+
Innovationstätigkeit in Bezug auf neue M2M-Produkte und Lösungen	+	++	+++
Nachfrageseite			
Wirtschaftswachstum in relevanten Anwenderbranchen	+	++	+++
Innovationsfähigkeit und -tätigkeit der Anwender	+	++	+++
Nutzung über alle Branchen und Unternehmensgrößenklassen hinweg	+	++	+++

- + schwache Ausprägung des Faktors/entwickelt sich positiv mit Blick auf M2M
- ++ mittlere Ausprägung des Faktors/entwickelt sich sehr positiv mit Blick auf M2M
- +++ starke Ausprägung des Faktors/entwickelt sich optimal mit Blick auf M2M

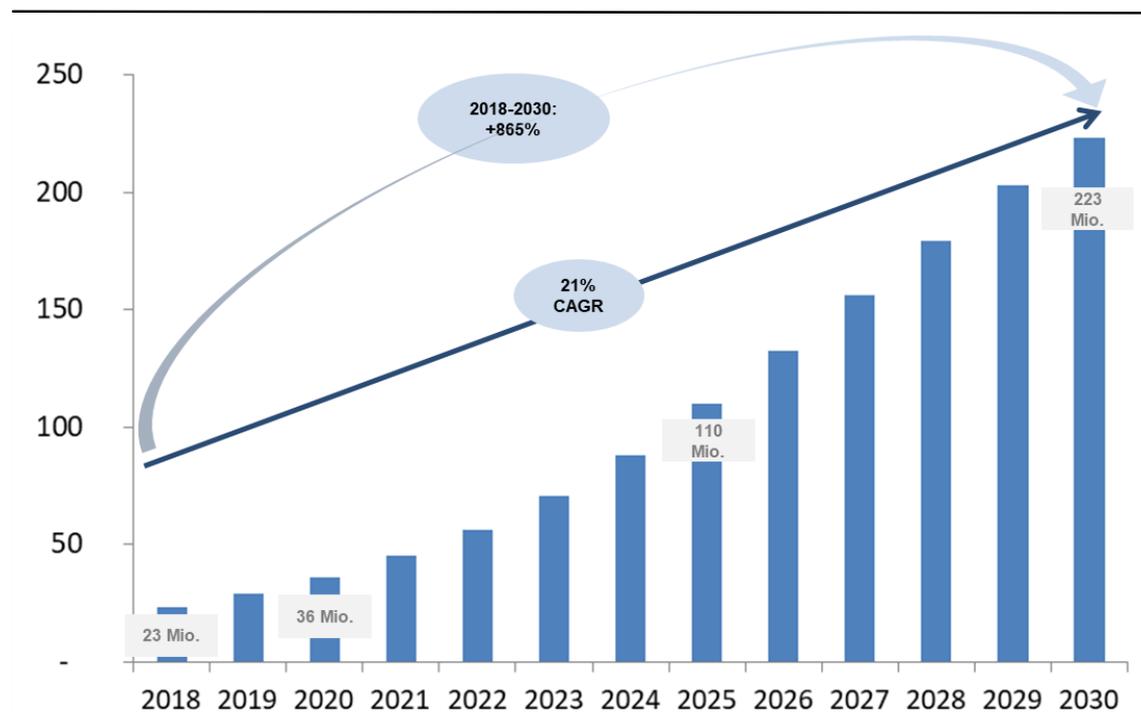
Quelle: WIK.

5.3 Ergebnisse möglicher Zukunftsszenarien

Legt man basierend auf den vorangegangenen Analysen die wahrscheinlichste Entwicklung in einem **Basisszenario** zugrunde, so erreicht die Anzahl der SIM-Profile die in Deutschland für die M2M-Kommunikation genutzt werden, ausgehend von 23 Mio. (2018) im Jahr 2025 bereits 110 Mio. und steigert sich bis zum Jahr 2030 auf 223 Mio. (siehe Abbildung 5-3). Dies entspricht zwischen 2018 und 2030 einem gesamten Zuwachs um 865% und einem CAGR von 21%. Die (rein rechnerische) Anzahl der M2M-

SIM-Karten pro Kopf beträgt im Jahr 2030 2,68. Der Anteil der M2M-SIM-Profile an allen SIM-Profilen liegt im Jahr 2030 bei ca. 60%.

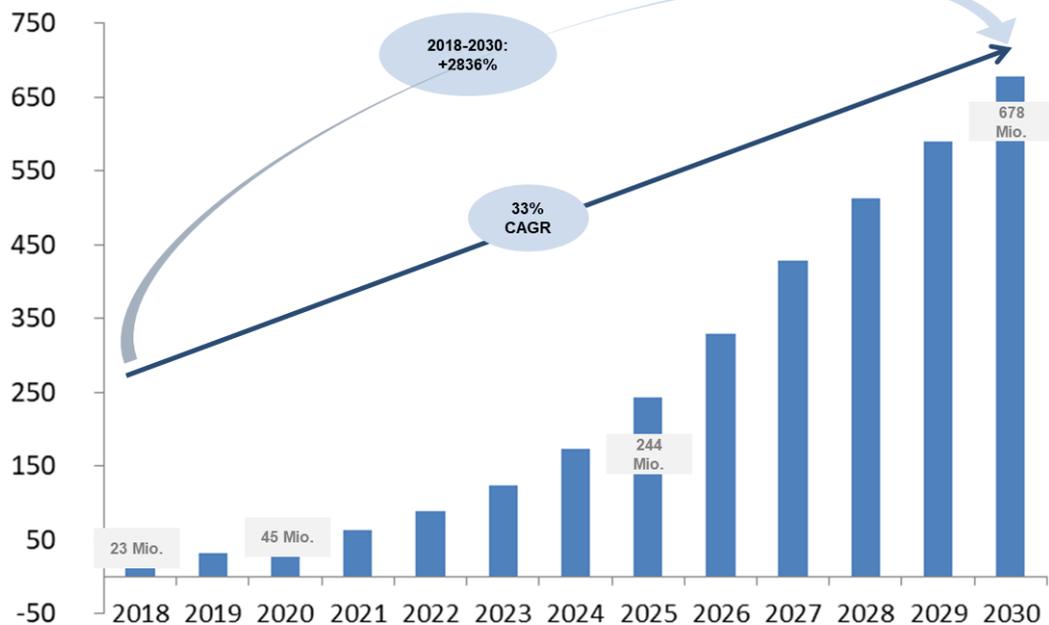
Abbildung 5-3: Basisszenario: SIM-Profile deutscher Mobilfunknetzbetreiber für die M2M-Kommunikation (in Mio., 2018–2030)



Quelle: WIK.

Eine sehr positive Entwicklung hin zu einem **stärkeren Wachstumsszenario** kann bereits im Jahr 2025 zu 244 Mio. SIM-Profilen für M2M-Kommunikation und im Jahr 2030 zu 678 Mio. SIM-Profilen führen. Der CAGR zwischen 2019 und 2030 beläuft sich auf 33%. Rein rechnerisch entfallen am Ende des Betrachtungszeitraumes 8,15 SIM-Profile auf einen Einwohner. Der Anteil der M2M-SIM-Profile an allen SIM-Profilen liegt im Jahr 2030 bei 82%.

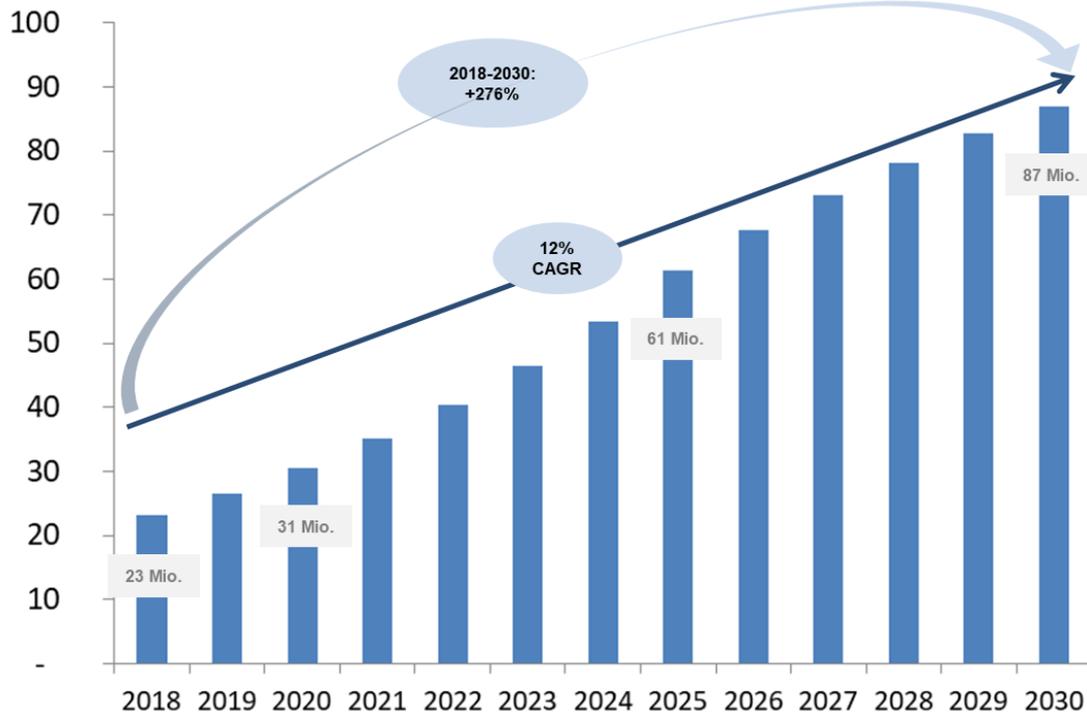
Abbildung 5-4: Stärkeres Wachstumsszenario: SIM-Profile deutscher Mobilfunknetzbetreiber für die M2M-Kommunikation (in Mio., 2018–2030)



Quelle: WIK.

Bei ungünstigerer Entwicklung in relevanten Einflussbereichen kann in einem **schwächeren Wachstumsszenario** mit 12% CAGR eine Zunahme der SIM-Profile auf 61 Mio. im Jahr 2025 und 87 Mio. im Jahr 2030 erwartet werden. Dies entspricht gegenüber dem Jahr 2018 einem Wachstum um 276%. Rein rechnerisch ist 1 M2M-SIM-Profil pro Einwohner zu verzeichnen. Der voraussichtliche Anteil der M2M-SIM-Profile an allen SIM-Profilen liegt bei 38%.

Abbildung 5-5: Schwächeres Wachstumsszenario: SIM-Profile deutscher Mobilfunknetzbetreiber für die M2M-Kommunikation in Deutschland (in Mio., 2018–2030)



Quelle: WIK.

5.4 Zwischenfazit

Wie die vorangegangenen Szenarien zeigen, kann das Wachstum der M2M-Kommunikation im öffentlichen Mobilfunk zukünftig sehr unterschiedlich ausfallen. Die durchschnittliche gewichtete Wachstumsrate liegt im Basisszenario für den Zeitraum 2018 bis 2030 bei 21%, wobei bis 2025 25% CAGR zutreffen und bis 2030 ein allmähliches Absinken der jährlichen Wachstumsrate bis auf 10% p.a. entsteht. Demgegenüber ist das schwächere Szenario durch 12% CAGR und das stärkere Szenario durch 33% CAGR für 2019 bis 2030 geprägt (siehe Tabelle 5-3).

Tabelle 5-3: SIM-Profile deutscher Mobilfunknetzbetreiber für die M2M-Kommunikation – Anzahl der SIM-Profile und CAGR in den M2M-Szenarien der WIK-Prognose

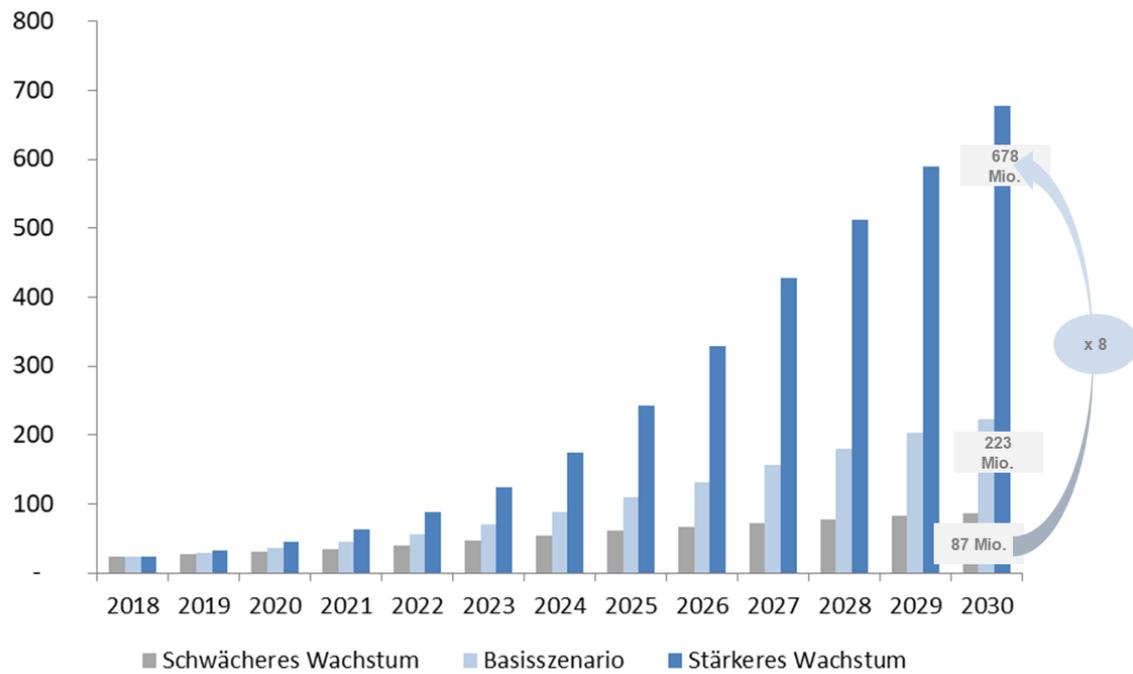
	Schwächeres Wachstum	Basisszenario	Stärkeres Wachstum
Anzahl SIM-Profile M2M-Kommunikation			
▪ 2020	31 Mio.	36 Mio.	45 Mio.
▪ 2025	61 Mio.	110 Mio.	244 Mio.
▪ 2030	87 Mio.	223 Mio.	678 Mio.
CAGR			
2018-2030	12% CAGR	21% CAGR	33% CAGR
▪ 2018-2025	15% CAGR	25% CAGR	40% CAGR
▪ 2026-2030	jährliche Wachstumsraten sinkend bis auf 5% p.a. in 2030	jährliche Wachstumsraten sinkend bis auf 10% p.a. in 2030	jährliche Wachstumsraten sinkend bis auf 15% p.a. in 2030

Quelle: WIK.

