

Marktorganisation und Marktrealität von Machine- to-Machine-Kommunikation mit Blick auf Industrie 4.0 und die Vergabe von IPv6- Nummern

Autoren:
Franz Büllingen
Solveig Börnsen

Bad Honnef, August 2015

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

| | |
|---|------------|
| Abbildungsverzeichnis | II |
| Tabellenverzeichnis | IV |
| Abkürzungsverzeichnis | V |
| Zusammenfassung | IX |
| 1 Vorbemerkung | 1 |
| 2 Internet der Dinge und Industrie 4.0 als analytischer Kontext von M2M | 2 |
| 2.1 Definition und Beziehung zu M2M | 2 |
| 2.2 Marktentwicklung und volkswirtschaftliche Bedeutung von Industrie 4.0 | 17 |
| 3 Status quo der Marktentwicklung von M2M | 27 |
| 3.1 Definition und technische Grundlagen von M2M | 27 |
| 3.2 Aktuelle Entwicklung und Anwendungsstrukturen | 37 |
| 3.3 Nummerierungskonzept und International Mobile Subscriber Identity (IMSI) als regulatorische Rahmenbedingungen | 54 |
| 3.3.1 Nummerierungskonzept | 54 |
| 3.3.2 International Mobile Subscriber Identity (IMSI) | 55 |
| 4 IPv6 als Voraussetzung für M2M | 58 |
| 4.1 Entwicklung von IPv4 zu IPv6 | 58 |
| 4.2 Involvierte Akteure des Nummerierungsprozesses | 68 |
| 4.3 Regulatorische Rahmenbedingungen und Prozess der Nummernvergabe | 75 |
| 4.4 Stand der Umstellung auf IPv6 | 80 |
| 5 Treiber, Hemmnisse und Herausforderungen für M2M bzw. Industrie 4.0 in Deutschland | 91 |
| 5.1 Technische Herausforderungen | 91 |
| 5.2 Betriebswirtschaftliche und arbeitsorganisatorische Herausforderungen | 98 |
| 6 Schlussfolgerungen | 102 |
| 7 Literatur | 109 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----------------|--|----|
| Abbildung 2-1: | Machine-to-Machine-Kommunikation als Teilmenge des Internets der Dinge sowie von Industrie 4.0 | 3 |
| Abbildung 2-2: | Begriffsdefinitionen zu IoT und Industrie 4.0 im Überblick | 4 |
| Abbildung 2-3: | Wertschöpfungskette im Internet der Dinge | 6 |
| Abbildung 2-4: | Industrie 4.0 als Teil des Internets der Dinge | 7 |
| Abbildung 2-5: | Zeitstrahl der industriellen Revolutionen | 8 |
| Abbildung 2-6: | Übersicht verschiedener Definitionen von Industrie 4.0 und ihre Gemeinsamkeiten | 9 |
| Abbildung 2-7: | Typische Ausprägungen von Industrie 4.0 | 11 |
| Abbildung 2-8: | Elemente von Industrie 4.0 | 11 |
| Abbildung 2-9: | Akteure in Industrie 4.0 | 12 |
| Abbildung 2-10: | Schematische Darstellung der Fabrik im Rahmen von Industrie 4.0 | 13 |
| Abbildung 2-11: | Treiber und Effekte von Industrie 4.0 | 16 |
| Abbildung 2-12: | Art der Befassung mit Industrie 4.0 durch deutsche Unternehmen | 18 |
| Abbildung 2-13: | Herausforderungen auf dem Weg zu Industrie 4.0 aus der Sicht deutscher Unternehmen | 19 |
| Abbildung 2-14: | Investitionen in Datenqualität als Voraussetzung für Industrie 4.0 | 20 |
| Abbildung 2-15: | Vorhandensein der technischen Infrastruktur | 21 |
| Abbildung 2-16: | Wertschöpfungspotenzial in ausgewählten Branchen durch Industrie 4.0 in Milliarden Euro von 2013 bis 2025 | 22 |
| Abbildung 2-17: | Durchschnittliche Investitionen deutscher Unternehmen in Anwendungen von Industrie 4.0 pro Jahr über die nächsten fünf Jahre | 24 |
| Abbildung 2-18: | Erwartete kumulierte Umsatzsteigerungen über fünf Jahre durch Industrie 4.0 | 25 |
| Abbildung 2-19: | Umsatz durch Industrie 4.0 in Milliarden Euro pro Jahr | 26 |
| Abbildung 3-1: | M2M und CPS im Vergleich | 29 |
| Abbildung 3-2: | Veranschaulichung einer M2M-Systemlösung | 30 |
| Abbildung 3-3: | Entwicklung von M2M-Verbindungen über Mobilfunk weltweit 2011 bis 2016 | 32 |
| Abbildung 3-4: | Schichten im M2M-Ökosystem | 41 |
| Abbildung 3-5: | Geschäftsmodelle aus der Perspektive der M2M-Service-Provider | 42 |
| Abbildung 3-6: | Early Adopter von M2M-Lösungen nach Branchen | 43 |

| | | |
|-----------------|---|----|
| Abbildung 3-7: | Verfügbarkeit von Know-how zur Vermarktung von Services und Daten | 47 |
| Abbildung 3-8: | Hype-Zyklus nach Gartner | 48 |
| Abbildung 3-9: | Reifegrad von M2M-Ausprägungen und heutige Marktsituation | 50 |
| Abbildung 3-10: | Entwicklung der M2M-Verbindungen weltweit zwischen 2013 und 2018 in Milliarden | 51 |
| Abbildung 3-11: | Entwicklung der für M2M-Verbindungen genutzten Übertragungstechnik weltweit von 2013 bis 2018 in Prozent | 51 |
| Abbildung 3-12: | Entwicklung des mobilen Datenverkehrs durch M2M-Anwendungen weltweit zwischen 2013 und 2018 in Terabyte pro Monat | 52 |
| Abbildung 3-13: | Entwicklung der für M2M-Datenkommunikation eingesetzten SIM-Karten in Deutschland | 54 |
| Abbildung 4-1: | Vergleich des Formats bei IPv4- und IPv6-Adressen | 60 |
| Abbildung 4-2: | Integration der MAC-Adresse in die IPv6-Adresse | 62 |
| Abbildung 4-3: | Vergleich der wichtigsten Ansätze zur Gestaltung des Übergangs von IPv4 zu IPv6 | 67 |
| Abbildung 4-4: | Die regionalen Registraturen für IP-Nummern (RIRs) | 68 |
| Abbildung 4-5: | Hierarchie der Registraturen beim Vergabeprozess von IP-Nummern | 76 |
| Abbildung 4-6: | Wege, auf denen Unternehmen IPv6-Nummern erhalten können | 77 |
| Abbildung 4-7: | Entwicklung der Anfragen an Akamai Technologies via IPv6 in Deutschland zwischen Q3, 2013 und Q4, 2014 | 82 |
| Abbildung 4-8: | IPv6-Unterstützung bei den Alexa Top 10 Websites in Deutschland und weltweit | 84 |
| Abbildung 4-9: | Stand der Einführung von IPv6 in den befragten Unternehmen in Deutschland (Anteil der Nennungen in Prozent) | 85 |
| Abbildung 4-10: | Anteil deutscher Unternehmen, die IPv6 bereits flächendeckend nutzen, nach Branchen in Prozent | 86 |
| Abbildung 4-11: | Anteil deutscher Unternehmen, die IPv6 schon eingeführt haben nach Unternehmensgröße in Prozent | 86 |
| Abbildung 4-12: | Anteil deutscher Unternehmen, die sich gegen eine Einführung von IPv6 entschieden haben nach Unternehmensgröße in Prozent | 87 |
| Abbildung 4-13: | Entwicklung der IPv6-fähigen Geräte weltweit zwischen 2013 und 2018 in Milliarden | 88 |
| Abbildung 4-14: | Entwicklung der IPv6-fähigen Geräte in Westeuropa sowie in Zentral- und Osteuropa zwischen 2013 und 2018 in Millionen | 89 |
| Abbildung 4-15: | Entwicklung der IPv6-fähigen M2M-Geräte weltweit zwischen 2013 und 2018 in Millionen | 89 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|--------------|--|----|
| Tabelle 2-1: | Erwartete Effekte und Potenziale durch Industrie 4.0 in Deutschland zwischen 2013 und 2025 | 23 |
| Tabelle 3-1: | Durchschnittliches jährliches Wachstum der Gerätezahl und des mobilen Datenverkehrs zwischen 2013 und 2018 | 53 |
| Tabelle 3-2: | Nutzung je Gerät in MB pro Monat in 2013 und 2018 | 53 |
| Tabelle 4-1: | Anteil der Anfragen an Akamai Technologies via IPv6 nach deutschen Netzbetreibern zwischen Q3, 2013 und Q4, 2014 | 82 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------|--|
| AFRINIC | African Network Information Center |
| APNIC | Asia Pacific Network Information Centre |
| ARIN | American Registry for Internet Numbers |
| ARPA | Advanced Research Project Agency |
| BITKOM | Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. |
| BMBF | Bundesministerium für Bildung und Forschung |
| BMWi | Bundesministerium für Wirtschaft und Energie |
| BNetzA | Bundesnetzagentur |
| BSI | Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik |
| CAGR | Compound Annual Growth Rate |
| CEPT | European Conference of Postal and Telecommunications Administrations |
| CERT | Computer Emergency Response Team |
| CGN | Carrier Grade NAT |
| CIDR | Classless Inter-Domain Routing |
| CPS | Cyber-Physical System |
| DCA | Defense Communication Agency |
| ECC | Electronic Communications Committee |
| eSIM | Embedded SIM |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| EU | Europäische Union |
| eUICC | Embedded Universal Integrated Circuit Card |
| EUI | Extended Unique Identifier |
| GE | General Electric |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GSMA | Groupe Speciale Mobile Association |
| HMI | Human-Machine-Interaction |
| HTS | Hightech-Strategie |
| H2M | Human to Machine |
| HWK | Handwerkskammer |