Im Ergebnis zeigt die Gesamtzahl der für M2M eingesetzten SIM-Profile am Ende des Betrachtungszeitraumes starke mögliche Abweichungen vom Basisszenario: Im Vergleich zu den bei der wahrscheinlichsten Entwicklung zu erwartenden 223 Mio. SIM-Profile für M2M-Kommunikation können im schwächeren Wachstumsszenario 87 Mio. und im stärkeren Wachstumsszenario 678 Mio. SIM-Profile im Jahr 2030 erreicht werden.

Die hohe Dynamik im starken Wachstumsszenario macht sich vor allem nach etwa 5 Jahren bemerkbar, weil hier M2M zunehmend in allen relevanten Wirtschaftsbereichen und Unternehmensgrößen eingesetzt wird und sich dadurch die Stückzahlen der für M2M erforderlichen SIM-Profile stark erhöhen.

Abbildung 5-6: Szenarien der WIK-Prognose im Vergleich: SIM-Profile deutscher Mobilfunknetzbetreiber für die M2M-Kommunikation (in Mio., 2018-2030)



6 Nummerierung

- Aufgrund der großen Anzahl an verfügbaren Nummern besteht in absehbarer Zeit keine Gefahr einer Nummernknappheit
- Ein Großteil der für M2M genutzten Nummern deutscher Netzbetreiber besteht aus internationalen oder ausländischen Nummern
- Handlungsbedarf besteht aktuell hinsichtlich der Vergabe von IMSI-Blöcken und der Nummerierung in geschlossenen mobilfunknetzbetreiberunabhängigen Campusnetzen

6.1 Aktueller regulatorischer Rahmen

Generell sind im Mobilfunk und damit auch im mobilfunkbasierten M2M-Bereich zwei Arten von Nummern zu unterscheiden: Technische Nummern zur Identifikation und Authentifizierung innerhalb eines Netzes (International Mobile Subscriber Identity - IMSI), sowie Rufnummern, die von Teilnehmern zum Zweck der Kommunikation über Netzgrenzen hinweg aus dem öffentlichen Telefonnetz angewählt werden können. Für M2M-Anwendungen über Mobilfunknetze sind die jedem SIM-Profil zugeordnete IMSI und die Mobilfunkrufnummer relevant. Einem im öffentlichen Mobilfunknetz eingewählten M2M-Gerät ist typischerweise jeweils eine Rufnummer und eine IMSI zugeordnet. Die Rufnummernbereiche und die Grundstruktur werden durch die Bundesnetzagentur festgelegt und in den jeweiligen Nummernplänen bekannt gemacht.⁶⁹

6.1.1 International Mobile Subscriber Identity (IMSI)

Jedes SIM-Profil, unabhängig von der Art des Endgerätes, für das es genutzt wird, besitzt zur Identifizierung eine einzigartige IMSI.⁷⁰ Diese ist nicht mit der Rufnummer verknüpft. Die Zusammensetzung der IMSI ist in der internationalen Empfehlung E.212 der ITU-T geregelt.⁷¹ Die ersten drei Ziffern dieser fünfzehnstelligen Nummer enthalten den

⁶⁹ Vgl. Bundesnetzagentur (2018): Nummernplan Rufnummern für Mobile Dienste, elektronisch verfügbar unter:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/Mobile%20Dienste/Nummernplan-2018-03-02.pdf?__blob=publicationFile&v=5 sowie Bundesnetzagentur (2016): Nummernplan Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer, elektronisch verfügbar unter:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMSI/IMSI_NP.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

⁷⁰ Ausnahme sind sogenannte Multi-IMSI SIM-Karten. Diese werden meist benutzt um IMSI aus verschiedenen Ländern auf einer SIM-Karte abzulegen um Roaming-Gebühren zu vermeiden, sie besitzen jedoch nur eine geringe Verbreitung. Inwieweit lokale Netze die Nutzung von SIM-Karten mit mehreren IMSI befördern (z.B. im selben Gerät eine IMSI für das vom öffentlichen Netz abgeschottete lokale Netz und eine für das öffentliche Mobilfunknetz) bleibt abzuwarten.

⁷¹ Vgl. ITU-T (2016): E.212 - The international identification plan for public networks and subscriptions, elektronisch verfügbar unter: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.212/en>.

sogenannten Mobile Country Code (MCC)⁷² und zeigen damit an, in welchem Land die IMSI ausgegeben wurde (z.B. der MCC 262 für Deutschland).⁷³ Die nachfolgenden zwei bis drei Ziffern⁷⁴ enthalten den Mobile Network Code (MNC)⁷⁵, der das jeweilige Netz identifiziert und von der Regulierungsbehörde des jeweiligen Landes (typischerweise und vorrangig) an die Netzbetreiber vergeben wird. Die Kombination aus MCC und MNC wird auch PLMN Code (Public land mobile network code) genannt bzw. teilweise auch nur PLMN.⁷⁶ Je nach Länge des MNC besteht der letzte Teil der IMSI, die Identifikationsnummer⁷⁷, aus neun bis zehn Stellen. Bei zweistelligen MNC wie in Deutschland stellt sich die IMSI daher gemäß Abbildung 6-1 dar:

Abbildung 6-1: Zusammensetzung der IMSI



Quelle: Bundesnetzagentur.⁷⁸

IMSI werden in Deutschland in Blöcken à zehn Milliarden an die Netzbetreiber vergeben, jede Kombination aus MCC und MNC gibt also einen IMSI-Block an. Diese Blöcke werden durch die IMSI-Blockkennung identifiziert, die dem PLMN Code entspricht, so dass bei jeder vergebenen IMSI sofort zu erkennen ist, welcher Netzbetreiber aus welchem Land diese vergeben hat. Die gesamte Zahl der IMSI unter einem Ländercode (MCC) beträgt eine Billion (hundert Blöcke à zehn Milliarden IMSI wie in Deutschland oder tausend Blöcke à eine Milliarde IMSI in Ländern mit dreistelligen MNC).

⁷² Im Deutschen auch Mobile Landeskennzahl genannt.

⁷³ Vgl. Bundesnetzagentur (2019): Internationale Kennungen für mobile Teilnehmer (IMSI), elektronisch verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMSI/IMSI.html?nn=468828.

⁷⁴ Dreistellige MNC verwenden aktuell nur wenige Länder, z.B. Indien, Mexiko und die USA. In Europa werden ausschließlich zweistellige MNC verwendet, siehe: ECC (2014): Evolution in the Use of E.212 Mobile Network Codes, S. 10, elektronisch verfügbar unter:
<https://www.ecodocdb.dk/download/8b9d79d3-ab26/ECCREP212.PDF>.

⁷⁵ Im Deutschen auch Mobile Netzkennung oder Mobilfunknetzkennzahl genannt.

⁷⁶ Ein weiterer, insbesondere im englischsprachigen Raum verbreiteter, Name für die Kombination aus MCC und MNC ist HNI (Home network identity).

⁷⁷ Die Identifikationsnummer wird auch MSIN (Mobile Subscriber Identification Number) genannt.

⁷⁸ Vgl. Bundesnetzagentur (2019): Internationale Kennungen für mobile Teilnehmer (IMSI), elektronisch verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMSI/IMSI.html?nn=468828.

Von den 100 zu vergebenden MNCs (und damit IMSI-Blöcken) in Deutschland sind 70 für Mobilfunkbetreiber zuteilbar, 20 stehen für befristete Zuteilungen zu Testzwecken zur Verfügung, während die restlichen zehn MNCs/Blöcke eine Reserve bilden.⁷⁹ Seit 2016 können nicht nur Mobilfunknetzbetreiber sondern auch MVNOs und MVNEs⁸⁰ einen solchen MNC beantragen. Weitere IMSI-Blöcke werden an Ausrüster wie Nokia oder Ericsson für Testzwecke vergeben.

Anbieter, die in mehr als einem Land tätig sind, können auch einen MNC/IMSI-Block bei der ITU-T unter dem internationalen MCC 901 beantragen. Mit IMSIs unter diesem MCC kann dann grenzüberschreitend operiert werden.⁸¹ In Deutschland können diese internationalen Nummern nach § 4 Abs. 1 Satz 3 der Telekommunikationsnummerierungsverordnung unabhängig von einer Vergabe durch die Bundesnetzagentur genutzt werden.

Für SIM-Profile in lokalen Netzen gibt es seit Juli 2018 die Möglichkeit, den internationalen, von der ITU-T dafür bereitgestellten MCC 999 zu nutzen. Da die dort genutzten MNCs nur in dem jeweiligen privaten Netzwerk existieren gibt es keine Vergabe, eine freie Verwendung ist möglich. Es sollen als Empfehlung der ITU jedoch für Testzwecke vorrangig die MNC 99 und 999 genutzt werden. Ein Ansteuern eines öffentlichen Netzwerkes durch die SIM-Profile mit diesen IMSI ist nicht möglich.⁸² Wenn es aus dem Netzwerk heraus Handover-Prozesse in öffentliche Netzwerke geben soll, ist eine Nutzung dieses MCC also nicht möglich, er eignet sich nur für komplett private und von der Außenwelt abgeschottete Funknetze.

6.1.2 Rufnummern

Neben der IMSI, die jedes SIM-Profil als technische Identifikationsnummer besitzt, ist einem SIM-Profil, das in öffentlichen (Mobilfunk-)Netzen betrieben wird, typischerweise auch eine Rufnummer zugeordnet. In Deutschland vergebene SIM-Profile für M2M-Kommunikation nutzen eine Rufnummer für Mobile Dienste (Mobilfunkrufnummer). In-

⁷⁹ Vgl. Bundesnetzagentur (2016): Nummernplan Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer, elektronisch verfügbar unter:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMSI/IMSI_NP.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

⁸⁰ Ein MVNO nach Definition der Bundesnetzagentur ist ein Anbieter von Mobilfunkdienstleistungen, der ein Kernnetzwerk besitzt, jedoch kein Funknetz. Ein MVNE ist ein vergleichbarer Anbieter, der aber nur Vorleistungen erbringt, siehe Bundesnetzagentur (2016): Nummernplan Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer, elektronisch verfügbar unter:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMSI/IMSI_NP.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

⁸¹ Vgl. Moss, J. (2011): France Telecom to launch M2M SIM on shared Mobile Country Code, elektronisch verfügbar unter:

<http://telecoms.com/opinion/france-telecom-to-launch-m2m-sim-on-shared-mobile-country-code/>.

⁸² Vgl. ITU (2018): E.212: New Appendix on shared E.212 Mobile Country Code (MCC) 999 for internal use within a private network, elektronisch verfügbar unter:

<https://www.itu.int/rec/T-REC-E.212-201807-I!Amd1/en>.

ternational ist die Zusammensetzung dieser Nummern in der Empfehlung E.164 der ITU-T geregelt.⁸³ Diese Nummer ist nach der (in Deutschland zweistelligen) Ländervorwahl und der 0 als Präfix entweder zehn- oder elfstellig.⁸⁴ Reserviert für Mobile Dienste sind aktuell die Nummernteilbereiche (0)15, (0)160, (0)162, (0)163 und (0)17, wobei neue Rufnummernblöcke aktuell nur im (0)15er Bereich nach dem in Abbildung 6-2 dargestellten Schema an Anbieter ausgegeben werden:

Abbildung 6-2: Zusammensetzung der Mobilfunkrufnummern

Präfix	Nationale Rufnummer (11 Ziffern)		
0	Dienstekennzahl 15 (2 Ziffern)	Teilnehmerrufnummer (9 Ziffern)	
		Blockkennung (3 Ziffern)	Endeinrichtungsnummer (6 Ziffern)

Quelle: Bundesnetzagentur.⁸⁵

Es werden Rufnummernblöcke mit dreistelligen Blockkennungen (drei Ziffern nach der (0)15) vergeben, die jeweils eine Million Rufnummern umfassen. Aktuell sind noch 500 dieser Blöcke und damit eine halbe Milliarde Rufnummern nicht zugeteilt (Stand: 12.03.19).⁸⁶ Es ist jedoch so, dass bei Vergabe eines Blockes von einer Million Rufnummern so vorgegangen wird, als wären die anderen neun Millionen Nummern im übergeordneten Block von zehn Millionen Rufnummern auch an den gleichen Anbieter vergeben worden. Sollte eine Rufnummernknappheit bestehen, kann diese Regelung jederzeit widerrufen werden.⁸⁷

⁸³ Vgl. ITU (2018): E.164 - The international public telecommunication numbering plan, elektronisch verfügbar unter: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.164/en>.

⁸⁴ Vgl. Bundesnetzagentur (2018): Nummernplan Rufnummern für Mobile Dienste, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/Mobile%20Dienste/Nummernplan-2018-03-02.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

⁸⁵ Vgl. Bundesnetzagentur (2018): Nummernplan Rufnummern für Mobile Dienste. S.2, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/Mobile%20Dienste/Nummernplan-2018-03-02.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

⁸⁶ Vgl. Bundesnetzagentur (2019): Mobile Dienste, freie RNB, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/MobileDienste/freie%20RNB/MobileDiensteFreieRNB_Basepage.html?nn=468828#download=1.

⁸⁷ Vgl. Bundesnetzagentur (2018): Nummernplan Rufnummern für Mobile Dienste. Abschnitt 2.3 (Seite 2) und Abschnitt 6 (Seite 8), elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/Mobile%20Dienste/Nummernplan-2018-03-02.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

Die originäre Zuteilung von Rufnummernblöcken erfolgt nur an Anbieter, die den Teilnehmern Verbindungen zu öffentlichen Telefonnetzen über ein öffentliches Mobilfunknetz bieten.