| | |
|---------|--|
| IANA | Internet Assigned Numbers Authority |
| ICANN | Internet Corporation for Assigned Names and Numbers |
| IETF | Internet Engineering Task Force |
| IHK | Industrie- und Handelskammer |
| IIC | Industrial Internet Consortium |
| IKT | Informations- und Kommunikationstechnologie |
| IMSI | International Mobile Subscriber Identity |
| IoE | Internet of Everything |
| IIoT | Industrial Internet of Things |
| IoT | Internet of Things |
| IPv4 | Internet Protocol Version 4 |
| IPv6 | Internet Protocol Version 6 |
| ISP | Internet Service Provider |
| KMU | Kleine und mittelständische Unternehmen |
| LACNIC | Latin American and Caribbean Internet Addresses Registry |
| LAN | Local Area Network |
| LIR | Local Internet Registry |
| LPWAN | Low Power Wide Area Network |
| LSN | Large Scale NAT |
| LTE | Long Term Evolution |
| MCC | Mobile Country Code |
| MNC | Mobile Network Code |
| MSIN | Mobile Subscriber Identification Number |
| MVNO | Mobile Virtual Network Provider |
| M2H | Machine to Human |
| M2M | Machine-to-Machine |
| M2M CSP | M2M Connectivity Service Provider |
| NAT | Network Address Translation |
| NAT-PT | Network Address Translation – Protocol Translator |
| NCP | Network Control Protocol |
| NRW | Nordrhein-Westfalen |

| | |
|----------|--|
| NTIA | National Telecommunications & Information Administration |
| OTA | Over the Air |
| PA | Provider Aggregatable |
| PI | Privider Independent |
| RIPE NCC | Réseaux IP Européens Network Coordination Centre |
| RIR | Regional Internet Registry |
| SaaS | Software as a Service |
| SPS | Speicherprogrammierbare Steuerung |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| VDE | Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. |
| VDMA | Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. |
| VoLTE | Voice over LTE |
| WAN | Wide Area Network |
| WSN | Wireless Sensor Network |
| ZIM | Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand |
| ZVEI | Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. |

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie basiert auf zahlreichen Experteninterviews aus unterschiedlichen Branchen sowie Desk Research. Unsere Analyse zeigt, dass es für die Migration von IPv4 zu IPv6, den Umgang mit (Ruf-)Nummernressourcen und die Regelung des Herausgaberechts für SIM-Karten derzeit keinen Handlungsbedarf gibt. Regulatorische Eingriffe zur Beschleunigung der Migration von IPv4 nach IPv6, wie etwa in asiatischen Ländern, kommen für Deutschland insbesondere aus ordnungspolitischen Gründen kaum in Betracht. Maßnahmen könnten in der Anpassung von Vergaberichtlinien öffentlicher Ausschreibungen für definitiv IPv6-fähige Hardware bestehen. Aufklärungsaktivitäten in einschlägigen Weiterbildungsmaßnahmen könnten über die Vorteile von IPv6 mit Blick auf die Zukunftsfähigkeit von M2M- sowie 4.0-Anwendungen erfolgen.

Die Erweiterung des Herausgaberechts von SIM-Karten wurde in den Gesprächen nicht als vordringliche Herausforderung für die M2M- und Industrie 4.0-Kommunikation identifiziert. Zentrale Handlungsfelder werden hingegen rund um die Marktpenetration von M2M- und Industrie 4.0-Anwendungen sowie deren Treiber und Hemmnisse gesehen.

Referenzarchitekturen, Standardisierung, Test Beds: Die horizontale/vertikale Integration neuer Wertschöpfungsnetze erfordert die branchenübergreifende Implementierung von Standards, für die Referenzarchitekturen und Testumgebungen wichtig sind.

(IT-)Sicherheit/Security by Design: Durch die exponentielle Erhöhung von Angriffspunkten und involvierten Akteure werden neue integrierte Sicherheitsarchitekturen und Rollenkonzepte für die sichere und nutzerfreundliche Authentisierung notwendig.

Arbeitsorganisation und Gestaltung: Die Rollenveränderung der Arbeit erfordert sozio-technische Gestaltungskonzepte, Qualifizierungs- und Referenzmaßnahmen.

Neue Wertschöpfungsnetze/ Geschäftsmodelle: Die Entwicklung und branchenübergreifende Verbreitung kooperativer Geschäftsmodelle sind das zentrale Ziel aller Bemühungen rund um M2M sowie Industrie 4.0 und sollten mit gezielten Maßnahmen wie z. B. Zukunftswerkstätten unterstützt werden.

Breitbandinfrastrukturen: Ausfallsichere und flächendeckende Breitbandnetze bilden eine zentrale technische Basis. Die Vergabe neuer Frequenzen aus der Digitalen Dividende (800/700 MHz) tragen dazu bei, in der Fläche Engpässe zu reduzieren.

Rechtliche Rahmenbedingungen: Die Weiterentwicklung des bestehenden Rechtsrahmens mit Blick auf Haftungsfragen, Data Sharing, personenbezogene Daten oder Handelsbeschränkungen muss innovationsfördernd (Musterverträge) fortentwickelt werden.

Ressourceneffizienz: Rund um M2M sowie Industrie 4.0 spielen alle Fragen der Ressourcenproduktivität eine zentrale Rolle. Experten sehen hierin einen entscheidenden Incentive, dass Unternehmen sich stärker M2M- bzw. 4.0-Themen zuwenden.

Summary

Our study is based on numerous interviews with experts as well as desk research. Our analysis shows that presently no regulatory measures have to be taken in order to enforce the migration from IPv4 to IPv6, the treatment of number resources as well as the right to edit SIM cards. Regulatory interventions as e.g. used in Asian countries are not considered a suitable political option. Instead, measures to adopt public procurement directives in order to secure the provision of definitely IPv6 capable hardware should be taken into account and activities aiming at advanced training to inform actors about the sustainability of IPv6 for M2M as well as Smart Industry purposes.

The extension of the right to edit SIM cards is not regarded as a crucial factor for further market penetration. The market penetration of M2M and Smart Factory applications themselves were instead considered as key fields of action. Due to the interviews the following aspects are crucial for the development of future market processes:

Reference architectures, standardization, Test beds: The integration of industrial production by creating new value networks requires the industry wide implementation of standards, which are based on reference architectures and test beds.

IT-Security/ Security by Design: New security architectures and role concepts for secure and user friendly authentication have to be provided due to the exponential growth of access points and related possibilities for attacks.

Organization of work: The changing role of workers requires innovative socio-technical arrangements as well as new qualification concepts proved by reference architectures.

Value networks/ Business models: The key objective of all M2M- and Industry 4.0 applications is the creation and dissemination of new co-operative business models which should be supported by political measures such as future workshops.

Broadband infrastructure: Fail-proof and nationwide broadband networks are regarded as technical basis for any kind of M2M- and Industry 4.0 applications. The auction of frequencies from the so called Digital Dividend based on the 800/ 700 MHz spectrum is regarded to contribute to a comprehensive reduction of bottlenecks.

Legal framework: The development of the existing legal framework with regard to responsibility, Data Sharing, Personal Data or trade barriers has to be further developed without creating new restrictions to any kind of innovation processes.

Efficient use of resources: All aspects of the sustainable use of resources are crucial for the dissemination of M2M and Smart Factory applications. In our interviews this aspect has been regarded as an important incentive for most actors to deal more intensively with M2M and Smart Factory.

1 Vorbemerkung

Die Begriffe „Machine-to-Machine“ (M2M), „Industrie 4.0“ und „Internet der Dinge“ werden in zahlreichen Studien als Synonyme verwendet für die fortschreitende Vernetzung zwischen der physischen und der digitalen Welt. In diesem Zusammenhang wächst die Überzeugung, dass sich die automatisierte Kommunikation zwischen Geräten und Maschinen immer mehr zur Basis von modernen Industriegesellschaften entwickelt.

So gilt es heute als ausgemacht, dass praktisch jedes physische Gerät in das globale Netzwerk einbezogen werden kann und, ausgestattet mit Sensoren und Aktoren sowie einer eigenen Kommunikationsadresse, Teil einer hochflexiblen, weltumspannenden Maschinerie wird. Dabei erfolgt die Signalübertragung über leitungsbasierte (Telekommunikations- und Strom-) Netze, WLAN, Bluetooth oder den Mobilfunk.

Vor allem in der industriellen Produktion, aber auch in vielen Bereichen von Dienstleistungen, Handwerk, Wohnen, Gesundheit und Mobilität, gewinnt die Vernetzung von IKT-Systemen über entsprechende Schnittstellen sowie die Verwendung hochminiaturisierter Rechen- und Speichermodule, die in Maschinen und Geräten eingebettet werden, immer mehr an Bedeutung.

Durch diese „embedded systems“, die mit dem Internet sowie untereinander verbunden sind, werden im Zuge der Erzeugung von Daten sowie der Möglichkeit des Fernwirkens neue Funktionalitäten und Geschäftsmodelle realisierbar, denen für die nächsten Jahre eine entscheidende Rolle als Wachstumstreiber in verschiedenen Branchen zugeschrieben wird. Dabei wird der dadurch ausgelöste Umbruch als so weitreichend charakterisiert, dass viele Experten bereits von einer im hohen Maße disruptiven Entwicklung ausgehen.

Hinsichtlich des für den Einsatz von embedded systems bzw. M2M notwendigen Adressierungsverfahrens stellt sich die Frage nach den regulatorischen, organisatorischen und technischen Implikationen automatisierter Kommunikationsbeziehungen. Die Bundesnetzagentur (BNetzA) hat dazu im Jahr 2013 einen Nummernplan und ein Antragsverfahren für Rufnummern für M2M-Kommunikation veröffentlicht. Darüber hinaus wird aktuell eine Marktbefragung zur Ausgestaltung eines künftigen Nummernplans für internationale Kennungen für mobile Teilnehmer (International Mobile Subscriber Identity, IMSI) durchgeführt. Derzeit schreitet zwar die Einführung von IPv6 und die damit verbundene Erweiterung des IP-Adressraums stetig voran, jedoch nicht in der Breite und der Schnelligkeit, in dem neue IP-Adressräume für die Realisierung von M2M-Funktionalitäten erforderlich wären.

Vor diesem Hintergrund werden in der vorliegenden Studie in einem ersten Schritt Industrie 4.0 und das Internet der Dinge als analytischer Bezugsrahmen von M2M betrachtet. Dabei werden auch die volkswirtschaftliche Bedeutung und der Grad der Marktdurchdringung von Industrie 4.0 beleuchtet. Darauf aufbauend wird in einem zweiten

Schritt der Frage nach dem Status quo der Marktentwicklung von M2M nachgegangen. Darunter fällt neben der Erörterung definitorischer und technischer Grundlagen die skizzenhafte Deskription aktueller Entwicklungen und Anwendungskontexte.

In einem Exkurs werden das bestehende Nummerierungskonzept und die International Mobile Subscriber Identity (IMSI) als regulatorische Rahmenbedingungen betrachtet. Aus Perspektive des Regulierers ist die Frage, ob M2M möglicherweise zu einem erhöhten Bedarf an Rufnummernressourcen führt, von hoher Bedeutung. In der vorliegenden Studie wird diesem Aspekt nachgegangen, jedoch liegt der Schwerpunkt der Analyse auf der Betrachtung der Rahmenbedingungen der Realisierung von M2M-Funktionalitäten mit Blick auf die Migrationsgeschwindigkeit von IPv6 und dem weiten Bezugsrahmen von Industrie 4.0.

Angesichts der in den letzten Jahren konstatierten zunehmenden Verknappung von Nummernräumen unter dem existierenden IPv4-Regime befasst sich die vorliegende Analyse zwangsläufig mit dem Gesichtspunkt, inwieweit die Einführung von IPv6 kritischer Erfolgsfaktor und Voraussetzung für die erfolgreiche Einführung und Diffusion von M2M ist. Hierzu gehören neben der Nachzeichnung der Migration von IPv4 zu IPv6 auch die Betrachtung der regulatorischen Rahmenbedingungen und die Analyse des Standes der Umstellung.

2 Internet der Dinge und Industrie 4.0 als analytischer Kontext von M2M

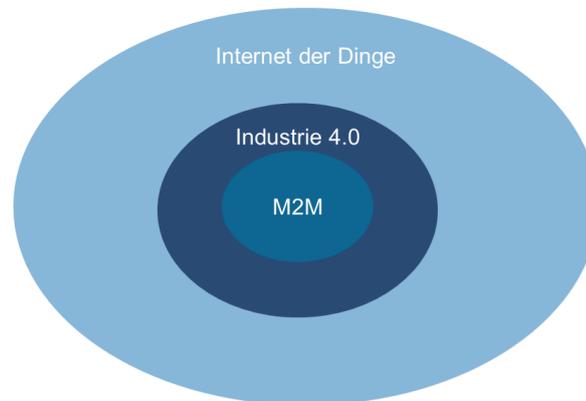
2.1 Definition und Beziehung zu M2M

Es wird geschätzt, dass weltweit die Zahl der vernetzten Gegenstände im Internet der Dinge von 1,2 Milliarden in 2014 auf 5,4 Milliarden in 2020 ansteigen wird.¹ Dies wirft die Frage auf, was unter dem Internet der Dinge verstanden wird und wie es sich von dem vor allem in Deutschland üblichen Begriff Industrie 4.0 unterscheidet.

Das Internet der Dinge und Industrie 4.0 sind Begriffe, die häufig synonym verwendet werden. Nachfolgend soll zunächst der umfassendste Begriff, das Internet der Dinge, anschließend der auf die industrielle Produktion und angrenzende Bereiche bezogene Begriff Industrie 4.0 und schließlich die Machine-to-Machine-Kommunikation (M2M) als Teilmenge dieser Oberbegriffe betrachtet werden (vgl. Abbildung 2-1).

¹ Verizon (2015): State of the market – The Internet of Things 2015; Discover how IoT is transforming business results; S. 5.

Abbildung 2-1: Machine-to-Machine-Kommunikation als Teilmenge des Internets der Dinge sowie von Industrie 4.0



Quelle: WIK

Im Glossar der Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels wird das Internet der Dinge (engl. Internet of Things, IoT) als eine „[...] massive Vernetzung unterschiedlichster Dinge und Geräte und deren virtuelle Erreichbarkeit über das Internet“ definiert. M2M stellt danach eine Schlüsseltechnologie für die Umsetzung des Internets der Dinge dar.²

Synonyme und begriffliche Erweiterungen des Internets der Dinge

Im Gegensatz dazu drücken viele Schlagworte, die häufig synonym zum Internet der Dinge verwendet werden, die singulären Standpunkte der Unternehmen aus, die sie - häufig als Marketingbegriffe - eingeführt haben. In Abbildung 2-2 wird ein Überblick über diese verschiedenen Synonyme und Erweiterungen gegeben, die regelmäßig in der Debatte um das Internet der Dinge Verwendung finden.³

So benutzt Cisco beispielsweise den Begriff „Internet of Everything“ (IoE) synonym für Industrie 4.0.⁴ Bei näherer Betrachtung der von Cisco verwendeten Definition des IoE stellt sich jedoch heraus, dass diese Begrifflichkeit weiter geht als Industrie 4.0. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass im Gegensatz zu Industrie 4.0 das IoE nicht nur die industrielle Produktion und angrenzende Branchen vernetzt, sondern es

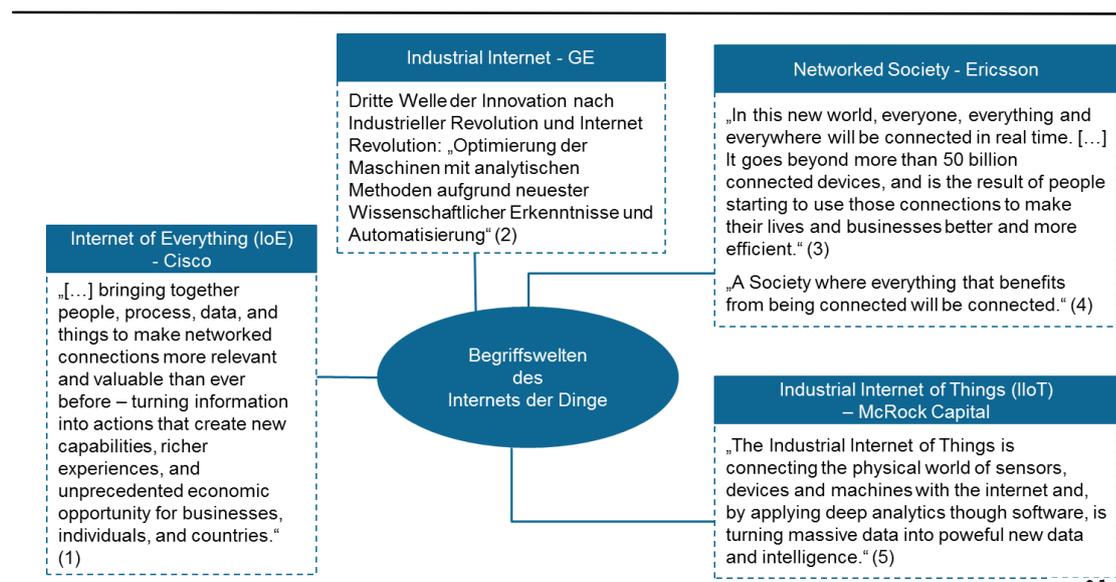
- ² AG2 „Vernetzte Anwendungen und Plattformen für die Digitale Gesellschaft“ des Nationalen IT-Gipfels (2014): Glossar der AG2 – Vernetzte Anwendungen und Plattformen für die Digitale Gesellschaft; 14.10.2014; URL: <https://it-gipfelglossar.hpi-web.de/#pg-1295-0> (Zugriff am: 28.10.2014); Siehe Stichwort „Internet der Dinge“.
- ³ Sterling, Bruce (2014): Web Semantics - Some synonyms for the Internet of Things; In: WIRED.com; 20.02.2014; URL: <http://www.wired.com/2014/02/web-semantics-synonyms-internet-things/> (Zugriff am: 09.10.2014).
- ⁴ Busse, Caspar (2014): „Deutschland kann weltweit führend werden“ – Interview mit Cisco-Chef John Chambers; In: Süddeutsche Zeitung; 01.10.2014.

werden neben der Wirtschaft, die Bürger und ganze Länder einbezogen.⁵ Damit gleicht das IoE-Verständnis eher dem Internet der Dinge.

Der von General Electric Company (GE) verwendete Begriff des Industrial Internet ähnelt dagegen in seiner Definition der von Industrie 4.0.⁶ Die Standardisierung des Industrial Internet treibt GE zusammen mit AT&T, Cisco, IBM, Hitachi und Huawei im Industrial Internet Consortium (IIC) voran. Zu diesem Zusammenschluss gehören auch die Robert Bosch GmbH und die Siemens AG.⁷

Das Industrial Internet wurde definitorisch erweitert und somit der Begriff des Industrial Internet of Things (IIoT) geschaffen, welcher als eine Verbindung industrieller Anwendungen mit dem Internet der Dinge verstanden werden kann.⁸ Dem Internet der Dinge kommt auch der Begriff der Networked Society, der von Ericsson geprägt wurde, sehr nahe.⁹ Dabei wird die zukünftige Welt als eine vollständig digitalisierte Welt betrachtet, in der alles, was potenziell vernetzt werden kann, auch tatsächlich vernetzt wird.¹⁰

Abbildung 2-2: Begriffsdefinitionen zu IoT und Industrie 4.0 im Überblick



Quellen: (1) Cisco Systems (o.J.); (2) General Electric (GE) (2013); (3) Ericsson AB (2013); (4) Ericsson AB (o.J.); (5) MacDonald, Scott/ Rockley, Whitney (2014)

- 5 Cisco Systems (o.J.): The Internet of Everything; URL: <http://www.cisco.com/web/about/ac79/innov/IoE.html> (Zugriff am 09.10.2014).
- 6 General Electric (GE) (2013): Industrial Internet – Eine europäische Perspektive – Neue Horizonte für „Minds and Machines“; Juni 2013; S. 5.
- 7 o.V. (2015): Industrie 4.0 - Bosch will Standards vorantreiben; In: heise online; 15.02.2015; URL: http://www.heise.de/newsticker/meldung/Industrie-4-0-Bosch-will-Standards-vorantreiben-2549645.html?wt_mc=rss.ho.beitrag.atom (Zugriff am: 17.02.2015).
- 8 MacDonald, Scott/ Rockley, Whitney (2014): The Industrial Internet of Things Report; McRock Capital; S. 2.
- 9 Ericsson AB (2013 a): Networked Society Essentials; Booklet; S. 2.
- 10 Ericsson AB (o.J.): Thinking Ahead; URL: <http://www.ericsson.com/thinkingahead> (Zugriff am 09.10.2014).