Ein Anbieter von M2M-Diensten oder ein Betreiber eines vom öffentlichen Netz abgeschotteten Campusnetzes (der nicht zugleich Mobilfunknetzbetreiber ist), kann heute grundsätzlich kein originärer Zuteilungsnehmer von Rufnummern sein.

Es besteht aber die Möglichkeit der abgeleiteten Zuteilung, bei der der originäre Zuteilungsnehmer Nummern abgibt und Netzzugang bereitstellt, etwa an einen Anbieter von M2M-Diensten. Im Falle von Rufnummern, die für M2M-Kommunikation genutzt werden, ist auch das Einbinden weiterer Marktteilnehmer möglich, die die Rufnummern im Einvernehmen mit dem originären Zuteilungsnehmer an Endkunden weitergeben.⁸⁸

Im Grundsatz gelten für die Portierung von Rufnummern, die für M2M-Dienste genutzt werden, dieselben Pflichten wie für andere Mobilfunkrufnummern, die sich aus § 46 des Telekommunikationsgesetzes ableiten. Dieser besagt u.a., dass der Dienst des Teilnehmers bei einem Anbieterwechsel nicht länger als einen Kalendertag unterbrochen werden darf und Teilnehmer den Anspruch haben, dass sie ihre Rufnummer unabhängig von dem Unternehmen, das den Telefondienst für sie erbringt, behalten dürfen.

Unter den nationalen Regulierern bestehen jedoch Sympathien für eine Lockerung der Regeln⁸⁹ bzw. eine pragmatische Auslegung. Auch in der Praxis der Bundesnetzagentur wird davon Abstand genommen, den Nachweis, dass der Zuteilungsnehmer der Rufnummern die Portierung sicherstellen kann, zu verlangen.⁹⁰ Hierbei spielen auch praktische Erwägungen eine Rolle, da je nach Einsatzfeld von M2M SIM-Module beispielsweise fest verbaut werden (z.B. in einem PKW) und daher ein Austausch rein physisch nicht mit einem vertretbarem Aufwand realisierbar wäre.

In Deutschland verbietet Telefónica eine Portierung der Rufnummern für M2M in ihren AGB, da diese über eine spanische Plattform des Unternehmens verwaltet werden.⁹¹ Auch die übrigen MNOs sprechen sich dafür aus, die Portierung von Rufnummern für M2M-Dienste soweit wie möglich einzuschränken. In diesem Zusammenhang wird ar-

⁸⁸ Vgl. Bundesnetzagentur (2018): Nummernplan Rufnummern für mobile Dienste. S. 4–7, elektronisch verfügbar unter:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/Mobile%20Dienste/Nummernplan-2018-03-02.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

⁸⁹ Vgl. BEREC (2016): Enabling the Internet of Things, S. 32, elektronisch verfügbar unter: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/reports/5755-berec-report-on-enabling-the-internet-of-things.

⁹⁰ Vgl. Bundesnetzagentur (2016): Portierbarkeit von Rufnummern für Mobile Dienste im Falle von Machine-to-Machine (M2M)-Kommunikation, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/M2M/M2M_Portierbarkeit_Rufnummern.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

⁹¹ Vgl. Telefónica (2018): Allgemeine Bedingungen der Telefónica Germany GmbH & Co. OHG für M2M-Leistungen („Machine-to-Machine“, „M2M“), Artikel 16, elektronisch verfügbar unter: <https://iot.telefonica.de/agbs/>.

gumentiert, dass nur so ein „level playing field“ zwischen M2M-Diensten über Mobilfunk und Diensten über unlizenzieretes Spektrum gewährleistet werden kann, da letztere keine Rufnummern besitzen und damit keiner Portierungspflicht unterliegen.⁹²

Dies wurde auch durch die Befragung der Netzbetreiber im Rahmen dieses Forschungsprojektes bekräftigt. Alle drei MNOs haben angegeben, bis dato wenige bis gar keine Portierungsanfragen für M2M genutzte SIM-Profile bekommen zu haben. Hieraus wird abgeleitet, dass keine Nachfrage nach Portierungen im Bereich M2M besteht.

6.1.3 Exterritoriale Nutzung

Unter exterritorialer Nutzung versteht man die dauerhafte Nutzung einer Nummer aus einem Land in einem anderen Land.⁹³ Während die permanente Nutzung von IMSIs und Rufnummern aus anderen Ländern in Deutschland grundsätzlich nicht erlaubt ist, gibt es Ausnahmen für SIM-Profile, die für M2M-Anwendungen nach Definition der Bundesnetzagentur genutzt werden.⁹⁴

Tabelle 6-1: Exterritoriale Nutzung

Exterritoriale Nutzung von Nummern für M2M-Dienste		
	International Mobile Subscriber Identity (IMSI)	Rufnummer für Mobile Dienste
Deutsche Nummer im Ausland	Zulässig	Zulässig (Meldung an BNetzA muss erfolgen, wenn keine Erhebung von Teilnehmerdaten nach § 111 TKG)
Ausländische Nummer in Deutschland	Zulässig	Zulässig (Meldung (ohne Angabe des Nutzungszwecks) an BNetzA muss aber generell erfolgen)
Wichtig: Klärung der rechtlichen Lage im Ausland obliegt nicht der BNetzA		

Quelle: WIK, mit Informationen aus den entsprechenden Nummernplänen der Bundesnetzagentur.

⁹² Vgl. Vodafone (2019): A new IoT regulatory framework for Europe, S. 26, elektronisch verfügbar unter: https://www.vodafone.com/content/dam/vodafone-images/public-policy/iot/loT_whitepaper.pdf.

⁹³ Vgl. ECC (2013): Extra-territorial Use of E.164 Numbers, S. 2, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ecodocdb.dk/download/78c0fb7b-097c/ECCREP194.PDF>.

⁹⁴ Vgl. Bundesnetzagentur (2016): Exterritoriale Nutzung von ausländischen Internationalen Kennungen für Mobile Teilnehmer in der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen von Machine-to-Machine (M2M)-Kommunikation, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMSI/IMSI_exterritNutzung.pdf?__blob=publicationFile&v=1 sowie Bundesnetzagentur (2017): Exterritoriale Nutzung von ausländischen Rufnummern im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen von Machine-to-Machine-Kommunikation, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/M2M/Vfg_80_2017_Exterritoriale_Nutzung_von_ausl_Rufnummern.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

Bei den IMSI ist die Regelung, egal ob es um eine in Deutschland ausgegebene IMSI geht, die dauerhaft im Ausland verwendet werden soll oder um eine im Ausland ausgegebene IMSI, die dauerhaft in Deutschland verwendet werden soll, exakt gleich. Für M2M-Anwendungen ist die extraterritoriale Nutzung generell zulässig. Sie kann jedoch durch die Bundesnetzagentur widerrufen werden (im Einzelfall, aber auch generell), wenn durch die extraterritoriale Nutzung öffentliche Belange (z.B. öffentliche Sicherheit) oder Rechte Dritter (z.B. bzgl. Verbraucherschutz) beeinträchtigt werden.⁹⁵

Bei der extraterritorialen Nutzung von Rufnummern für Mobile Dienste gelten zusätzlich Meldeverpflichtungen. Bei Nutzung einer in Deutschland vergebenen Rufnummer im Ausland muss eine Meldung an die Bundesnetzagentur erfolgen, wenn aufgrund der extraterritorialen Nutzung keine Teilnehmerdaten nach § 111 TKG erhoben werden. Auch die Verwendung ausländischer Rufnummern in Deutschland muss bei der Bundesnetzagentur angezeigt werden.⁹⁶ Trotz Anzeigepflicht muss jedoch nur die Nutzung an sich, aber nicht der konkrete Nutzungszweck angegeben werden. Der Zuteilungsnehmer muss ferner beachten, dass die Erlaubnis der Nutzung durch die Bundesnetzagentur in keinem Fall die Rechtslage des jeweiligen ausländischen Landes klärt.

6.2 Zukunftsfähigkeit des regulatorischen Rahmens auf Basis der Prognose

In Abschnitt 5.3 wurde die Zahl der für M2M-Kommunikation genutzten, über das Mobilfunknetz angebotenen, Geräte geschätzt. Der Korridor dieser Schätzung im Jahr 2025 erstreckt sich zwischen 61 (schwaches Wachstumsszenario) und 244 (starkes Wachstumsszenario) Mio. M2M-SIM-Profilen, für 2030 prognostizieren wir zwischen 87 und 678 Mio. SIM-Profilen. Dazu kommen im Jahr 2018 114 Mio. SIM-Profile mit denen Individualkommunikation betrieben wird. Wir gehen davon aus, dass diese Zahl in den kommenden zehn Jahren etwa konstant bleiben dürfte.

⁹⁵ Vgl. Bundesnetzagentur (2016): Nummernplan Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer, elektronisch verfügbar unter:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMSI/IMSI_NP.pdf?__blob=publicationFile&v=3

sowie Bundesnetzagentur (2016): Extraterritoriale Nutzung von ausländischen Internationalen Kennungen für Mobile Teilnehmer in der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen von Machine-to-Machine (M2M)-Kommunikation, elektronisch verfügbar unter:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMSI/IMSI_exterritNutzung.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

⁹⁶ Vgl. Bundesnetzagentur (2018): Nummernplan Rufnummern für Mobile Dienste, elektronisch verfügbar unter:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/Mobile%20Dienste/Nummernplan-2018-03-02.pdf?__blob=publicationFile&v=5%20

sowie Bundesnetzagentur (2017): Extraterritoriale Nutzung von ausländischen Rufnummern im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen von Machine-to-Machine-Kommunikation, elektronisch verfügbar unter:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/M2M/Vfg_80_2017_Extraterritoriale_Nutzung_von_ausl_Rufnummern.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

Auch wenn der Anstieg an Geräten/Profilen im Bereich M2M einen höheren Bedarf an SIM-Profilen nach sich zieht, sollte unsere Schätzung, wie wir im Folgenden näher ausführen, als Obergrenze des tatsächlichen Bedarfs interpretiert werden.

6.2.1 International Mobile Subscriber Identity (IMSI)

In Deutschland sind aktuell 100 MNCs bzw. dadurch bestimmte IMSI-Blöcke verfügbar, wobei jeder IMSI-Block zehn Milliarden IMSI beinhaltet. Einen Engpass wird es bei einer Billion verfügbarer IMSIs nicht geben, auch nicht über das Jahr 2030 hinaus.

Eine mögliche Weiterentwicklung des Regulierungsrahmens bestünde in der direkten Vergabe von MNCs/IMSI Blöcken an M2M-Diensteanbieter. Durch die Zuteilung von MNCs/IMSI-Blöcken können sich Diensteanbieter unabhängig von öffentlichen Netzbetreibern machen. Dies gilt auch in nicht-öffentlichen Netzen (Campusnetzen). Eine direkte Vergabe von MNCs an M2M-Anbieter oder -Nutzer würde jedoch im Widerspruch der Empfehlung E.212 der ITU stehen.

Für netzbetreiberunabhängige M2M-Anbieter, insbesondere solche mit einer großen Anzahl von verwalteten SIM-Profilen, hätte dies jedoch Vorteile. Zunächst würde sich dadurch die Verhandlungssituation der Dienstleister gegenüber den MNOs verbessern. Zusätzlich ließen sich dadurch „lock-in“ Effekte beschränken⁹⁷, da dies einen Wechsel zwischen verschiedenen Netzinfrastrukturen „over the air“ ermöglicht, wodurch sich die Verfügbarkeit erhöht, sowohl in räumlicher Hinsicht bei nomadischer Nutzung, als auch mit Blick auf die Ausfallsicherheit bei kritischen Anwendungen. Ein Anwendungsbeispiel hierfür ist ein Smart Meter, der im Falle eines Netzausfalls eines Konnektivitätspartners über einen zweiten Partner weiterhin senden könnte.⁹⁸

Der gleiche Effekt kann jedoch auch heute erzielt werden, wenn ein Diensteanbieter über einen Mobilfunknetzbetreiber eine internationale oder ausländische Nummer in Deutschland bezieht, über die die Möglichkeit für nationales Roaming besteht.⁹⁹

Mit Blick auf mögliche zukünftige Kapazitätsengpässe bei IMSIs bzw. eine direkte Vergabe an M2M-Dienstleister sind verschiedene Optionen, die auch miteinander kombinierbar sind, denkbar:¹⁰⁰

⁹⁷ Vgl. Bodewes, F.; Westbroek, P. (2015): Enexis Private MVNO Solution, S. 7, elektronisch verfügbar unter:

https://www.engerati.com/sites/default/files/eventpres/151105%20Enexis%20Private%20MVNO%20solution%20PUBLISH_0.PDF.

⁹⁸ Vgl. CRTC (2019). Notice of Consultation CRTC 2019-57, S. 6, elektronisch verfügbar unter: <https://cea-ksiu6qbsd.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/05/Final-CEA-response-to-CRTC-2019-57-May-15-2019.pdf>.

⁹⁹ Vgl. Rähn, J. (2019): Die Dinge ins Internet bringen, in: golem.de, 16.07.19, elektronisch verfügbar unter: <https://www.golem.de/news/mobilfunktarife-fuers-iot-die-dinge-ins-internet-bringen-1907-141851.html>.

¹⁰⁰ Eine ausführliche Diskussion eines Teils der Möglichkeiten ist nachzulesen im Amtsblatt 16/2015 der Bundesnetzagentur.

Option 1: Die stärkere Nutzung von internationalen IMSI-Ressourcen

Die ITU vergibt den international nutzbaren MCC 901 von dem mehr als die Hälfte der 100 MNCs (Stand: 10.12.19) vergeben sind.¹⁰¹

Wenn M2M-Anwendungen gefördert werden sollen, kann es sinnvoll sein, die Vergaberichtlinien zu lockern um eine Zuteilung von internationalen MNCs an M2M-Dienstleister zu ermöglichen. Auch die Regelung, dass nur Anbieter, die in mindestens zwei Ländern tätig sind, den MCC 901 nutzen dürfen, wäre in diesem Zusammenhang kritisch zu hinterfragen.¹⁰² Bei einem weltweiten Trend hin zu mehr M2M-Nutzung müsste die ITU-T konsequenterweise noch mehr international nutzbare MCC einrichten und MNC unter diesen vergeben, da es sonst zu einer Verschiebung eines möglichen Mangels an MNC von der nationalen auf die internationale Ebene kommen könnte. Bei einem starken Anwachsen an MNC-Zuteilungsnehmern kann langfristig jedoch auch ein Mangel an zur länderübergreifenden Nutzbarkeit eingerichteten MCC auftreten. Vor diesem Hintergrund wäre eine solche Lösung nicht unbegrenzt zukunftsfähig.