Verizon definiert das IoT dagegen anhand der „drei A“-Ausprägungen: Aware, Autonomous und Actionable. Der Begriff „Aware“ weist darauf hin, dass das vernetzte Gerät seine Umwelt wahrnehmen kann, beispielsweise seinen Standort, die Temperatur oder Bewegungen. Unter „Autonomous“ wird die Fähigkeit verstanden, dass das Gerät Daten automatisch zu einer gegebenen Zeit oder wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind, an eine zentrale Leitstelle übermittelt. Schließlich steht „Actionable“ dafür, dass die erhobenen Daten nach deren Veredelung zu Smart Data in betriebliche oder operative Entscheidungen einbezogen werden.¹¹

Wertschöpfungskette im Internet der Dinge

Nach der Definition des IT-Gipfel-Glossars entsteht im Internet der Dinge der Nutzen für den Kunden durch die Verbindung der physischen bzw. lokalen Welt auf der einen Seite und der digitalen, globalen Sphäre auf der anderen Seite (vgl. Abbildung 2-3).

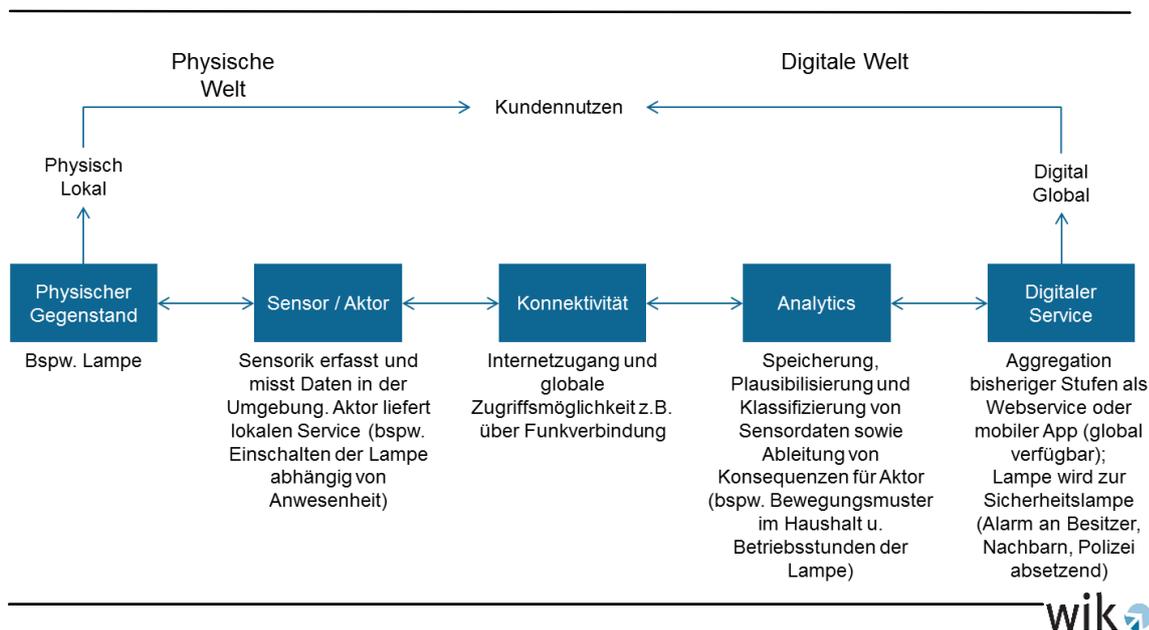
Dies kann am Beispiel einer Lampe verdeutlicht werden. Durch die Ausstattung mit einem Sensor und einem Aktor wird die Lampe als physischer Gegenstand aufgewertet. Sie kann nun über eine entsprechende Sensorik Daten in ihrer Umgebung erfassen und über den Aktor die entsprechenden Informationen in eine Zustandsänderung (z. B. heller / dunkler) umwandeln. Die vom Sensor aufgenommenen Daten können aber auch beispielsweise in einen lokalen Dienst umgesetzt werden, etwa das automatische Einschalten, wenn eine Person das Zimmer betritt.

Konnektivität entsteht, wenn die Sensoren und Aktoren der Lampe mit dem Internet verbunden werden und autorisierten Akteuren den Zugriff erlauben, und zwar unabhängig davon, wo diese sich aufhalten. Die darauf folgende Stufe der Analytics beinhaltet die Strukturierung und Veredelung der Daten. Durch die Speicherung, Plausibilisierung und Klassifizierung der Sensordaten kann beispielsweise ein Betriebsmuster der Lampe erstellt werden.

Durch die Aggregation aller bisherigen Stufen wird ein Mehrwert generiert, der in einen digitalen Service verwandelt werden kann. Dieser Service kann in einem Webservice oder einer mobilen Applikation bestehen, wodurch die Lampe zum z. B. zu einem Sicherheitsbaustein aufgewertet wird. Auf Anweisung der Hausbewohner kann die Lampe die Funktion eines Bewegungsmelders übernehmen, der im Falle eines Einbruchs ein Alarmsignal an die Polizei sendet.¹²

¹¹ Verizon (2015): State of the market – The Internet of Things 2015; Discover how IoT is transforming business results; S. 5.

¹² Fleisch, Elgar et al. (2014): Geschäftsmodelle im Internet der Dinge - Bosch IoT Lab Whitepaper; Bosch Internet of Things and Services Lab an der Hochschule St. Gallen; August 2014; S. 7.

Abbildung 2-3: Wertschöpfungskette im Internet der Dinge

Quelle: WIK nach Fleisch, Elgar et al. (2014)

Industrie 4.0 als Teilmenge des Internets der Dinge

Während das Internet der Dinge nicht auf bestimmte Segmente der Wirtschaft oder Gesellschaft begrenzt ist, steht bei Industrie 4.0 die Vernetzung von realer und digitaler Welt im Fokus. Der Arbeitskreis Industrie 4.0 sieht die vierte industrielle Revolution folglich als eine Teilmenge des Internets der Dinge und Dienste (vgl. Abbildung 2-4).¹³ Sowohl das Internet der Dinge als auch Industrie 4.0 sind, wie in der Abbildung verdeutlicht wird, eng mit dem Konzept der Cyber-Physical Systems (CPS) verbunden.¹⁴ CPS stellt eine Weiterentwicklung der Machine-to-Machine Kommunikation (M2M) dar (vgl. Abschnitt 3.1). Für das zukünftige Internet der Dinge wird diese Evolution von Bedeutung sein.¹⁵ Konzepte wie das vernetzte Fahren (Smart Mobility) oder Intelligente Energienetze (Smart Grids) bauen zwar mit CPS auf einer Technologie auf, die auch bei Industrie 4.0-Anwendungen verwendet wird, sie gehen aber weit über Anwendungsgebiete in der industriellen Produktion hinaus. Über die reine industrielle Produktion ge-

¹³ Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0; Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft; April 2013; S. 23.

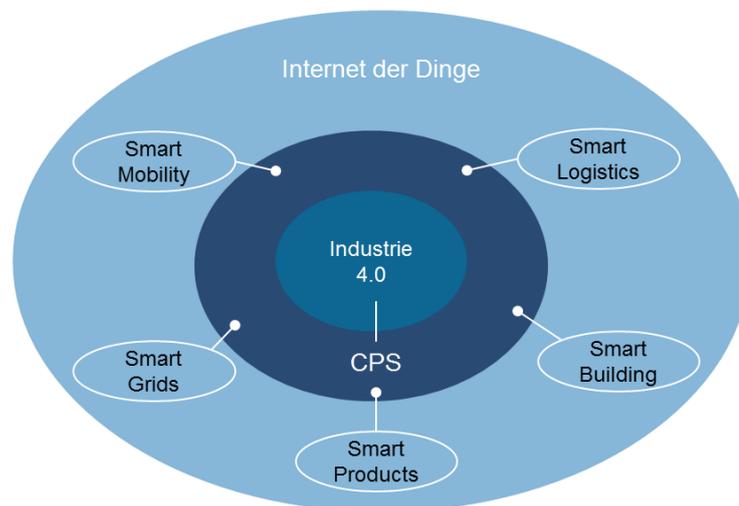
¹⁴ Drath, Rainer/ Alexander Horch (2014): Industry 4.0 - Hit or Hype?; In: IEEE Industrial Electronics Magazine; Juni 2014; S. 56-58; hier: S. 57.

¹⁵ Wan, Jiafu et al. (2013): From Machine-to-Machine Communications towards Cyber-Physical Systems; In: ComSIS, Vol. 10, No: 3; Juni 2013; S. 1105-1128; hier: S. 1110.

hen auch die Smart Products hinaus. Porter und Heppelmann definieren smarte, vernetzte Produkte über drei Kernelemente:¹⁶

- Das erste Element ist die physische Komponente des Produkts, beispielsweise die Bremsen und der Motorblock in einem Auto.
- Smart wird das Produkt unter anderem durch Sensoren, Mikroprozessoren und ein eingebettetes Betriebssystem. Beim Beispiel des Autos können das etwa das Antiblockiersystem oder Regensensoren in den Scheibenwischern sein.
- Die Vernetzung beinhaltet schließlich unter anderem die Protokolle, die eine funkbasierte oder kabelgebundene Verbindung etwa zwischen den Produkten oder zwischen Produkt und Nutzer bzw. Hersteller ermöglichen.

Abbildung 2-4: Industrie 4.0 als Teil des Internets der Dinge



Quelle: Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (2013)

Definition der vierten industriellen Revolution

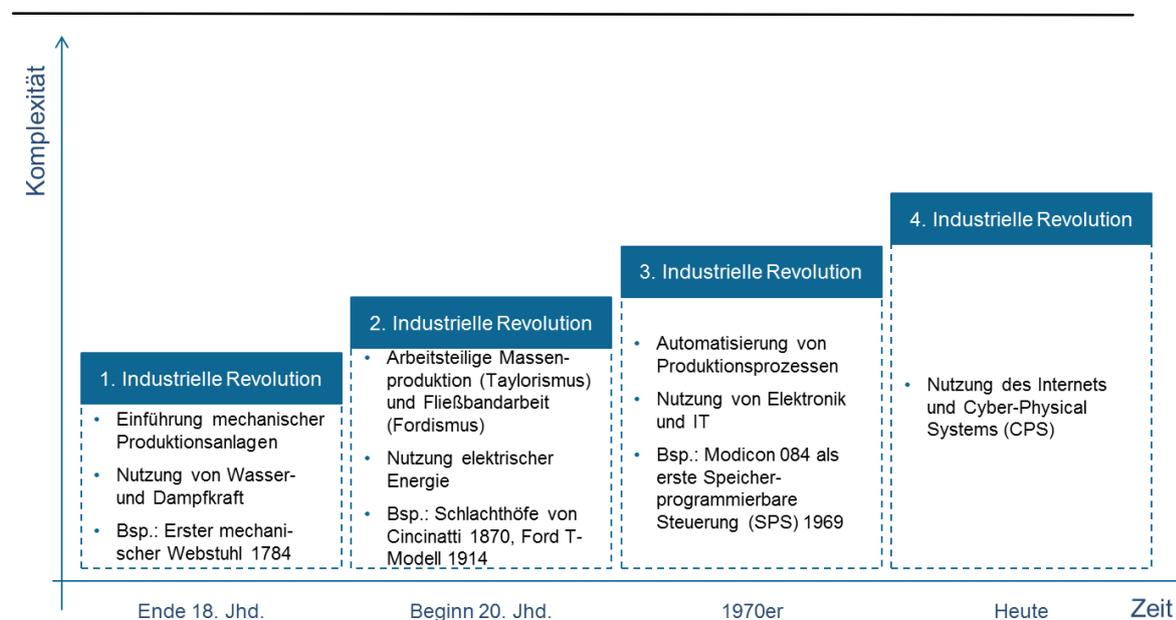
Zuerst wurde der Begriff Industrie 4.0 als Titel eines Zukunftsprojekts der Bundesregierung auf der Hannover Messe 2011 eingeführt. Während die vorangegangenen industriellen Revolutionen von der Mechanisierung der Produktionsanlagen mit Wasser- und Dampfkraft, der Massenfertigung mit Hilfe von Fließbändern und elektrischer Energie und daran anschließend der Einsatz von Elektronik und IT zur weiteren Automatisierung der Produktion getrieben wurden, ist in der vierten industriellen Revolution das Internet

¹⁶ Porter, Michael E./ Heppelmann, James E. (2014): How Smart, Connected Products Are Transforming Competition; Spotlight on Managing the Internet of Things; Harvard Business Review; November 2014; S. 5.

in Form von umfassender Vernetzung und Digitalisierung die treibende Kraft (vgl. Abbildung 2-5).¹⁷

Dabei gehen die Einschätzungen in der Fachwelt auseinander, ob es sich bei Industrie 4.0 um eine Revolution oder Evolution handelt. So sehen einige Experten die Revolution nicht in den technischen Neuerungen, sondern in den sich daraus ergebenden neuen Geschäftsmodellen, Dienstleistungen und den individualisierten Produkten.¹⁸ Andere Stimmen attestieren der neuartigen Kombination bereits existierender Technologien den revolutionären Charakter. Vielfach wurde von den Experten, die im Rahmen dieser Studie befragt wurden, unterstrichen, dass die Technologie allein nicht den entscheidenden Unterschied mache. Vielmehr stehe im Fokus der Neuerungen, welche Zusatznutzen und Komfortgewinne für die Anwender generiert werden können.

Abbildung 2-5: Zeitstrahl der industriellen Revolutionen



Quelle: WIK nach Kagermann, Henning et al. (2011) und Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (2013)

¹⁷ Kagermann, Henning et al. (2011): Industrie 4.0 - Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution; In: VDI Nachrichten; Ausgabe 13; 1. April 2011; URL: <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution> (Zugriff am: 10.10.2014).

¹⁸ Drath, Rainer/ Horch, Alexander (2014): Industry 4.0 - Hit or Hype? In: IEEE Industrial Electronics Magazine; Juni 2014; S. 56-58; S. 58.

Eine allgemein gültige Definition für Industrie 4.0 besteht derzeit noch nicht.¹⁹ Das Fehlen einer präzisen und allgemein akzeptierten Definition wird teilweise auf die Tatsache zurückgeführt, dass es sich bei Industrie 4.0 um einen Marketingbegriff handelt.²⁰ Die im Rahmen dieser Studie befragten Experten betonten zudem, dass es sich bei Industrie 4.0 um ein Konzept und noch nicht um eine Lösung handele. Auch die Abgrenzung zu anderen Begrifflichkeiten wie etwa zum Internet der Dinge erfolgt in der aktuellen Debatte nicht immer eindeutig oder einheitlich, wie bereits im Zusammenhang mit Abbildung 2-2 angedeutet wurde. Zudem kann unterstellt werden, dass Anwendungen oder Lösungen im Kontext von Industrie 4.0 je nach Branche, nach Unternehmen oder nach Kundengruppen sehr unterschiedliche Ausprägungen erfahren können.

Die verschiedenen Definitionen von Industrie 4.0 haben jedoch gemeinsam, dass sie die vierte industrielle Revolution insbesondere an dem Merkmal der Vernetzung von Produktionseinheiten und -prozessen durch IKT sowie der durchgängigen Digitalisierung betrieblicher Prozesse, insbesondere in der industriellen Produktion, festmachen (vgl. Abbildung 2-6).

Abbildung 2-6: Übersicht verschiedener Definitionen von Industrie 4.0 und ihre Gemeinsamkeiten



Quelle: *Plattform Industrie 4.0 (2013); **Wietfeld, Christian (2013); ***AG2 „Vernetzte Anwendungen und Plattformen für die Digitale Gesellschaft“ des Nationalen IT-Gipfels (2014).

¹⁹ Schlund, Sebastian/ Moritz Hämmerle/ Strölin, Tobias (2014): Industrie 4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung – Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern werden; Ingenics AG (Hg.); S. 27.
²⁰ Bendel, Oliver (o.J.): Industrie 4.0; In: Gabler Wirtschaftslexikon; URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/industrie-4-0.html> (Zugriff am: 10.10.2014).

Die erste und detaillierteste Definition ist die der Plattform Industrie 4.0. Die Plattform knüpft an das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 an und wird von drei großen Branchenverbänden getragen: dem Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM), dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) und dem Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. (ZVEI).

Die Plattform hat sich auf folgende Definition von Industrie 4.0 verständigt: „Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den gesamten Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an den zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss anzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke [...]“²¹

Eine weitere Definition liefert die Initiative IKT.NRW für Industrie 4.0. Auch diese Definition verweist auf die Vernetzung als einem zentralen Merkmal: „Durch die effiziente Vernetzung von Produktions- und Logistikprozessen über mehrere Wertschöpfungsstufen hinweg, werden Produkte fortlaufend an die Kunden- und Markterfordernisse angepasst, und gleichzeitig Energiebedarf und Umweltbelastung minimiert.“²²

In dieser Studie soll die Definition der Plattform Industrie 4.0 verwendet werden, da sie in der Nachfolge des Zukunftsprojekts Industrie 4.0 steht, das den Begriff auf der Hannover Messe 2011 erstmals einführte. Es handelt sich zudem um die umfassendste Definition von Industrie 4.0. Diese Einschätzung wurde in den geführten Expertengesprächen bestätigt.

Häufig wird Industrie 4.0 aber auch anhand seiner Charakteristika und Bestandteile veranschaulicht. Beispielhaft werden in Abbildung 2-7 zwei Charakterisierungen aufgegriffen, die verdeutlichen, dass die verschiedenen Quellen in der Regel den Fokus auf die Vernetzung und die digitale Integration von Wertschöpfungsketten gemeinsam haben.²³ Andere Ansätze einer Annäherung an Industrie 4.0 heben noch stärker auf Be-

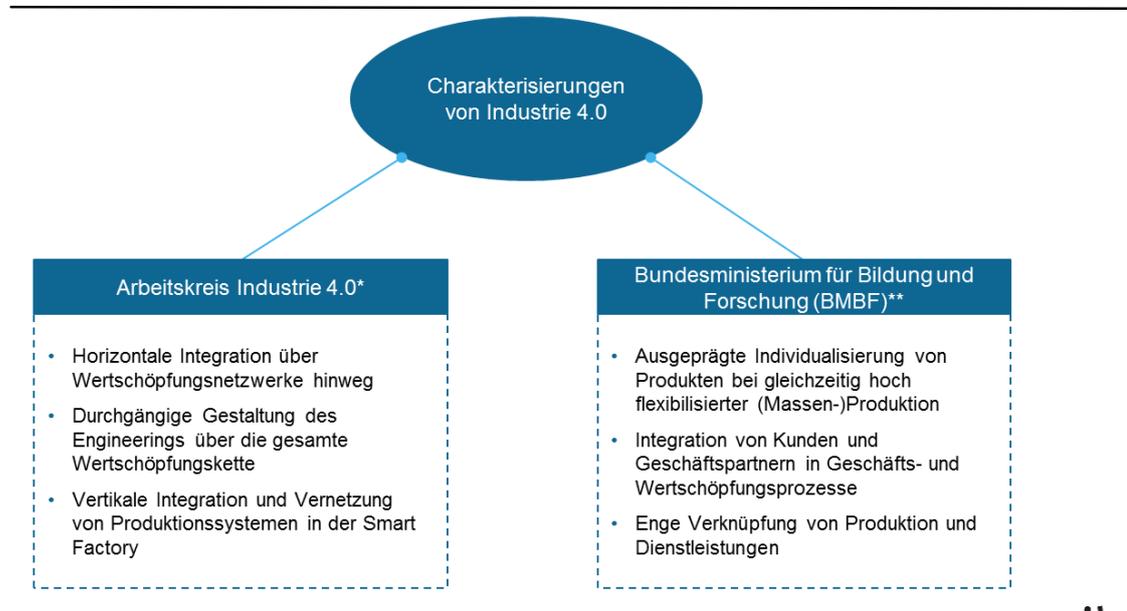
²¹ Plattform Industrie 4.0 (2013): Was Industrie 4.0 (für uns) ist; In: Blog; Veröffentlicht am 05.07.2013; URL: <http://www.plattform-i40.de/blog/was-industrie-40-f%C3%BCr-uns-ist> (Zugriff am: 09.10.2014).