Grundsätzlich ist die Nutzung internationaler Nummernressourcen etwa aufgrund der Produktionsprozesse von Großunternehmen vorteilhaft. Viele Unternehmen wissen bei der Produktion von international vermarkteten Gütern noch nicht, welches Produkt in welchem Land verkauft und genutzt wird bzw. möchten sich die Möglichkeit einer Verschiebung des Verkaufsortes vorbehalten. In diesem Fall ist es sinnvoll, wenn eine beim Produktionsprozess eingebaute SIM-Karte möglichst Nummernressourcen nutzt, die dann in jedem Land einsetzbar sind. Da exterritoriale Nutzung nicht in jedem Land gestattet ist, bieten internationale Nummern hier die höchste Flexibilität und Sicherheit.

Der von der ITU bereitgestellte MCC 999, der insbesondere auf nicht-öffentliche (Campus-)Netze ausgerichtet ist, kann aufgrund der unter diesem MCC vorgesehenen unregulierten Vergabe von MNC nur für geschlossene Netze genutzt werden. Er ist also keine Lösung für viele der gängigen M2M-Dienste, etwa im Bereich Automotive, Logistik oder Consumer-M2M (z.B. Wearables).

¹⁰¹ Vgl. ITU (2019): Status of reserved or assigned ITU-T E.212 shared Mobile Country Codes (MCC) and associated Mobile Network Codes (MNC), elektronisch verfügbar unter: https://www.itu.int/net/ITU-T/inrdb/e212_901.aspx.

¹⁰² Vgl. ITU (2016): E.212 - The international identification plan for public networks and subscriptions. Annex A.4, S. 5, elektronisch verfügbar unter: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.212/en>.

Option 2: Einführung einer geteilten Nutzung von IMSI-Blöcken mithilfe eines HLR (Home Location Register) Proxy Providers ähnlich wie in den Niederlanden¹⁰³

Ein HLR Proxy Provider, der auch PVNO (private virtual network operator) bzw. privater MVNO genannt wird, operiert als nicht öffentlicher MVNO und bekommt einen (zweistelligen) MNC zugeordnet. Die IMSIs werden vom PVNO in kleinere Blöcke unterteilt und bei Bedarf an kleinere Betreiber wie M2M-Dienstleister abgegeben. Erhöhter Koordinierungsbedarf besteht in diesem Modell eher auf Seiten der Diensteanbieter und des Zuteilungnehmers als auf Seiten der Regulierungsbehörde. Vorteilhaft ist vor allem der Anbieterwechsel für die Verkehrsführung ins öffentliche Mobilfunknetz, den der PVNO einfach vornehmen kann, wenn er bessere Konditionen bei einem anderen MNO verhandelt. Die Kunden des PVNO sind in einem solchen Fall verpflichtet ebenfalls den Wechsel zu vollziehen. Regulatorisch¹⁰⁴ müssten für eine entsprechende Implementierung in Deutschland die Zuteilungsvoraussetzungen für IMSI angepasst werden, damit ein solcher Anbieter auch IMSI-Zuteilungnehmer werden kann. Als Zuteiler und Verwalter von unterteilten Teil-IMSI-Blöcken hätte der HLR Proxy Provider eine Aufgabe, die sonst eher einer Regulierungsbehörde zuteilwird. Ein Verband würde sich vor diesem Hintergrund eher als PVNO eignen als ein einzelnes privatwirtschaftliches Unternehmen.

Option 3: Beantragung eines weiteren Ländercodes (MCC) bei der ITU

Durch Zuteilung eines neuen MCC, ggf. mit der Maßgabe nur dreistellige MNCs in diesem MCC zu vergeben, ließen sich 1000 neue IMSI-Blöcke mit jeweils einer Milliarde IMSI schaffen. Ein neuer MCC wird von der ITU jedoch nur vergeben, wenn der aktuell genutzte MCC sich einem Vergabegrad an MNC von 80% nähert.¹⁰⁵ Grundsätzlich besteht eine solche Option für den Fall, dass die MNCs des aktuellen MCC an ihre Grenzen stoßen. Da die Vergabe von MNC an M2M-Anbieter aktuell nicht von den ITU-Empfehlungen gedeckt ist, ist die Bewilligung eines Ländercodes für eine solche nichtempfehlungsgerechte Nutzung jedoch fraglich.

103 Durchgeführt durch BroadForward für den bzw. auf Betreiben des Energieversorgers Enexis, siehe z.B. PR.com (2016): BroadForward Awarded Best M2M Solution at MVNOs World Congress, elektronisch verfügbar unter: <https://www.pr.com/press-release/667686>; für eine ähnliche Regelung lobbyiert aktuell der Verband der kanadischen Energieversorger CEA (Canadian Electricity Association), nachzulesen unter anderem in: <https://electricity.ca/wp-content/uploads/2018/10/CEA-Part-1-Application-Final-with-Appendices-20181030.pdf> und <https://cea-ksiu6qbsd.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/05/Final-CEA-response-to-CRTC-2019-57-May-15-2019.pdf>.

104 Die regulatorische Grundlage für diese Änderung in den Niederlanden wurde gelegt mit: Minister of Economic Affairs (2014): Decree of the Minister of Economic Affairs (Minister van Economische Zaken) of 3 March 2014, no. ETM/TM/14024019, containing amendments to the Numbering Plan for international mobile subscription identities (IMSI) relating to the use of IMSIs by private networks, elektronisch verfügbar unter: <https://www.government.nl/documents/annual-reports/2016/02/16/decreet-change-of-imsi-number-plan-for-private-networks>.

105 Vgl. ITU-T (2016): E.212 - The international identification plan for public networks and subscriptions. Annex C, elektronisch verfügbar unter: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.212/en>.

Option 4: Einführung von dreistelligen MNCs im ungenutzten MNC-Raum unter dem aktuellen MCC

Aktuell gibt es noch relativ große MNC-Räume unter dem deutschen MCC 262, die ungenutzt sind. Eine Möglichkeit wäre einen Teil der aktuell ungenutzten 30er, 50er und 60er MNCs dafür zu nutzen, womit man theoretisch insgesamt 300 IMSI-Blöcke à 1 Milliarde IMSI vergeben könnte. Dies würde jedoch neben den regulatorischen Anpassungen zur Vergabe der MNCs auch noch eine Parallelnutzung von dreistelligen und zweistelligen MNCs unter demselben MCC bedeuten.

Bei einer Anhörung der Bundesnetzagentur im Jahr 2016 hat kein Marktteilnehmer die Einführung von dreistelligen MNC gefordert.¹⁰⁶ Durch den immer größer werdenden M2M-Markt bzw. die Ausweitung der Anzahl der Marktteilnehmer durch die Einführung von (industriellen) Campusnetzen, ist dieses Thema jedoch wieder etwas stärker in den Fokus gerückt.

106 Vgl. Bundesnetzagentur (2016): Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer (International Mobile Subscriber Identities, IMSIs): Anhörung zum Entwurf eines Nummernplans, eines Antragsverfahrens, einesteilweisen Widerrufs bestehender Zuteilungen sowie zur exterritorialen Nutzung von ausländischen IMSIs in der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen von Machine-to-Machine-Kommunikation; Zusammenfassung und Bewertung der Stellungnahmen, Teil 1, S. 3, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMSI/IMSI_Auswertung.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

Exkurs: Parallele Nutzung von zwei- und dreistelligen MNC unter einem MCC

Es ist umstritten, inwieweit ein Umstellen auf und/oder eine Parallelnutzung von zwei-stelligen und dreistelligen MNC technisch problematisch ist. Im Jahr 2000 warnte die GSM Europe (heute: GSM Association) vor einer Umstellung, da sie unter anderem befürchtete, dass alle 500 Mio. im Einsatz befindlichen SIM-Karten ausgetauscht werden müssten.¹⁰⁷ Dies ist in der Praxis jedoch eine unberechtigte Sorge, da bestehende IMSIs nicht verändert werden würden. In der Spezifikation TS 23.003 des Standardisierungsgremiums 3rd Generation Partnership Project (3GPP) wird eine Parallelnutzung von zwei- und dreistelligen MNC unter dem gleichen MCC explizit nicht empfohlen.¹⁰⁸ Der ehemalige OECD-Telekommunikationsanalyst Rudolf van der Berg hielt diese Einschätzung schon in 2010 für nicht mehr zeitgemäß.¹⁰⁹ Eine Studie der Beratungsgesellschaft Cybercom aus dem Jahr 2014 hat die Situation in Schweden bzgl. eines zur Verfügungsstellens des ungenutzten MNC-Raumes für dreistellige MNC und damit eine gleichzeitige Nutzung von zwei- und dreistelligen MNCs unter dem gleichen MCC ebenso wie ein HLR Proxy Provider Modell als Alternativen untersucht.¹¹⁰ Die Studie identifiziert keine schwerwiegenden Argumente gegen eines der Modelle. Zu einem vergleichbaren Schluss kam 2014 auch ein Report des ECC der CEPT, der die ITU-T zu einer genaueren Klärung der möglichen Implementierung der skizzierten Modelle auffordert.¹¹¹ Mobilfunknetzbetreiber geben an, dass für sie am wichtigsten sei, dass es keine Änderungen an bestehenden MNCs gibt, also auf ihrer Seite keine Systemumstellung nötig ist. Ob dies der Fall ist, hängt von der konkreten Ausgestaltung der Verlängerung der MNCs ab.

6.2.2 Rufnummern

Ausgehend von der Prognose ist eine Knappheit von Rufnummern in der näheren Zukunft nicht zu erwarten. Die Anzahl der aktuell ohne größere regulatorische Maßnahmen verfügbaren Rufnummern ist jedoch geringer als die der verfügbaren IMSIs, daher ist die Wahrscheinlichkeit einer etwaigen Knappheit höher (wenn man unterstellt, dass die identifizierten Anwendungen in Gänze IMSIs und Rufnummern nutzen werden).

Grundsätzlich sind noch viele potentiell für Rufnummern verwendbare Nummern frei, teilweise sind diese jedoch nicht zur Vergabe freigegeben. Wie oben beschrieben stehen in den nutzbaren Rufnummernblöcken noch 500 Mio. Nummern zur Verfügung. Da kein besonderer Aufwuchs der restlichen Rufnummern für Mobile Dienste (ohne M2M) zu erwarten ist und der Bedarf an M2M SIM-Karten bis 2025 deutlich unter den 500

¹⁰⁷ Vgl. GSM Europe (2000): Subject: Mobile Network Codes (MNCs) – Change from 2digits to 3 digits.

¹⁰⁸ Vgl. 3GPP (2019): TR 23.003 V16.0.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network and Terminals; Numbering, addressing and identification (Release 16).

¹⁰⁹ Vgl. Van der Berg (2010): The truth about 3 digit Mobile Network Codes (MNCs) E.212, elektronisch verfügbar unter: <http://internetthought.blogspot.com/2010/12/truth-about-2-and-3-digit-mobile.html>.

¹¹⁰ Vgl. Olsen (2014): Report on mixed use of 2 and 3 digit MNC codes under Sweden's MCC 240.

¹¹¹ Vgl. ECC (2014): Evolution in the Use of E.212 Mobile Network Codes, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ecdocdb.dk/download/8b9d79d3-ab26/ECCREP212.PDF>.

Mio. ungenutzten (0)15er Rufnummern liegen dürfte, ist eine regulatorische Änderung in diesem Bereich kurz- bis mittelfristig nicht vonnöten. Es sind außerdem mutmaßlich noch eine große Anzahl an Rufnummern in den schon an die MNOs vergebenen Rufnummernbereichen frei.

Für den Fall eines starken Anwachsens der benötigten Nummern stehen theoretisch noch weitere Ressourcen zur Verfügung. Beispielsweise werden aktuell keine Rufnummern in den Bereichen (0)161, sowie (0)165 bis (0)167 vergeben. Eine Öffnung jedes dieser vier Blöcke würde jeweils 100 Mio. Rufnummern verfügbar machen. Weitere noch komplett ungenutzte Bereiche sind die Rufnummernblöcke (0)12x und (0)14x, die insgesamt zwei Milliarden Rufnummern beinhalten. Wenn also durch Prognosen und Marktbeobachtung entsprechender zeitlicher Vorlauf vorhanden ist und die Rufnummernknappheit nicht „über Nacht“ eintritt, erscheinen alle möglichen Herausforderungen der nächsten Jahre in diesem Bereich lösbar.

Auch über Änderungen an den Rufnummernräumen selbst kann langfristig nachgedacht werden, einige internationale Beispiele für solch ein Vorgehen gibt es bereits. Ein Land, das eigene Nummernräume für M2M-Dienste geschaffen hat, ist Malta. Dort wurde der bis dahin ungenutzte Rufnummern-Präfix 4 für M2M geöffnet. Zehnstellige Rufnummern (nach der Ländervorwahl), die an erster Stelle eine 4 beinhalten, werden in Blöcken à 100.000 an M2M-Anbieter vergeben.¹¹² Einen ähnlichen Weg geht Frankreich, wo im Jahr 2017 die Rufnummernlänge (inkl. Landesvorwahl) von IoT/M2M-SIM-Karten von elf auf 15 Stellen erhöht wurde. Bestehende Nummern veränderten sich nicht.¹¹³ In Indien wurde die Verlängerung von zehnstelligen auf dreizehnstellige Rufnummern (ohne Landesvorwahl) für M2M in 2018 auch für bestehende M2M-Nummern durchgeführt.¹¹⁴ In Südafrika gab es ebenfalls eine Verlängerung für bestehende M2M-Rufnummern, dort von zehn auf vierzehn Stellen inkl. Landesvorwahl.¹¹⁵

Nach ITU-T Empfehlung E.164 sollen Rufnummern höchstens 15 Stellen lang sein, inkl. Country Code, aber ohne führende Zeichen/Nullen, also im Falle von Deutschland 49 + bis zu 13 weitere Zeichen.¹¹⁶ Die Rufnummern in den noch zu vergebenden (0)15er Blöcken haben jedoch nur elf Stellen. Mit einer Erweiterung um zwei Stellen ist also entsprechend eine Verhundertfachung der Rufnummern möglich. Wenn beispielsweise die Hälfte der aktuell freien Rufnummernblöcke für M2M ausgewiesen wird könnte man

¹¹² Vgl. MCA (2019): Numbering Resources for M2M/IoT Connectivity Services, elektronisch verfügbar unter: https://meae.gov.mt/en/Public_Consultations/OPM/Documents/Consultation%20Paper%20-%20Numbering%20Resources%20for%20M2M_IoT%20Connectivity%20Services%20and%20other%20Non-ICS.pdf.