²² Wietfeld, Christian (2013): Kommunikationsnetze für Cyber Physical Systems – Nordrhein-Westfalen auf dem Weg zum digitalen Industrieland; Clustermanagement IKT.NRW (Hg.); Wuppertal, November 2013; S. 5.

²³ Vgl. Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0; Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft; April 2013; S. 35f. und Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2014 b): Zukunftsprojekt Industrie 4.0; 18.08.2014; URL: <http://www.bmbf.de/de/9072.php> (Zugriff am: 10.10.2014).

grifflichkeiten wie z. B. Embedded Systems, IT-Sicherheit, Big Data oder Cloud Computing ab, die in diesem Kontext eine wichtige Rolle spielen (vgl. Abbildung 2-8).^{24 25}

Abbildung 2-7: Typische Ausprägungen von Industrie 4.0



Quelle: *Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (2013); S. 35 f.; **Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2014 b)

Abbildung 2-8: Elemente von Industrie 4.0



Quelle: WIK nach Bauer, Wilhelm et al. (2014)

²⁴ Bauer, Wilhelm et al. (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland; Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) und Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (Hg.); 2014; S. 22.
²⁵ Bendel, Oliver (o.J.): Industrie 4.0; In: Gabler Wirtschaftslexikon; URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/industrie-4-0.html> (Zugriff am: 10.10.2014).

Akteure und Schema einer Smart Factory

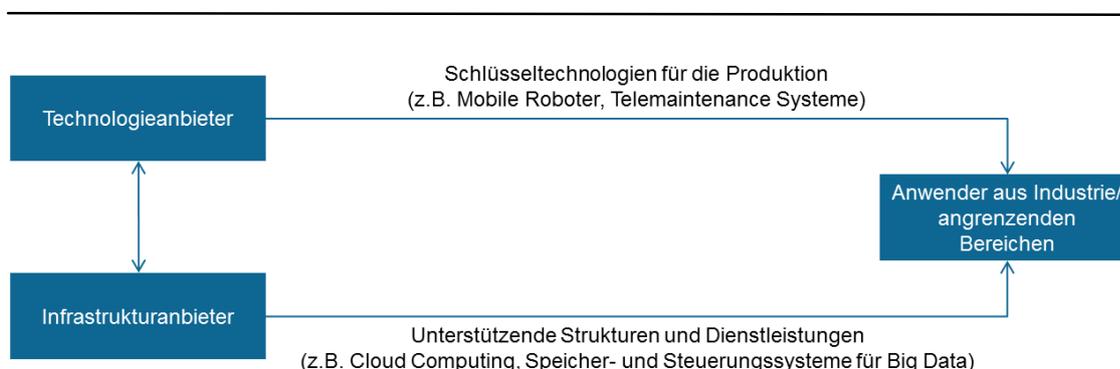
Bezüglich der involvierten Akteure unterscheidet eine Studie von Roland Berger drei Gruppen im Bereich von Industrie 4.0 (vgl. Abbildung 2-9).

Die erste Gruppe wird durch die Technologieanbieter gestellt. Hierzu gehören etwa Unternehmen wie die Siemens AG oder die Kuka AG – ein Unternehmen, das sich auf Robotics und Automation spezialisiert hat.

Die Infrastrukturunternehmen, zu denen Telekommunikationsunternehmen und Softwareanbieter gezählt werden, gehören ebenfalls zu den involvierten Akteuren. Sie stellen die IKT-Strukturen und Dienstleistungen wie TK-Netze, Cloud Computing oder Speicher- und Verarbeitungssysteme für Big Data bereit, die für die Realisierung von Industrie 4.0 benötigt werden.

Die Anwender in der Industrie und der vor- und nachgelagerten Bereiche schließen die Kette. Hierzu zählen meist kleine und mittelständische Unternehmen aus der Industrie und den angrenzenden Bereichen, aber auch Großunternehmen wie die Volkswagen AG und die BASF SE.²⁶

Abbildung 2-9: Akteure in Industrie 4.0



Quelle: WIK nach Blanchet, Max et al. (2014)

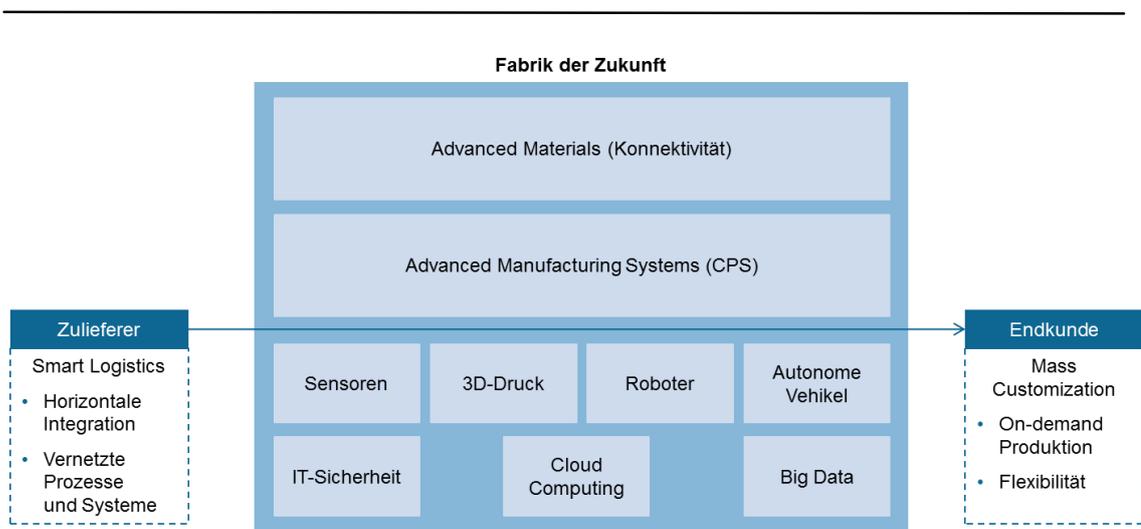
Auf dem Zusammenspiel dieser Akteure basiert die Fabrik der Zukunft. Ein Schema dieser Fabrik wird in Abbildung 2-10 dargestellt.

Idealtypisch sind Prozesse und Systeme der Fabrik der Zukunft und ihrer Zulieferer über alle Stufen der Wertschöpfung hinweg vernetzt und koordiniert. In der Fabrik selbst zeichnen sich die eingesetzten Materialien durch Konnektivität aus und die Produktionssysteme basieren auf CPS. Zentrale Bausteine in der Fabrik der Zukunft sind

²⁶ Blanchet, Max et al. (2014): Think Act – Industry 4.0 – The new industrial revolution – How Europe will succeed; Roland Berger Strategy Consultants GmbH (Hg.); März 2014; S. 17.

Sensoren, 3D-Technik, mobile und autonome Roboter sowie autonome Vehikel, die eine Optimierung der Logistik und des Fleet Managements ermöglichen. Diese Technologien basieren auf Systemfunktionen und Diensten wie IT-Sicherheit, Cloud Computing und der Speicherung sowie Verarbeitung von Big Data. Daraus ergibt sich die erforderliche Flexibilität in der Fertigung, um Kunden hochindividualisierte Produkte zu den Bedingungen der Massenfertigung anbieten zu können.²⁷ Dazu muss dieser allerdings ebenfalls in die Informations- und Prozesskette eingebunden sein.

Abbildung 2-10: Schematische Darstellung der Fabrik im Rahmen von Industrie 4.0



Quelle: WIK nach Blanchet, Max et al. (2014)

²⁷ Blanchet, Max et al. (2014): Think Act – Industry 4.0 – The new industrial revolution – How Europe will succeed; Roland Berger Strategy Consultants GmbH (Hg.); März 2014; S. 10f.

Anwendungsszenarien und Treiber von Industrie 4.0

Hinter der schematischen Darstellung der global vernetzten und umfassend digitalisierten Fabrik der Zukunft stehen bislang weitgehend noch Visionen, in den fortgeschrittenen Bereichen wie Automobilindustrie oder Maschinenbau existieren teilweise schon konkrete Beispiele.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat zur Verdeutlichung des Ansatzes von Industrie 4.0 im Rahmen eines Zukunftsbildes Projektionen für verschiedene Anwendungsbereiche entworfen. Hypothetisch werden die darin verwendeten Szenarien aus der Perspektive des Jahres 2025 entwickelt.²⁸

Am Beispiel eines Gehäuseherstellers und seines Zulieferers, eines Produzenten von Speziallacken, wird die Prozessvernetzung zwischen zwei Unternehmen veranschaulicht. In diesem Szenario melden Sensoren an der Lackieranlage des Gehäuseherstellers etwa die Unterschreitung eines bestimmten Füllstandes an eine unternehmensübergreifende Einheit der Produktionssteuerung. Die Nachbestellung des Speziallackes wird dann automatisch eingeleitet. Die Farbbehälter sind zudem mit Funkchips ausgestattet, die technische Informationen zu den empfohlenen Verarbeitungsbedingungen enthalten und die Maschine in die Lage versetzen, diese mit den aktuellen Zustandsdaten der Gehäuserohlinge abzugleichen. Bei Abweichungen setzt die Anlage automatisch den Prozess aus, bis beispielsweise der Rohling auf die empfohlene Temperatur heruntergekühlt ist.²⁹

Ein weiteres Beispiel widmet sich mobilen Servicerobotern in der Produktion, die sich im Jahre 2025 durch den Einsatz von CPS selbstständig in der Fabrikhalle bewegen. Sensoren ermöglichen es, dass die Roboter akustische und optische Informationen wie etwa Sprachbefehle registrieren und daraus Aktionen ableiten. So weichen sie etwa Mitarbeitern in der Fabrik automatisch aus, wenn ein gewisser Abstand unterschritten wird. In der Produktion unterstützen sie die Arbeiter, indem sie schwere Werkstücke transportieren und Werkzeuge oder zusätzliche Informationen aus der Produktionssteuerung bereitstellen.³⁰

Neben diesen Projektionen gibt es bereits konkrete Beispiele für die Anwendung des Konzepts von Industrie 4.0. So betreibt die Robert Bosch GmbH eine Pilotfabrik in Homburg, in der RFID-Etiketten zum Einsatz kommen, um eine effizientere Lagerhaltung zu ermöglichen. Bei der Fertigung von Einspritzdüsen sind die RFID-Etiketten beispielsweise an den Transportkisten angebracht, wodurch kommuniziert werden kann, wo sich welches Teil gerade befindet und wann es transportiert werden kann. In die Fertigung sind Zulieferer und Kunden eingebunden. Bosch wurde durch diese Lösung in die Lage versetzt, die Lagerhaltung um ein Drittel zu verringern. Ein anderes Anwen-

²⁸ Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2013): Zukunftsbild „Industrie 4.0“; Hightech-Strategie; S. 8.

²⁹ (BMBF) (2013), ebenda, S. 19.

³⁰ (BMBF) (2013), ebenda, S. 29.

dungsbeispiel zeigt sich bei der Montage von Hydraulikventilen, wo die einzelnen Teile via Bluetooth einer Produktionsmaschine die Details zur ihrer Bearbeitung übermitteln. Dadurch können ohne weitere menschliche Eingriffe 25 Produktvarianten an der Maschine gefertigt werden.³¹

Hinter diesen Projektionen und den konkreten Umsetzungen von Industrie 4.0 stehen bestimmte Treiber, welche direkte und indirekte Effekte hervorrufen können (vgl. Abbildung 2-11).

Als Treiber der Entwicklung werden in der Regel technologische Neuerungen gesehen, wie die Beispiele des BMBF-Zukunftsbildes verdeutlichen. So identifiziert PwC etwa die verbesserte Steuerung von horizontalen und vertikalen Wertschöpfungsketten sowie die Digitalisierung und Vernetzung von Produkten und Dienstleistungen als Treiber der vierten industriellen Revolution. Das Unternehmen rechnet aber auch die Entstehung neuer, häufig disruptiver Geschäftsmodelle im digitalen Bereich zu den Triebkräften.³²

Nach unserer Einschätzung und den im Rahmen unserer Expertengespräche gewonnenen Erkenntnissen gehen die entscheidenden Kräfte jedoch mehr von global zu beobachtenden Veränderungen aus. In den nationalen und internationalen Märkten für Güter und Dienstleistungen zeichnet sich ein tiefgreifender Umbruch ab: Die derzeit noch angebotsgesteuerte Produktionslogik wird zunehmend von einer nachfragegetriebenen Marktstruktur abgelöst. Es sind die Kunden, die nach immer individuelleren und ausgefalleneren Lösungen verlangen. Sie fragen nach Werkstücken in kleinsten Stückzahlen. Sie ordern Produkte mit besonderen Eigenschaften und maßgeschneidertem Design und sie verlangen besonders schnelle und zuverlässige Lieferungen. Außerdem wollen die Kunden bei der Bestellung verlässliche Aussagen darüber erhalten, mit welchen Kosten und Lieferfristen sie rechnen müssen. Es ist der Kunde, der somit die Herausforderungen an die Gestaltung künftiger Produktionsstrukturen induziert.

An die Stelle der mono-organisationalen Wertschöpfung heutiger Wirtschaftsunternehmen treten zunehmend interaktive Geschäftsmodelle, bei denen eine Vielzahl unterschiedlicher Zulieferer und Hersteller adhoc oder dauerhaft Kooperationsnetzwerke bilden. Das besondere hieran ist, dass der Kunde von Anfang an in das Netzwerk und die Prozesskette mit eingebunden wird. In dieser digital vernetzten Welt 4.0 kommunizieren Maschinen, Dienstleister, Produkte und Abnehmer während des gesamten Lebenszyklus: Sie interagieren über alle Stufen der Wertschöpfung hinweg von der Produktplanung bis hin zum Service. Oder sogar noch weiter, bis hin zum Recycling der Wertstoffe.

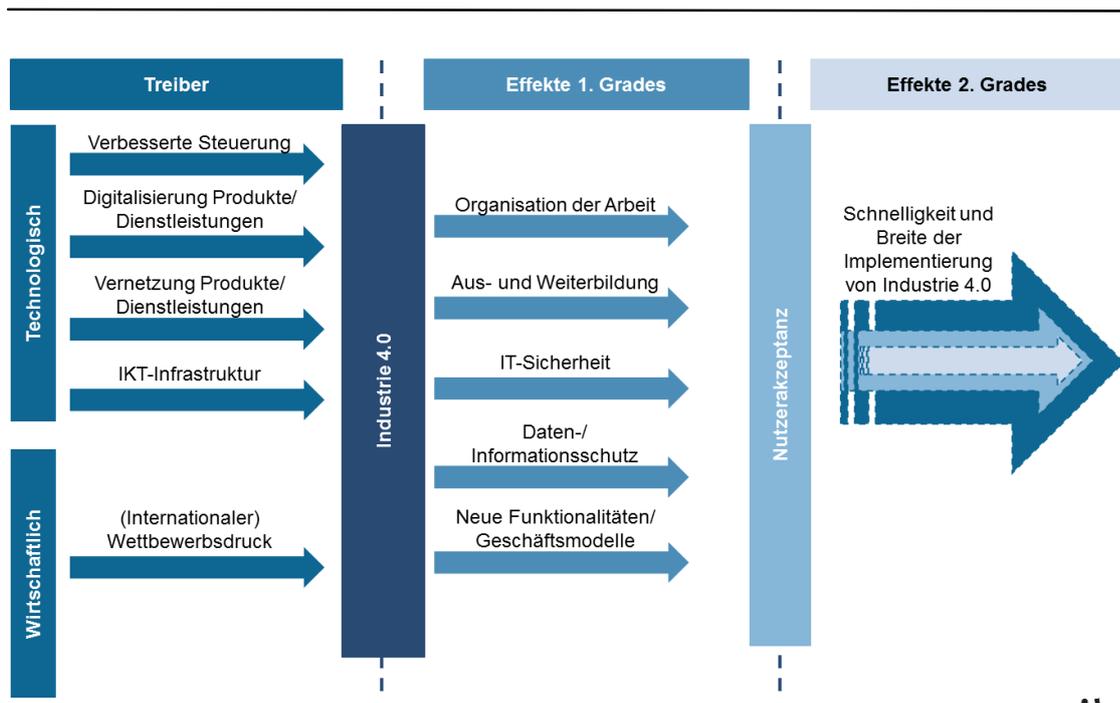
31 o.V. (2015): Industrie 4.0 - Bosch will Standards vorantreiben; In: heise online; 15.02.2015; URL: http://www.heise.de/newsticker/meldung/Industrie-4-0-Bosch-will-Standards-vorantreiben-2549645.html?wt_mc=rss.ho.beitrag.atom (Zugriff am: 17.02.2015).

32 Geissbauer, Reinhard et al. (2014): Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution; PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC) (Hg.); Oktober 2014; S. 7.

Neben Treibern können auch Effekte ersten und zweiten Grades der Entwicklung von Industrie 4.0 identifiziert werden. Als Effekte ersten Grades werden die direkten Auswirkungen von Industrie 4.0 bezeichnet. Die indirekten Auswirkungen bilden dagegen die Effekte zweiten Grades.

Zu den direkten Effekten gehören die Folgen für Ausbildung und Qualifikation sowie die Implikationen für die IT-Sicherheit. Neue Geschäftsmodelle können aber nicht nur, wie bei PwC gesehen, als Treiber, sondern auch als Effekte der Umsetzung von Industrie 4.0 klassifiziert werden. Denn erst die Umsetzung von Industrie 4.0 macht neue Funktionalitäten und Geschäftsmodelle möglich. Die Effekte ersten Grades können einen erheblichen Einfluss auf die Nutzerakzeptanz von Industrie 4.0 haben. Wird beispielsweise die Organisation der Arbeit durch Industrie 4.0 in einer für die Mehrheit der Betroffenen nicht akzeptablen Weise umgestaltet, so wird das die Nutzerakzeptanz vermutlich negativ beeinflussen.

Abbildung 2-11: Treiber und Effekte von Industrie 4.0



2.2 Marktentwicklung und volkswirtschaftliche Bedeutung von Industrie 4.0

Stand der Umsetzung von Industrie 4.0 bei deutschen Unternehmen

Aktuelle Marktbefragungen zeigen, dass der Kenntnisstand bzgl. Industrie 4.0 sehr unterschiedlich ist. Einige deutsche Unternehmen haben die Bedeutung von Industrie 4.0 zwar erkannt, jedoch sind es meist Großunternehmen, die bereits in einer Phase der Umsetzung sind.

Die Bewertung von Industrie 4.0 fällt daher bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) auf der einen Seite und großen Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitern sehr unterschiedlich aus, wie die jährliche Trendumfrage des BITKOM zu Jahresbeginn 2015 ergab. So maßen 52 Prozent der großen Unternehmen Industrie 4.0 eine hohe Bedeutung bei, während nur 39 Prozent der befragten KMU diese hohe Relevanz sahen.³³

Einer KPMG-Umfrage zufolge, fürchten 50 Prozent der befragten Unternehmen in Deutschland, dass ihre IT-Systeme bereits in ein bis zwei Jahren nicht mehr wettbewerbsfähig sein werden. Gleichzeitig fokussieren 77 Prozent der befragten deutschen Unternehmen ihre Geschäftsstrategie in den kommenden 12 bis 24 Monaten auf disruptive Innovationen.³⁴

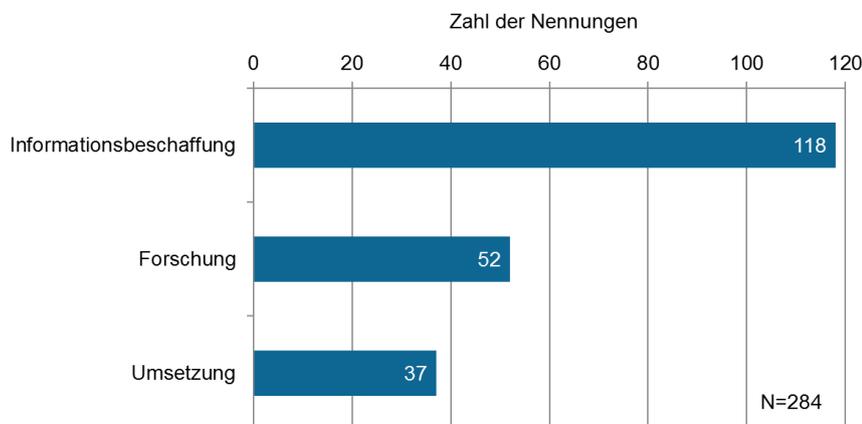
In der Tendenzumfrage der Plattform Industrie 4.0 gab zu Jahresbeginn 2013 knapp die Hälfte der befragten Unternehmen an, sich mit Industrie 4.0 zu befassen. Wie Abbildung 2-12 zeigt, widmeten sich knapp über 40 Prozent der 284 befragten Unternehmen durch Informationsbeschaffung dem Thema Industrie 4.0. Nur 37 Unternehmen gaben an, sich bereits mit der Umsetzung zu beschäftigen.³⁵

³³ Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) (2015): Industrie 4.0 erstmals unter den Top-Themen des Jahres; Presseinformation; 22.01.2015; URL: http://www.bitkom.org/de/presse/8477_81266.aspx (Zugriff am: 22.01.2015).