¹¹³ Vgl. Orange (2017): Numbering: The IoT SIM move to 15 digits, elektronisch verfügbar unter: <https://www.orange-business.com/en/numbering-iot-sim-move-15-digits>.

¹¹⁴ Vgl. Khan, D. (2018): DoT orders telcos to implement 13-digit scheme for SIM-based M2M connection, in: ETTelecom.com, 21.02.18, elektronisch verfügbar unter: <https://telecom.economictimes.indiatimes.com/news/dot-orders-telcos-to-implement-13-digit-scheme-for-sim-based-m2m-connection/63012189>.

¹¹⁵ Vgl. Vodacom (2018): M2M Number Migration Notice, elektronisch verfügbar unter: <https://www.vodacombusiness.co.za/business/solutions/m2m-number-migration-notice>.

¹¹⁶ Vgl. ITU (2018): E.164 - The international public telecommunication numbering plan, elektronisch verfügbar unter: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.164/en>.

so 25 Mrd. weitere M2M-Rufnummern schaffen. Damit würde es auch auf lange Sicht keine Engpässe geben. Auch einer der deutschen Mobilfunknetzbetreiber hat im Fragebogen des WIK angeregt, dass eine Verlängerung der Rufnummern für M2M-Dienste sinnvoll sei.

Gegen eine Verlängerung von Rufnummern spricht der technische Umstellungsaufwand seitens der Netzbetreiber, der diese auch finanziell belasten würde. Außerdem könnte es zu Problemen mit den Portierungsschnittstellen kommen, wenn manche für M2M genutzten Rufnummern länger sind als andere. Dies wäre ein zusätzliches Argument für Ausnahmen von der Portierungspflicht für M2M-Dienste.

Ähnlich wie bei den IMSIs wäre es auch denkbar, M2M-Dienstleister zu originären Zuteilungsnehmern von Rufnummern zu machen, die Blöcke direkt von der Bundesnetzagentur zugeteilt bekommen. Die Vorteile, die sich bei der Zuteilung von IMSI an diese Anbieter ergeben, wie ein over-the-air Netzbetreiberwechsel, sind jedoch nicht analog auf Rufnummern übertragbar. Es besteht also keine Dringlichkeit für Veränderungen bei der Zuteilungspraxis von Rufnummern.

In kleineren Ländern sind eher Engpässe als in Deutschland zu erwarten, da die vergebenen Rufnummern dort häufig kürzer sind, wodurch der aktuell vergebene Rufnummernraum teilweise um den Faktor 100 kleiner als in Deutschland ist.¹¹⁷ Vor diesem Hintergrund erscheint es möglich, dass in näherer Zukunft manche Länder ihre Regulierungspraxis im Bereich M2M anpassen werden, wodurch neue Erfahrungen gesammelt werden, die man als mögliche best-practice Beispiele für Deutschland in Zukunft untersuchen kann.

6.2.3 Einfluss weiterer qualitativer Aspekte auf den Nummernbedarf

Neben dem Vergleich der prognostizierten SIM-Profile mit den verfügbaren Nummern ist auch zu beachten, dass es weitere, schwer quantifizierbare Einflüsse auf den Nummernbedarf gibt. Neben dem Ausmaß, in dem exterritoriale Nutzung oder die Nutzung internationaler Nummern stattfindet, kann dies etwa die Substitution von Nummern durch IP-Adressen und/oder die genaue Art der Nummerierung in Campusnetzen sein.

Das Ausmaß, in dem in der Zukunft exterritoriale Nutzung betrieben wird, wird maßgeblich von der Regulierung eben dieser Nutzung in den anderen Staaten beeinflusst. In vielen anderen Ländern ist keine exterritoriale Nutzung von Nummern (IMSI oder Rufnummern) aus dem Ausland erlaubt, daher werden dort auch keine deutschen Nummern genutzt, die den Nummernbedarf in Deutschland erhöhen. Eine Nutzung ausländischer Nummern in Deutschland findet dagegen in beträchtlichem Umfang statt.

¹¹⁷ Vgl. Analysys Mason & Antelope Consulting (2013): Numbering for Machine-to-Machine Communications, elektronisch verfügbar unter: https://www.comreg.ie/media/dlm_uploads/2015/12/ComReg13110.pdf.

Einer der deutschen Mobilfunknetzbetreiber nutzt fast ausschließlich exterritoriale Nummern für M2M-Anwendungen, bei den beiden anderen werden exterritoriale und nationale Nummern parallel genutzt. Hierfür gibt es mehrere Gründe. Neben der höheren räumlichen Verfügbarkeit und Ausfallsicherheit durch die Nutzung von Mobile Roaming besteht eine weitere Motivation gerade für einen internationalen tätigen Netzbetreiber darin, die Administration der Nummern in einem Land zu zentralisieren und damit Transaktionskosten einzusparen.

Ähnliche Gründe sprechen auch für die Nutzung internationaler Nummern, die aktuell von einem deutschen Mobilfunknetzbetreiber intensiv genutzt werden. Die Vorteile der Nutzung sind vergleichbar wie bei exterritorialen Nummern, insbesondere grenzüberschreitende Verkaufs- und Produktionsprozesse werden vereinfacht und bei einem internationalen Einsatz besteht die größtmögliche Sicherheit, dass die verwendeten SIM-Profile auch tatsächlich genutzt werden können.

Exkurs: Lokale und regionale Netze (sogenannte Campusnetze)

Insbesondere seit der Diskussion über die Möglichkeiten der 5G-Technologie wird viel über die verbreitete Nutzung von nicht-öffentlichen lokalen und regionalen Netzen (Campusnetzen), insbesondere, aber nicht ausschließlich, für industrielle Anwendungen, diskutiert. Deutschland ist auf diesem Gebiet durch die starke Bedeutung der Industrie eines der Vorreiterländer.¹¹⁸ Im Rahmen der Frequenzvergabe 2019 hat sich die Bundesnetzagentur entschieden, die Frequenzen von 3,7 bis 3,8 GHz für lokale und regionale Nutzungen bereitzustellen.¹¹⁹ Im Zuge dessen werden wahrscheinlich in 2020 die ersten Campusnetze mit lizenziertem Spektrum in Deutschland ohne Mitwirken eines der großen Mobilfunknetzbetreiber aufgebaut. Die wenigen schon bestehenden Campusnetze sind typischerweise mit Spektrum und mithilfe von öffentlichen MNOs¹²⁰ realisiert.

In abgeschlossenen, privaten Funknetzen (Campusnetzen) kann der Bedarf an IMSI sich deutlich vom Bedarf an Rufnummern unterscheiden. Grundsätzlich werden IMSI für den Netzzugang genutzt, Rufnummern sind für die Kommunikation über Grenzen des Netzwerks hinweg bzw. ins öffentliche Telefonnetz notwendig.

In einem privaten Netz kann somit der Zugang über eine IMSI erfolgen, während Rufnummern nur noch optional vonnöten sind (wenn eine Kommunikation nach außen erfolgen soll). Es ist auch denkbar, dass in geschlossenen Netzen in Zukunft statt Num-

¹¹⁸ Vgl. Kavanagh, S.; Thomas, K. (2019): What is a private 5G network? Elektronisch verfügbar unter: <https://5g.co.uk/guides/what-is-a-private-5g-network/>.

¹¹⁹ Vgl. Bundesnetzagentur (2019): Regionale und lokale Netze, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html.

¹²⁰ Die Bundesnetzagentur plant den öffentlichen Mobilfunknetzbetreibern auf Antrag jeweils einen weiteren MNC/IMSI-Block zur Verfügung zu stellen, der dann für Implementierungen in Campusnetzen genutzt werden kann. Dies ist jedoch nicht praktikabel für Anwender, die ein Netz ohne Hilfe eines MNOs aufbauen wollen. Siehe Amtsblatt 10/2019 der Bundesnetzagentur, S. 1008–1010.

mern Netzwerkadressen wie IPv6-Adressen genutzt werden und Rufnummern womöglich gar ersatzlos wegfallen. In diesem Falle wäre die Zahl der benötigten Nummernressourcen im regulierungsrelevanten Bereich deutlich geringer.

Für Anwendungsfälle, wie Consumer IoT auf Mobilfunkbasis oder Automotive IoT, wo mobil in öffentlichen Netzen verkehrt wird, sind Rufnummern im aktuellen Rahmen allerdings unverzichtbar. Auch für grenzüberschreitende Nutzungen sind im Normalfall aus vertraglichen Gründen beim Roaming Rufnummern vorgesehen, etwa bei vernetzten Autos, die über Landesgrenzen fahren. Eine Substitution könnte also je nach Einsatzbereich nicht in Alleinregie durch einen MNO durchgeführt werden. Zusätzlich identifizieren die Buchungs- und Rechnungssysteme der Mobilfunknetzbetreiber die Geräte und deren Nutzung häufig auf Basis einer Rufnummer und nicht einer IMSI oder einer anderweitigen Adressierung.

BEREC hat 2016 den Ersatz von (Ruf-)Nummern durch IP-Adressen als langfristig wahrscheinliche Möglichkeit für M2M-Kommunikation beschrieben, jedoch mit großer Unsicherheit über den Zeitrahmen einer solchen Implementierung.¹²¹ Das Substitutionspotential wird durch die von uns befragten Marktteilnehmer für den Betrachtungszeitraum uneinheitlich eingeschätzt. Gründe, die gegen eine Substitution aufgeführt wurden, sind die technischen Realisierungen von M2M-Anwendungen, die aktuell auf Nummern basieren sowie internationale Standardisierungen, die ein einseitiges Abweichen erschweren. Aus technischer Sicht sind die meisten Dienste und Geräte, die über mobilfunkbasiertes M2M laufen aktuell so gebaut, dass eine alternative Nummerierung nicht ohne weiteres möglich wäre.

Grundsätzlich müssen Anwendungen die in öffentliche Netze kommunizieren außerdem den 3GPP-Standards entsprechen. Vor diesem Hintergrund ist eine alternative Nummerierung eher in nicht-öffentlichen Netze zu erwarten, da dort keine Rufnummern erforderlich sind, solange keine Handover-Prozesse in öffentliche Mobilfunknetze stattfinden. Dies gilt auch, wenn die Netze einen Mobilfunkstandard und Mobilfunktechnologie nutzen. Wenn hingegen SIM-Profile genutzt werden, müssen auch für die in diesen Netzen genutzten Anwendungen nach aktuellem Stand der Technik IMSIs vergeben werden.

Lokale Netze werden in der Zukunft möglicherweise zumindest teilweise mit dem von der ITU bereitgestellten MCC 999 operieren, der in geschlossenen Campusnetzen¹²² genutzt werden kann. Der MNC unter diesem MCC kann vom Betreiber des Campusnetzes frei und ohne Absprache mit Regulierungsbehörden gewählt werden, da er nur im entsprechenden Netz genutzt wird und die entsprechenden Endgeräte nicht über öffentliche Netze kommunizieren. Für Testzwecke sollen jedoch in erster Linie die MNC 99 und 999 genutzt werden.

¹²¹ Vgl. BEREC (2016): Report on Enabling the Internet of Things, S. 17–18.

¹²² Ein solches Netzwerk wird als SNPN (Stand-alone non-public network) bezeichnet.

Als weiteres Identifikationsmerkmal kann ein sogenannter Network identifier (Net-ID bzw. NID) übertragen werden, der eine unbefugte Einwahl in das Netz noch einmal erschwert. Die Standardisierung dieses Identifikationsmerkmals seitens der 3GPP läuft aktuell. Ähnlich ist die Situation bei Netzen, bei denen sich öffentliches und privates Netz einen Teil der Infrastruktur teilen.¹²³ Dort kann zusätzlich zu MCC + MNC des öffentlichen Mobilfunknetzes ein Closed Access Group Identifier (CAG) übertragen werden, so dass Mobilfunknetzbetreiber die für das entsprechende Campusnetz berechtigten Geräte identifizieren können. Wird nur ein Network Slice eines öffentlichen Mobilfunknetzes für das Campusnetz genutzt, gibt es keine Änderungen in der Nummerierung zu öffentlichen Netzen.¹²⁴ Die NID als zusätzliches Identifikationsmerkmal dupliziert die IMSI-Ressourcen, es ist also möglich, dass benachbarte Campusnetze die gleichen IMSI nutzen ohne Authentifizierungsprobleme zu generieren, solange die NIDs nicht übereinstimmen. Die Frage der Regulierung bzw. des Nachhaltens von genutzten NIDs ist eine Frage, mit der sich das Standardisierungsgremium 3GPP explizit nicht beschäftigt.¹²⁵

Die Verwendung des MCC 999 birgt jedoch in der Praxis einige Probleme. Neben möglicherweise nicht eindeutigen Identifizierungen bei benachbarten nicht-öffentlichen Netzen, gibt es außerdem keine Möglichkeit Schnittstellen in öffentliche Netze bereitzustellen. Eine Option um den MCC 999 in Verbindung mit der NID zu nutzen, wäre die folgende (vgl. Tabelle 6-2):

Tabelle 6-2: Möglichkeit der Vergabe von IMSI in lokalen Netzen

	MCC (Zuteilung durch ITU)	MNC (Zuteilung durch BNetzA)	NID (Zuteilung durch BNetzA)
Unternehmen A (Standort A)	262	xx (z.B. 99)	1
Unternehmen B (Standorte B1 und B2)	262	xx (z.B. 99)	2
Unternehmen B (Standort B3)	262	xx (z.B. 99)	3

Quelle: WIK.

¹²³ Diese Netzwerke werden als Public Network Integrated NPN bezeichnet.

¹²⁴ Vgl. 3GPP (2019): TS 23.501 V16.1.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; System Architecture for the 5G System; Stage 2 (Release 16).

¹²⁵ Vgl. 3GPP (2019): TR 23.734 V16.2.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on enhancement of 5G System (5GS) for vertical and Local Area Network (LAN) services (Release 16).

Die IMSI würde sich in diesem Fall aus dem normalen, Deutschland von der ITU zugeordneten, MCC (262), einem von der Bundesnetzagentur zentral für Campusnetze vergebenen MNC (z.B. dem MNC 99), sowie den jeweiligen, den einzelnen SIM-Profilen zugeordneten, Teilnehmeridentifikationsnummern, zusammensetzen. Die Unterscheidung der jeweiligen Campusnetze würde über eine NID (wie beim MCC 999) stattfinden, die von der Bundesnetzagentur fortlaufend an die Campusnetzbetreiber vergeben wird. Die Frequenzuteilung könnte in diesem Rahmen als zentrales Einfallstor genutzt werden, da eine Antragstellung durch die an Campusnetzen Interessierten in jedem Fall erfolgen wird.

Die nach einem solchen Verfahren zugeteilten IMSI sind zwar technisch in der Lage, sich mit dem öffentlichen Mobilfunknetz zu verbinden, jedoch ist aufgrund der Nutzung der NID, die in den Systemen der MNOs aktuell nicht differenziert werden kann, eine Differenzierung zwischen den einzelnen Unternehmen und SIM-Profilen nicht möglich. Bei der Nutzung z.B. der IMSI 262990000000001, wäre den Systemen des MNOs nicht klar, ob diese von Unternehmen A mit der NID 1 oder von Unternehmen B mit der NID 2 (oder 3) genutzt wird. Diese Identifikationsproblematik wirkt sich einerseits auf Abrechnungssysteme aus (da etwaig anfallende Entgelte nicht korrekt abgerechnet werden könnten), andererseits können aber auch Sicherheitsbedenken durch eine nicht eindeutige Identifikation eines Gerätes in einem Netzwerk ausgelöst werden. Insofern ist die vorgeschlagene Lösung für abgeschlossene Campusnetze sinnvoll und öffnet eine Möglichkeit für eine spätere Implementierung von Schnittstellen ins öffentliche Netz, die jedoch aktuell nicht ohne Weiteres genutzt werden kann.

Ein etwas anderes System, nämlich eine Authentifizierung mit einem zusätzlichem Identifier innerhalb der IMSI hinter MCC + MNC wird in den USA bei den IMSI für den Citizens Broadband Radio Service (CBRS)¹²⁶ verwendet. Dort wird eine vierstellige IMSI-Block-Nummer hinter MCC + MNC gehängt, die einen Anbieter unterhalb des MNC für den CBRS identifiziert.¹²⁷ Auch ein PVNO/HLR Proxy Provider würde seine IMSI-Nehmer wohl ähnlich identifizieren und mit IMSI versorgen. Bei einem solchen Modell ergibt sich aber eine vergleichbare Problematik wie bei der NID wenn es um Schnittstellen ins öffentliche Netz geht.

Die Nutzung internationaler Nummern ist bei Campusnetzen nicht ohne weiteres möglich. Aktuell dürfen laut ITU internationale Nummernressourcen (z.B. IMSI mit dem MCC 901) nicht in privaten Netzen bzw. Campusnetzen benutzt werden. Aufgrund dessen müssen, bis die ITU ihre Regularien ggf. ändert, nationale Nummern oder IMSI mit dem frei nutzbaren MCC 999 genutzt werden. Wenn ein lokales Netz einmal mit einer Num-

¹²⁶ CBRS nutzt freie Frequenzen in den USA im Bereich 3,55 – 3,7 GHz, die nicht per Auktion vergeben werden, siehe: Correll, P. (2019): What is CBRS Technology? Should I Care About It? In: extremenetworks.com, 26.04.19, elektronisch verfügbar unter: <https://www.extremenetworks.com/extreme-networks-blog/what-is-cbrs-technology-should-i-care-about-it/>.

¹²⁷ Vgl. IMSI Oversight Council (IOC) (2019): CBRS Assignments, elektronisch verfügbar unter: <http://imsiadmin.com/cbrs-assignments>.

mernressource implementiert ist, wird es mutmaßlich auch im Nachhinein nicht mehr zu Änderungen an der Art der Nummerierung kommen.

Exkurs: Nutzung von IMSI in (nicht-öffentlichen) 5G-Netzen

In den Spezifikationen der 3GPP (Release 15 und 2020 erscheinender Release 16) wird festgelegt, dass jedem SIM-Profil ein Subscription Permanent Identifier (SUPI) zur Identifizierung zugeordnet ist. Dieser kann die IMSI sein, dies ist jedoch nicht zwingend.¹²⁸ Die Nutzung eines Network Access Identifiers (NAI)¹²⁹ ist ebenfalls möglich, dieser kann allerdings auch die IMSI enthalten. Die Zuteilung einer IMSI wäre in diesem Fall weiterhin erforderlich. Um Roaming in öffentliche Netze zu ermöglichen muss im SUPI die Adresse des Heimnetzwerks hinterlegt sein (also im Falle der IMSI MCC + MNC). Für eine Vernetzung mit dem Evolved Packet Core (EPC), der den Kern des 4G/LTE-Funknetzes bildet, wird zwingend eine IMSI als SUPI benötigt. Die mögliche Ersetzung der IMSI als SUPI ist also kurzfristig (und das auch erst nach in Kraft treten des Release 16 der 3GPP) höchstens für komplett abgeschottete private Netze ohne Schnittstellen ins öffentliche Netz möglich. Für diese Zwecke wäre auch aktuell schon eine Lösung über den MCC 999, ggf. in Verbindung mit einer NID, denkbar. In diesen Netzen ohne Anbindung ans öffentliche Netz sind rein technisch auch komplett andere Identifizierungsmöglichkeiten wie etwa lokal administrierte Zertifikatslösungen möglich.¹³⁰ Eine Abschätzung bzgl. der konkreten Nutzungsintensität solcher Zertifikate ist aufgrund der jetzt erst anstehenden ersten Implementierung dieser Netze noch nicht abschätzbar.

Die Implementierung der SUPI anstelle der klassischen IMSI hat insbesondere Sicherheitsgründe. So wird die SUPI in einen Subscription Concealed Identifier (SUCI) umgewandelt, der dann, neben dem MCC + MNC im Klartext (vorausgesetzt der SUPI ist eine IMSI oder enthält diese), die Teilnehmeridentifikationsnummer verschlüsselt überträgt.¹³¹ Dadurch wird z.B. der Einsatz von IMSI-Catchern¹³² stark erschwert. Dies funktioniert jedoch nur in reinen 5G-Netzen, diese Art der Verschlüsselung wird bei 4G nicht unterstützt.

¹²⁸ Vgl. 5G Americas (2019): The Evolution of Security in 5G – A „Slice“ of Mobile Threats, elektronisch verfügbar unter: <https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/08/5G-Security-White-Paper-07-26-19-FINAL.pdf>.

¹²⁹ Definiert in TS 23.003 der 3GPP: 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network and Terminals; Numbering, addressing and identification (Release 16).

¹³⁰ Vgl. 5G ACIA (2019): 5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios, elektronisch verfügbar unter: https://www.5g-acia.org/fileadmin/5G-ACIA/Publikationen/5G-ACIA_White_Paper_5G_for_Non-Public_Networks_for_Industrial_Scenarios/WP_5G_NPN_2019_01.pdf sowie Rajavelsamy, R. (2018): Security aspects of NextGen System (5G), elektronisch verfügbar unter: https://uk5g.org/media/uploads/resource_files/5G-Security-TS33501.pdf.

¹³¹ Vgl. Sahu, P. (2019): 5G Network Identity SUPI/SUCI, elektronisch verfügbar unter: <http://5gblogs.com/concealing-of-supi-into-suci/>.

¹³² Ein IMSI-Catcher ist ein Gerät, das z.B. von Ermittlungsbehörden genutzt werden kann um den Standort eines mobilfunkbasierten Gerätes einzugrenzen.

6.3 Regulatorische Handlungsoptionen

Bei den deutschen Mobilfunknetzbetreibern ist die aktuelle Praxis der Nummernnutzung für M2M Dienste sehr unterschiedlich. Während ein Anbieter nach eigenen Angaben einen Mix aus verschiedenen Nummernressourcen nutzt, setzt ein anderer hauptsächlich auf internationale IMSI und Rufnummern. Der dritte nutzt insbesondere bei neueren Kunden schwerpunktmäßig Nummernressourcen aus einem anderen Land (exterritoriale Nutzung). Dies spricht für eine geringere Beanspruchung deutscher Nummernressourcen als die Marktprognose suggeriert.

Substitutionspotentiale, sei es eine „Substitution durch Wegfallen“ im Falle von Rufnummern in Campusnetzen, oder eine Substitution durch alternative Adressierungen, wie bei IMSI wahrscheinlicher, werden ebenfalls dazu führen, dass trotz des Wachstums im M2M Bereich keine Knappheit von Nummernressourcen zu erwarten ist.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass die Prognosen jeweils eine Obergrenze der im jeweiligen Szenario benötigten deutschen Nummernressourcen darstellen. Auch wenn somit keine akute Nummernknappheit zu erwarten ist, sollte die Bundesnetzagentur weiterhin die Marktentwicklung im Blick behalten.

Handlungsbedarf besteht kurzfristig bei einem Thema, der Nummerierung in Campusnetzen. Eine Vergabe von NIDs durch die Bundesnetzagentur in Verbindung mit einem für Campusnetze nutzbaren MNC (z.B. 99) erscheint sinnvoll.

Die Frage ob für lokale Netze Nummern vergeben werden sollen, die eine Schnittstelle in öffentliche Mobilfunknetze bieten, geht über die reine Nummerierung hinaus und ist eine grundsätzliche Frage, bei der es zwischen den Interessen der Mobilfunknetzbetreibern und den Nachfragern von unabhängigen Campuslösungen sinnvoll abzuwägen gilt. Dies ist relevant, da die Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Lösung auch Implikationen für den nationalen Mobilfunkmarkt haben kann.

Möglicherweise werden die Nutzer von geschlossenen Campusnetzen zu Verhandlungslösungen mit Netzbetreibern und/oder Technologiepartnern kommen. Dies könnten Multi-IMSI-Lösungen oder eSIM-Profile, die an der Grundstücksgrenze des Campusnetzes auf öffentliche IMSI gewechselt werden, sein. Technologische Lösungen außerhalb des lizenzierten Spektrums (z.B. über LoRaWan oder Sigfox) oder die Realisierung einiger Campusnetze als Hybridlösung mit Unterstützung der öffentlichen Mobilfunknetzbetreiber wären weitere denkbare Ansätze.

Sollte das System der Vergabe von IMSI unterhalb eines geteilten MNCs (inkl. Duplizierung durch eine NID) von den Marktteilnehmern als nicht ausreichend erachtet werden und es politisch gewollt sein, dass Campusnetzbetreiber einfach Schnittstellen in öffentliche Netze erhalten, ist es möglich, dass ein Bedarf für die Zuteilung eigener MNCs entsteht. Die genauen Modelle, die in diesem Fall aufgrund der Knappheit der MNCs eine Rolle spielen könnten, sind in Kapitel 6.2.1 erläutert. In einem solchen Falle müsste aber kurz- bis mittelfristig eine Regelung in Absprache mit der ITU getroffen werden, damit Verstöße gegen deren Empfehlungen die Ausnahme bleiben.

7 Fazit

Zielsetzung des vorliegenden Diskussionsbeitrags war die Abschätzung der Entwicklung der mobilfunkgestützten M2M-Kommunikation in Deutschland. Darauf aufbauend wurde untersucht, ob sich aus unseren Prognosen ein Anpassungsbedarf für die bestehende Nummernregulierung ergibt.

Es herrscht Einigkeit darüber, dass der M2M/IoT-Markt in den nächsten Jahren stark wachsen wird. Gleichzeitig liegen jedoch keine dezidierten Prognosen vor, die sich auf die Entwicklung der mobilfunkgestützten M2M-Kommunikation beziehen. Dies ist insofern von Relevanz, als dass M2M-Anwendungen über verschiedene Technologien und Lösungen implementiert werden können. Stand heute wird nur ein Teil der M2M-Kommunikation über lizenziertes Mobilfunkspektrum abgewickelt und es ist davon auszugehen, dass dies auch in Zukunft der Fall sein wird.

Seit 2010 weist die Bundesnetzagentur die Anzahl der SIM-Karten für M2M aus. Ende 2018 waren 23 Mio. SIM-Karten dem M2M-Bereich zuzuordnen, was einem Anteil von 17% entspricht. Während davon auszugehen ist, dass die Zahl der Consumer SIM-Karten in den kommenden Jahren kaum wachsen wird, erwarten wir im M2M-Bereich in den nächsten 10 Jahren ein starkes Wachstum.

Wir unterscheiden in unserer Prognose 3 Szenarien, die sich in Angebot, Nachfrage und den technologischen und regulatorisch politischen Rahmenbedingungen voneinander unterscheiden.

- Im Basisszenario, welches aus unserer Sicht das wahrscheinlichste Szenario darstellt, erreicht die Anzahl der SIM-Profile die in Deutschland für die M2M-Kommunikation genutzt werden, im Jahr 2025 110 Mio. und steigert sich bis zum Jahr 2030 auf 223 Mio.. Die (rein rechnerische) Anzahl der M2M-SIM-Karten pro Kopf beträgt im Jahr 2030 2,68, der Anteil der M2M-SIM-Profile an allen SIM-Profilen liegt bei ca. 60%.
- In einem starken Wachstumsszenario erwarten wir im Jahr 2025 244 Mio. SIM-Profile für M2M-Kommunikation und im Jahr 2030 678 Mio.. Rein rechnerisch entfallen am Ende des Betrachtungszeitraumes 8,15 SIM-Profile auf einen Einwohner, der Anteil der M2M-SIM-Profile an allen SIM-Profilen liegt bei 82%.
- Bei einer ungünstigeren Entwicklung in relevanten Einflussbereichen gehen wir von einer Zunahme der SIM-Profile auf 61 Mio. im Jahr 2025 und 87 Mio. im Jahr 2030 aus. Rein rechnerisch ist 1 M2M-SIM-Profil pro Einwohner zu verzeichnen. Der voraussichtliche Anteil der M2M-SIM-Profilen an allen SIM-Profilen läge in diesem Falle bei 38%.

Trotz der hohen Wachstumsraten bei M2M erwarten wir keine Knappheit bei den erforderlichen IMSIs und Rufnummern. Dies hat zwei Ursachen: Zum einen sind die Num-

mernressourcen in Deutschland großzügig bemessen. Zum anderen nutzen die in Deutschland tätigen Mobilfunknetzbetreiber in erheblichem Umfang internationale und ausländische Nummern für die M2M-Kommunikation, ohne dass in vergleichbarem Maße deutsche Nummern im Ausland genutzt werden. Sollte sich diese Praxis nicht ändern, wofür es keine klaren Indizien gibt, würden die zusätzlich erforderlichen IMSI und Rufnummern zumindest zu einem relevanten Anteil nicht zulasten des deutschen Nummernraumes gehen.

Handlungsbedarf besteht aktuell jedoch mit Blick auf die IMSI-Vergabe und Nummerierung in mobilfunknetzbetreiberunabhängigen lokalen Campusnetzen. Hier gilt es zwischen den Interessen der verschiedenen Beteiligten abzuwägen und dabei auch mögliche Implikationen für den gesamten Mobilfunkmarkt in das Entscheidungskalkül miteinzubeziehen.

Da unsere Prognose einen sehr weiten Blick in die Zukunft wirft, besteht bei den skizzierten Entwicklungen ein entsprechend hoher Grad an Unsicherheit, unter anderem aufgrund von vielfältigen möglichen Alternativtechnologien für Massenanwendungen (LPWAN im unlizenziierten Spektrum). Vor diesem Hintergrund empfehlen wir, die Prognose unter Verwendung einer vergleichbaren Methodik in Zukunft in einem regelmäßigen Turnus durchzuführen, um frühzeitig auf mögliche disruptive Marktentwicklungen reagieren zu können.

Literaturverzeichnis

- 3GPP (2019): TS 23.501 V16.1.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; System Architecture for the 5G System; Stage 2 (Release 16)
- 3GPP (2019): TR 23.734 V16.2.0 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on enhancement of 5G System (5GS) for vertical and Local Area Network (LAN) services (Release 16)
- 5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G ACIA) (2019): 5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios, White Paper, July 2019, elektronisch verfügbar unter: https://www.5g-acia.org/fileadmin/5G-ACIA/Publikationen/5G-ACIA_White_Paper_5G_for_Non-Public_Networks_for_Industrial_Scenarios/WP_5G_NPN_2019_01.pdf
- 5G Americas (2019): The Evolution of Security in 5G – A „Slice“ of Mobile Threats, elektronisch verfügbar unter: <https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/08/5G-Security-White-Paper-07-26-19-FINAL.pdf>
- Actility (2018): LoRaWAN and Cellular IoT (NB-IoT, LTE-M): How do they complement each other? Whitepaper, elektronisch verfügbar unter: <https://www.slideshare.net/Actility/whitepaper-lorawan-and-cellular-iot-nbiot-ltem-how-do-they-complement-each-other>
- Analysys Mason & Antelope Consulting (2013): Numbering for Machine-to-Machine Communications, elektronisch verfügbar unter: https://www.comreg.ie/media/dlm_uploads/2015/12/ComReg13110.pdf
- BEREC (2016): Enabling the Internet of Things, elektronisch verfügbar unter: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/reports/5755-berec-report-on-enabling-the-internet-of-things
- BEREC (2019): Internet of Things indicators, BoR (19) 25, 07.03.19, elektronisch verfügbar unter: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/reports/8464-berec-report-on-internet-of-things-indicators
- Bodewes, F.; Westbroek, P. (2015): Enexis Private MVNO Solution, elektronisch verfügbar unter: <http://docplayer.net/24654331-Enexis-private-mvno-solution.html>
- Büllingen, F.; Börnsen, S. (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
- Bundesnetzagentur (o.D.): Internationale Kennungen für mobile Teilnehmer (IMSI), elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMSI/IMSI.html?nn=468828
- Bundesnetzagentur (2013): Jahresbericht 2012, elektronisch verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2013/130506_Jahresbericht2012.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- Bundesnetzagentur (2016): Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer (International Mobile Subscriber Identities, IMSIs): Anhörung zum Entwurf eines Nummernplans, eines Antragsverfahrens, einesteilweisen Widerrufs bestehender Zuteilungen sowie zur exterrito-

- riale Nutzung von ausländischen IMSIs in der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen von Machine-to-Machine-Kommunikation; Zusammenfassung und Bewertung der Stellungnahmen, elektronisch verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMS/IMS_Auswertung.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- Bundesnetzagentur (2016): Exterritoriale Nutzung von ausländischen Internationalen Kennungen für Mobile Teilnehmer in der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen von Machine-to-Machine (M2M)-Kommunikation, elektronisch verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMS/IMS_exterritNutzung.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- Bundesnetzagentur (2016): Nummernplan Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer, elektronisch verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/TechnischeNummern/IMS/IMS_NP.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Bundesnetzagentur (2016): Portierbarkeit von Rufnummern für Mobile Dienste im Falle von Machine-to-Machine (M2M)-Kommunikation, elektronisch verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/M2M/M2M_Portierbarkeit_Rufnummern.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- Bundesnetzagentur (2017): Exterritoriale Nutzung von ausländischen Rufnummern im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen von Machine-to-Machine-Kommunikation, elektronisch verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/M2M/Vfg_80_2017_Exterritoriale_Nutzung_von_ausl_Rufnummern.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- Bundesnetzagentur (2018): Nummernplan Rufnummern für Mobile Dienste, elektronisch verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/Mobile%20Dienste/Nummernplan-2018-03-02.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- Bundesnetzagentur (2019): Exterritoriale Nummernnutzung; Auslegung des Begriffs „begrenzte menschliche Beteiligung“ bei der Definition von M2M-Kommunikation, Amtsblatt der Bundesnetzagentur, Nr. 9, 15.05.19, Mitteilung Nr. 232/2019
- Bundesnetzagentur (2019): Mobile Dienste, freie RNB, elektronisch verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Nummerierung/Rufnummern/MobileDienste/freie%20RNB/MobileDiensteFreieRNB_Basepage.html?nn=468828#download=1
- Bundesnetzagentur (2019): Regionale und lokale Netze, Frequenzen für das Betreiben regionaler und lokaler drahtloser Netze zum Angebot von Telekommunikationsdiensten, elektronisch verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html

- Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022, White Paper, elektronisch verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf>
- Cisco (2019): Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022, White Paper, <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.pdf>
- Correll, P. (2019): What is CBRS Technology? Should I Care About It? In: extremenetworks.com, 26.04.19, elektronisch verfügbar unter: <https://www.extremenetworks.com/extreme-networks-blog/what-is-cbrs-technology-should-i-care-about-it/>
- CRTC (2019). Notice of Consultation CRTC 2019-57, elektronisch verfügbar unter: <https://cea-ksiu6qbsd.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/05/Final-CEA-response-to-CRTC-2019-57-May-15-2019.pdf>
- Deloitte (2018): The Future of Connectivity in IoT Deployments, elektronisch verfügbar unter: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/technology/Connectivity-in-IoT-deployments-Deloitte.pdf>
- Devices Atlas (2019): Dual SIM smartphone usage – 2019, elektronisch verfügbar unter: <https://deviceatlas.com/blog/dual-sim-smartphone-usage>
- ECC (2013): Extra-territorial Use of E.164 Numbers, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ecodocdb.dk/download/78c0fb7b-097c/ECCREP194.PDF>
- ECC (2014): Evolution in the Use of E.212 Mobile Network Codes, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ecodocdb.dk/download/8b9d79d3-ab26/ECCREP212.PDF>
- Ericsson (2019): Ericsson Mobility Report, June 2019, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/49d1d9/assets/local/mobility-report/documents/2019/ericsson-mobility-report-june-2019.pdf>
- Ericsson (2019): Ericsson Mobility Report, November 2019, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/4acd7e/assets/local/mobility-report/documents/2019/emr-november-2019.pdf>
- EY (2019): Future of IoT, elektronisch verfügbar unter: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY - Future of IoT/\\$FILE/EY-future-of-lot.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_-_Future_of_IoT/$FILE/EY-future-of-lot.pdf)
- Frost & Sullivan (2016): Growing Industry Applications of LPWAN Technologies, elektronisch verfügbar unter: https://rfdesignuk.com/uploads/9/4/6/0/94609530/murata_lpwan_study.pdf
- Godlovitch, I.; Arnold, R.; Gries, C.; Marcus, J.S.; Taş, S. (2019): Technological developments and roaming, elektronisch verfügbar unter: <https://www.wik.org/fileadmin/Studien/2019/FinalReportSMART20180012.pdf>
- Government of India, Ministry of Communication & Information Technology, Department of Telecommunications (2015): National Telecom M2M Roadmap, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2015/01/India-M2M-roadmap-available-market-consultations-on-IoT.pdf>
- Gries, C.; Wernick, C. (2017): Bedeutung der embedded SIM (eSIM) für Wettbewerb und Verbraucher im Mobilfunkmarkt, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 422

- GSMA (2014): Cellular M2M forecasts and assumptions: 2010–2020, September 2014, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/09/GSMA-Intelligence-Cellular-M2M-forecasts-2010-2020.pdf>
- GSMA (2019): The Mobile Economy 2019, elektronisch verfügbar unter: <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=b9a6e6202ee1d5f787cfebb95d3639c5&download>
- GSM Europe (2000): Subject: Mobile Network Codes (MNCs) – Change from 2 digits to 3 digits
- IMSI Oversight Council (IOC) (2019): CBRS Assignments, elektronisch verfügbar unter: <http://imsiadmin.com/cbrs-assignments>
- Institut für Mittelstandsforschung (2019): Volkswirtschaftliche Bedeutung der KMU, elektronisch verfügbar unter: <https://www.ifm-bonn.org/statistiken/mittelstand-im-ueberblick/#accordion=0&tab=0>
- IoT Analytics (2018): State of the IoT & Short term market outlook 2018, August 2018, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/product/state-of-the-iot-2018/>
- ITU (2016): The international identification plan for public networks and subscriptions, Recommendation ITU-T E.212, elektronisch verfügbar unter: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.212-201609-I/en>
- ITU (2018): E.164 - The international public telecommunication numbering plan, elektronisch verfügbar unter: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.164/en>
- ITU (2018): E.212: New Appendix on shared E.212 Mobile Country Code (MCC) 999 for internal use within a private network, elektronisch verfügbar unter: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.212-201807-I!Amd1/en>
- ITU (2019): Status of reserved or assigned ITU-T E.212 shared Mobile Country Codes (MCC) and associated Mobile Network Codes (MNC), elektronisch verfügbar unter: https://www.itu.int/net/ITU-T/inrdb/e212_901.aspx
- Kavanagh, S.; Thomas, K. (2019): What is a private 5G network? Elektronisch verfügbar unter: <https://5g.co.uk/guides/what-is-a-private-5g-network/>
- Khan, D. (2018): DoT orders telcos to implement 13-digit scheme for SIM-based M2M connection, in: ETTelecom.com, 21.02.18, elektronisch verfügbar unter: <https://telecom.economictimes.indiatimes.com/news/dot-orders-telcos-to-implement-13-digit-scheme-for-sim-based-m2m-connection/63012189>
- KPMG (2019): Internet of Things in Smart cities, elektronisch verfügbar unter: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/in/pdf/2019/05/urban-transformation-smart-cities-iot.pdf>
- LoRaWAN/Activity (2019): LoRaWAN™: global standard for Low Power Wide Area IoT networks, Whitepaper, elektronisch verfügbar unter: <https://iotbusinessnews.com/download/white-papers/ACTIVITY-LoRaWAN-white-paper.pdf>
- Lueth, Lasse (2018): State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating, 18.08.18, elektronisch verfügbar unter: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>

- MCA (2019): Numbering Resources for M2M/IoT Connectivity Services, elektronisch verfügbar unter:
https://meae.gov.mt/en/Public_Consultations/OPM/Documents/Consultation%20Paper%20-%20Numbering%20Resources%20for%20M2M_IoT%20Connectivity%20Services%20and%20other%20Non-ICS.pdf
- Mekki, K.; Bajic, E.; Chaxel, F; Meyer, F. (2019): A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, in: ICT Express, Volume 5, Issue 1, March 2019, S. 1–7, elektronisch verfügbar unter:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>
- Minister of Economic Affairs (2014): Decree of the Minister of Economic Affairs (Minister van Economische Zaken) of 3 March 2014, no. ETM/TM/14024019, containing amendments to the Numbering Plan for international mobile subscription identities (IMSI) relating to the use of IMSIs by private networks, elektronisch verfügbar unter:
<https://www.government.nl/documents/annual-reports/2016/02/16/decreed-change-of-imsi-number-plan-for-private-networks>
- Moss, J. (2011): France Telecom to launch M2M SIM on shared Mobile Country Code, 11.10.11, elektronisch verfügbar unter: <http://telecoms.com/opinion/france-telecom-to-launch-m2m-sim-on-shared-mobile-country-code/>
- OECD (2018): OECD Broadband statistics, 1.12. M2M/embedded mobile cellular subscriptions, December 2018, elektronisch verfügbar unter:
<https://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics/>
- Olsen (2014): Report on mixed use of 2 and 3 digit MNC codes under Sweden's MCC 240
- Orange (2017): Numbering: The IoT SIM move to 15 digits, elektronisch verfügbar unter:
<https://www.orange-business.com/en/numbering-iot-sim-move-15-digits>
- Pasqua, Eugenio (2018): LPWAN technologies: How cellular MNOs are placing their bets, IoT Analytics, 23.10.18, elektronisch verfügbar unter:
<https://iot-analytics.com/lpwan-technologies-cellular-mnos/>
- PR.com (2016): BroadForward Awarded Best M2M Solution at MVNOs World Congress, elektronisch verfügbar unter: <https://www.pr.com/press-release/667686>
- Protzmann, R.; Radosch, I.; Festag, A.; Fritzsche, R.; Rehme, M. (2018): IV2X Integrierte Betrachtung Fahrzeugkommunikation, Studie von Fraunhofer Fokus, Fraunhofer IVI und Institut für Vernetzte Mobilität gGmbH, elektronisch verfügbar unter:
https://cdn0.scrvt.com/fokus/45694b7fa7ff31b5/33cc346d4b88/ASCT_IV2X-Dokumentation-1.5.pdf
- PTS (2019): The Swedish Telecommunications Market 2018, elektronisch verfügbar unter:
<https://www.pts.se/contentassets/70e598b7a817445cafae5b6f1e12eae9/swedish-telecoms-market-2018.pdf>
- Rähn, J. (2019): Die Dinge ins Internet bringen, in: golem.de, 16.07.19, elektronisch verfügbar unter: <https://www.golem.de/news/mobilfunktarife-fuers-iot-die-dinge-ins-internet-bringen-1907-141851.html>
- Rajavelsamy, R. (2018): Security aspects of NextGen System (5G), elektronisch verfügbar unter:
https://uk5g.org/media/uploads/resource_files/5G-Security-TS33501.pdf

Sahu, P. (2019): 5G Network Identity SUPI/SUCI, elektronisch verfügbar unter:
<http://5gblogs.com/concealing-of-supi-into-suci/>

Telefónica (2018): Allgemeine Bedingungen der Telefónica Germany GmbH & Co. OHG für M2M-Leistungen („Machine-to-Machine“, „M2M“), elektronisch verfügbar unter:
<https://iot.telefonica.de/agbs/>

Telefónica (2019): Studie Internet of Things 2019, durchgeführt von IDG, elektronisch verfügbar unter:
https://iot.telefonica.de/wp-content/uploads/2018/11/IoT-Studie-2019-Key_Findings.pdf

Van der Berg (2010): The truth about 3 digit Mobile Network Codes (MNCs) E.212, elektronisch verfügbar unter:
<http://internetthought.blogspot.com/2010/12/truth-about-2-and-3-digit-mobile.html>

Vodacom (2018): M2M Number Migration Notice, elektronisch verfügbar unter:
<https://www.vodacombusiness.co.za/business/solutions/m2m-number-migration-notice>

Vodafone (2019): A new IoT regulatory framework for Europe, elektronisch verfügbar unter:
https://www.vodafone.com/content/dam/vodafone-images/public-policy/iot/loT_whitepaper.pdf

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

- Nr. 376: Christin-Isabel Gries, Imme Philbeck:
Marktentwicklungen im Bereich Content Delivery Networks, April 2013
- Nr. 377: Alessandro Monti, Ralf Schäfer, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Kundenbindungsansätze im deutschen TK-Markt im Lichte der Regulierung, Februar 2013
- Nr. 378: Tseveen Gantumur:
Empirische Erkenntnisse zur Breitbandförderung in Deutschland, Juni 2013
- Nr. 379: Marcus Stronzik:
Investitions- und Innovationsanreize: Ein Vergleich zwischen Revenue Cap und Yardstick Competition, September 2013
- Nr. 380: Dragan Ilic, Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Peter Stamm:
Migrationsoptionen für Breitbandkabelnetze und ihr Investitionsbedarf, August 2013
- Nr. 381: Matthias Wissner:
Regulierungsbedürftigkeit des Fernwärmesektors, Oktober 2013
- Nr. 382: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:
Netzzugang im Briefmarkt, Oktober 2013
- Nr. 383: Andrea Liebe, Christine Müller:
Energiegenossenschaften im Zeichen der Energiewende, Januar 2014
- Nr. 384: 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 Netzinfrastuktur, April 2014
- Nr. 386: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Smart Metering Gas, März 2014
- Nr. 387: René Arnold, Sebastian Tenbrock:
Bestimmungsgründe der FTTP-Nachfrage, August 2014
- Nr. 388: Lorenz Nett, Stephan Jay:
Entwicklung dynamischer Marktszenarien und Wettbewerbskonstellationen zwischen Glasfasernetzen, Kupfernetzen und Kabelnetzen in Deutschland, September 2014
- Nr. 389: Stephan Schmitt:
Energieeffizienz und Netzregulierung, November 2014
- Nr. 390: Stephan Jay, Thomas Plückebaum:
Kostensenkungspotenziale für Glasfaseranschlusssnetze durch Mitverlegung mit Stromnetzen, September 2014
- Nr. 391: Peter Stamm, Franz Büllingen:
Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitratiger Datenübertragung, Oktober 2014
- Nr. 392: Dieter Elixmann, J. Scott Marcus, Thomas Plückebaum:
IP-Netzzusammenschaltung bei NGN-basierten Sprachdiensten und die Migration zu All-IP: Ein internationaler Vergleich, November 2014
- Nr. 393: Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Implikationen der Internationalisierung von Telekommunikationsnetzen und Diensten für die Nummernverwaltung, Dezember 2014
- Nr. 394: Rolf Schwab:
Stand und Perspektiven von LTE in Deutschland, Dezember 2014
- Nr. 395: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Produktive Effizienz von Postdienstleistern, November 2014

- Nr. 396: Petra Junk, Sonja Thiele:
Methoden für Verbraucherbefragungen zur Ermittlung des Bedarfs nach Post-Universaldienst, Dezember 2014
- Nr. 397: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Analyse des Preissetzungsverhaltens der Netzbetreiber im Zähl- und Messwesen, März 2015
- Nr. 398: Annette Hillebrand, Martin Zauner:
Qualitätsindikatoren im Brief- und Paketmarkt, Mai 2015
- Nr. 399: Stephan Schmitt, Marcus Stronzik:
Die Rolle des generellen X-Faktors in verschiedenen Regulierungsregimen, Juli 2015
- Nr. 400: Franz Büllingen, Solveig Börnsen:
Marktorganisation und Marktrealität von Machine-to-Machine-Kommunikation mit Blick auf Industrie 4.0 und die Vergabe von IPv6-Nummern, August 2015
- Nr. 401: Lorenz Nett, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Ein Benchmark neuer Ansätze für eine innovative Ausgestaltung von Frequenzgebühren und Implikationen für Deutschland, November 2015
- Nr. 402: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk:
Zur Marktabgrenzung bei Kurier-, Paket- und Expressdiensten, November 2015
- Nr. 403: J. Scott Marcus, Christin Gries, Christian Wernick, Imme Philbeck:
Entwicklungen im internationalen Mobile Roaming unter besonderer Berücksichtigung struktureller Lösungen, Januar 2016
- Nr. 404: Karl-Heinz Neumann, Stephan Schmitt, Rolf Schwab unter Mitarbeit von Marcus Stronzik:
Die Bedeutung von TAL-Preisen für den Aufbau von NGA, März 2016
- Nr. 405: Caroline Held, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückerbaum:
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, Tseven Gantumur, Christin Gries:
Ökonomische Chancen und Risiken einer weitreichenden Harmonisierung und Zentralisierung der TK-Regulierung in Europa, Juni 2017
- Nr. 421: Lorenz Nett:
Incentive Auctions als ein neues Instrument des Frequenzmanagements, Juli 2017
- Nr. 422: Christin Gries, Christian Wernick:
Bedeutung der embedded SIM (eSIM) für Wettbewerb und Verbraucher im Mobilfunkmarkt, August 2017
- Nr. 423: Fabian Queder, Nicole Angenendt, Christian Wernick:
Bedeutung und Entwicklungsperspektiven von öffentlichen WLAN-Netzen in Deutschland, Dezember 2017
- Nr. 424: Stefano Lucidi, Bernd Sörries, Sonja Thiele:
Wirksamkeit sektorspezifischer Verbraucherschutzregelungen in Deutschland, Januar 2018
- Nr. 425: Bernd Sörries, Lorenz Nett:
Frequenzpolitische Herausforderungen durch das Internet der Dinge - künftiger Frequenzbedarf durch M2M-Kommunikation und frequenzpolitische Handlungsempfehlungen, März 2018
- Nr. 426: Saskja Schäfer, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückebaum unter Mitarbeit von Stephan Schmitt:
Zugang zu gebäudeinterner Infrastruktur und adäquate Bepreisung, April 2018
- Nr. 427: Christian Hildebrandt, René Arnold:
Marktbeobachtung in der digitalen Wirtschaft – Ein Modell zur Analyse von Online-Plattformen, Mai 2018
- Nr. 428: Christin Gries, Christian Wernick:
Treiber und Hemmnisse für kommerziell verhandelten Zugang zu alternativen FTTB/H-Netzinfrastrukturen, Juli 2018
- Nr. 429: Serpil Taş, René Arnold:
Breitbandinfrastrukturen und die künftige Nutzung von audiovisuellen Inhalten in Deutschland: Herausforderungen für Kapazitätsmanagement und Netzneutralität, August 2018
- Nr. 430: Sebastian Tenbrock, Sonia Strube Martins, Christian Wernick, Fabian Queder, Iris Henseler-Unger:
Co-Invest Modelle zum Aufbau von neuen FTTB/H-Netzinfrastrukturen, August 2018
- Nr. 431: Johanna Bott, Christian Hildebrandt, René Arnold:
Die Nutzung von Daten durch OTT-Dienste zur Abschöpfung von Aufmerksamkeit und Zahlungsbereitschaft: Implikationen für Daten- und Verbraucherschutz, Oktober 2018
- Nr. 432: Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Warenversand im Briefnetz, Oktober 2018
- Nr. 433: Christian M. Bender, Annette Hildebrandt:
Auswirkungen der Digitalisierung auf die Zustelllogistik, Oktober 2018
- Nr. 434: Antonia Niederprüm:
Hybridpost in Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 436: Petra Junk:
Digitalisierung und Briefsubstitution: Erfahrungen in Europa und Schlussfolgerungen für Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 437: Peter Kroon, René Arnold:
Die Bedeutung von Interoperabilität in der digitalen Welt – Neue Herausforderungen in der interpersonellen Kommunikation, Dezember 2018
- Nr. 438: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:
Auswirkung von Bündelprodukten auf den Wettbewerb, März 2019

- Nr. 439: Christian M. Bender, Sonja Thiele:
Der deutsche Postmarkt als Infrastruktur für europäischen E-Commerce, April 2019
- Nr. 440: Serpil Taş, René Arnold:
Auswirkungen von OTT-1-Diensten auf das Kommunikationsverhalten – Eine nachfrageseitige Betrachtung, Juni 2019
- Nr. 441: Serpil Taş, Christian Hildebrandt, René Arnold:
Sprachassistenten in Deutschland, Juni 2019
- Nr. 442: Fabian Queder, Marcus Stronzik, Christian Wernick:
Auswirkungen des Infrastrukturwettbewerbs durch HFC-Netze auf Investitionen in FTTP-Infrastrukturen in Europa, Juni 2019
- Nr. 443: Lorenz Nett, Bernd Sörries:
Infrastruktur-Sharing und 5G: Anforderungen an Regulierung, neue wettbewerbliche Konstellationen, Juli 2019
- Nr. 444: Pirmin Puhl, Martin Lundborg:
Breitbandzugang über Satellit in Deutschland – Stand der Marktentwicklung und Entwicklungsperspektiven, Juli 2019
- Nr. 445: Bernd Sörries, Marcus Stronzik, Sebastian Tenbrock, Christian Wernick, Matthias Wissner:
Die ökonomische Relevanz und Entwicklungsperspektiven von Blockchain: Analysen für den Telekommunikations- und Energiemarkt, August 2019
- Nr. 446: Petra Junk, Julia Wielgosch:
City-Logistik für den Paketmarkt, August 2019
- Nr. 447: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Entwicklung des Effizienzvergleichs in Richtung Smart Grids, September 2019
- Nr. 448: Christian M. Bender, Antonia Niederprüm:
Berichts- und Anzeigepflichten der Unternehmen und mögliche Weiterentwicklungen der zugrundeliegenden Rechtsnormen im Postbereich, September 2019
- Nr. 449: Ahmed Elbanna unter Mitwirkung von Fabian Eltges:
5G Status Studie: Herausforderungen, Standardisierung, Netzarchitektur und geplante Netzentwicklung, Oktober 2019
- Nr. 450: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:
Internationale Vergleichsstudie bezüglich der Anwendung und Umsetzung des Nachbildbarkeitsansatzes, Dezember 2019
- Nr. 451: Matthias Franken, Matthias Wissner, Bernd Sörries:
Entwicklung der funkbasierten Digitalisierung in der Industrie, Energiewirtschaft und Landwirtschaft und spezifische Frequenzbedarfe, Dezember 2019
- Nr. 452: Bernd Sörries, Lorenz Nett:
Frequenzmanagement: Lokale/regionale Anwendungsfälle bei 5G für bundesweite Mobilfunknetzbetreiber sowie für regionale und lokale Betreiber unter besonderer Betrachtung der europäischen Länder sowie von China, Südkorea und den Vereinigten Staaten von Amerika, Dezember 2019
- Nr. 453: Martin Lundborg, Christian Märkel, Lisa Schrade-Grytsenko, Peter Stamm:
Künstliche Intelligenz im Telekommunikationssektor – Bedeutung, Entwicklungsperspektiven und regulatorische Implikationen, Dezember 2019
- Nr. 454: Fabian Eltges, Petra Junk:
Entwicklungstrends im Markt für Zeitungen und Zeitschriften, Dezember 2019
- Nr. 455: Christin Gries, Julian Knips, Christian Wernick:
Mobilfunkgestützte M2M-Kommunikation in Deutschland – zukünftige Marktentwicklung und Nummerierungsbedarf, Dezember 2019

ISSN 1865-8997