³⁴ KPMG AG (2014): KPMG-Umfrage: Deutsche Unternehmen fürchten bei „Industrie 4.0“ den Anschluss zu verlieren; Pressemitteilung vom 10.06.2014; URL: <http://www.kpmg.com/de/de/bibliothek/presse/seiten/deutsche-nternehmen-fuerchten-bei-industrie-4-0-anschluss-zu-verlieren.aspx> (Zugriff am: 23.09.2014).

³⁵ Plattform Industrie 4.0 (2013): Tendenzumfrage der Plattform zu Industrie 4.0; Ergebnisse Januar – Februar 2013; Verteilung über BITKOM, VDMA und ZVEI vom 10.02.2013 - 15.02.2013; S. 3.

Abbildung 2-12: Art der Befassung mit Industrie 4.0 durch deutsche Unternehmen



Quelle: WIK nach Plattform Industrie 4.0 (2013)

Wahrnehmung von Herausforderungen bei Industrie 4.0

Als größte Herausforderung bei der Umsetzung von Industrie 4.0 nannten in der Tendenzumfrage knapp 54 Prozent der Unternehmen die Standardisierung (vgl. Abbildung 2-13). Rund 31 Prozent sahen die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle als eine Herausforderung an.

Für die Nachhaltigkeit neuer Geschäftsmodelle wird insbesondere von Bedeutung sein, ob die Unternehmen den primären Zugriff auf die im Betrieb generierten Daten sichern können oder ob sie die primäre Auswertung der Daten an einen Dritten abgeben. Die Frage des primären Zugriffs auf die Daten ist nicht nur für Industrie 4.0, sondern auch für die smarten, vernetzten Produkte relevant.

Porter und Heppelmann sehen Konsolidierungstendenzen als einen möglichen Effekt der smarten, vernetzten Produkte auf Industriestrukturen an. Als Ursachen werden steigende Markteintrittsbarrieren und First Mover Advantages durch die frühzeitige Sammlung und Auswertung von Nutzungsdaten gesehen.³⁶ Dabei ist die Frage, wem die erhobenen Daten gehören, von höchster strategischer Relevanz und häufig nicht ohne weiteres eindeutig zu beantworten. Genannt wird das Beispiel der smarten, vernetzten Flugzeugtriebwerke, bei denen der Triebwerkshersteller, der Flugzeugbauer oder die Fluglinie Anspruch auf die erhobenen Daten erheben könnten.³⁷

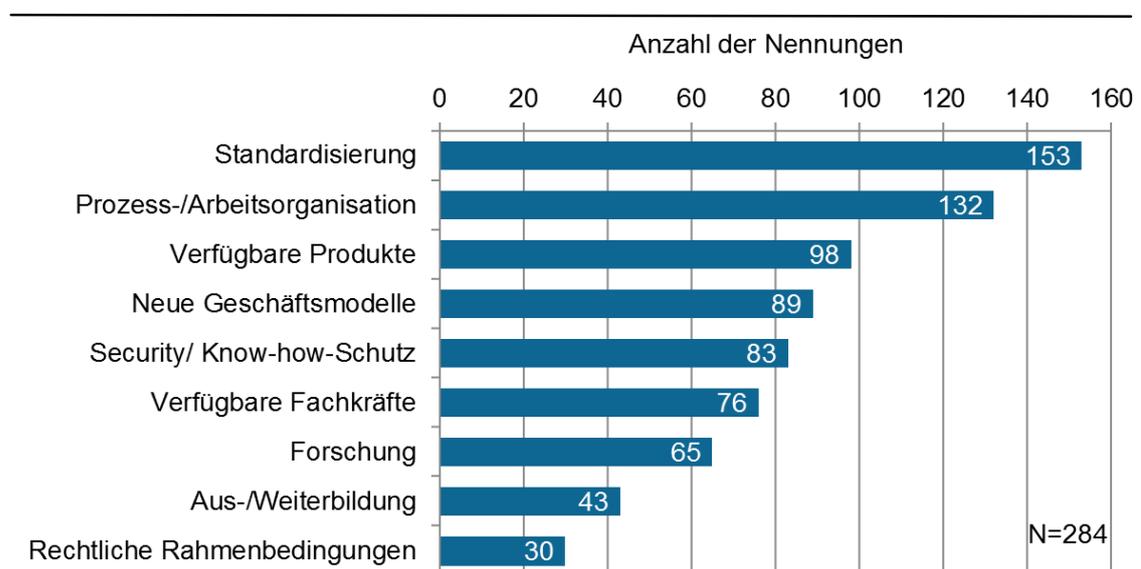
³⁶ Porter, Michael E./ Heppelmann, James E. (2014): How Smart, Connected Products Are Transforming Competition; Spotlight on Managing the Internet of Things; Harvard Business Review; November 2014; S. 14.

³⁷ Porter, Michael E./ Heppelmann, James E. (2014), ebenda, S. 19.

Auf jeden Fall werden jedem neuen Geschäftsmodell, an dem sich unterschiedliche Akteure beteiligen, umfangreiche Aushandlungsprozesse vorausgehen. Die entscheidenden Fragen werden sein, wer auf Grund der Daten die direkteste Beziehung zum Kunden realisieren und wer hieraus den größten Anteil an der Wertschöpfung generieren kann.

Rund 29 Prozent der Teilnehmer der Tendenzumfrage sehen die IT-Sicherheit und den Schutz von Know-how als eine Herausforderung an. Mit nur 30 Nennungen waren die rechtlichen Rahmenbedingungen die am seltensten gesehene Herausforderung auf dem Weg zu Industrie 4.0.³⁸

Abbildung 2-13: Herausforderungen auf dem Weg zu Industrie 4.0 aus der Sicht deutscher Unternehmen



Quelle: WIK nach Plattform Industrie 4.0 (2013)

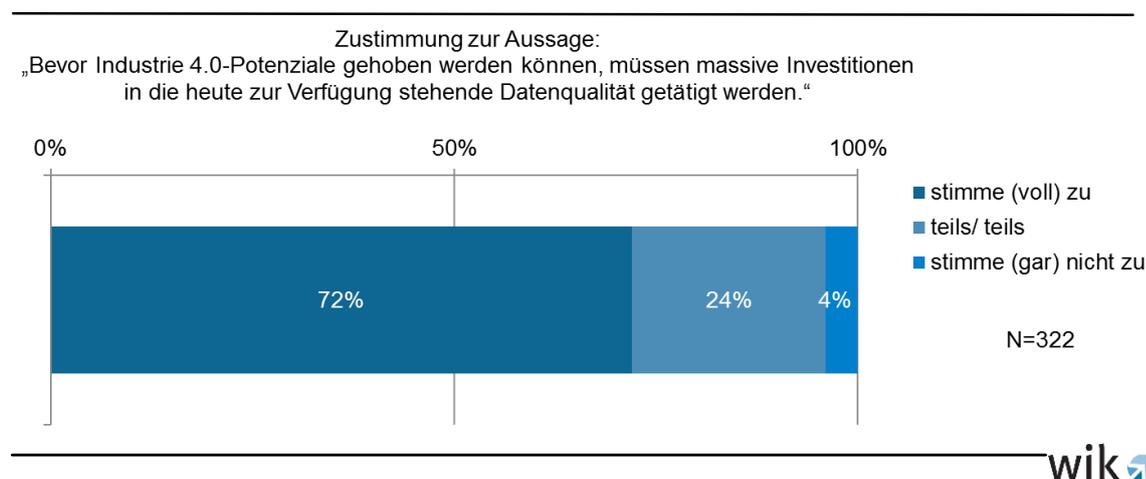
In einer anderen Umfrage mit 500 Unternehmen in Deutschland vom Jahresende 2014 werden unzureichende Kenntnisse über Industrie 4.0 und der Mangel an qualifizierten Arbeitskräften als Hemmnisse identifiziert. Die Mehrzahl der befragten Unternehmen stammte hierbei aus der Industrie und der IT-Branche. Knapp 70 Prozent der befragten deutschen Unternehmen gab an, nicht genau zu wissen, wofür Industrie 4.0 genau steht oder noch nicht von dem Begriff gehört zu haben. Bezogen auf die Qualifizierung

³⁸ Plattform Industrie 4.0 (2013): Tendenzumfrage der Plattform zu Industrie 4.0; Ergebnisse Januar – Februar 2013; Verteilung über BITKOM, VDMA und ZVEI vom 10.02.2013 - 15.02.2013; S. 6.

der Arbeitnehmer sahen 46 Prozent der Befragten einen Mangel an Fachkräften mit IT- und Fertigungskennnissen.³⁹

Eine Befragung von deutschen Industrieunternehmen in der zweiten Jahreshälfte 2014 ergab zudem, dass 72 Prozent der Befragten die Notwendigkeit massiver Investitionen in die verfügbare Datenqualität sehen, bevor das Potenzial von Industrie 4.0 realisiert werden kann (vgl. Abbildung 2-14).⁴⁰

Abbildung 2-14: Investitionen in Datenqualität als Voraussetzung für Industrie 4.0



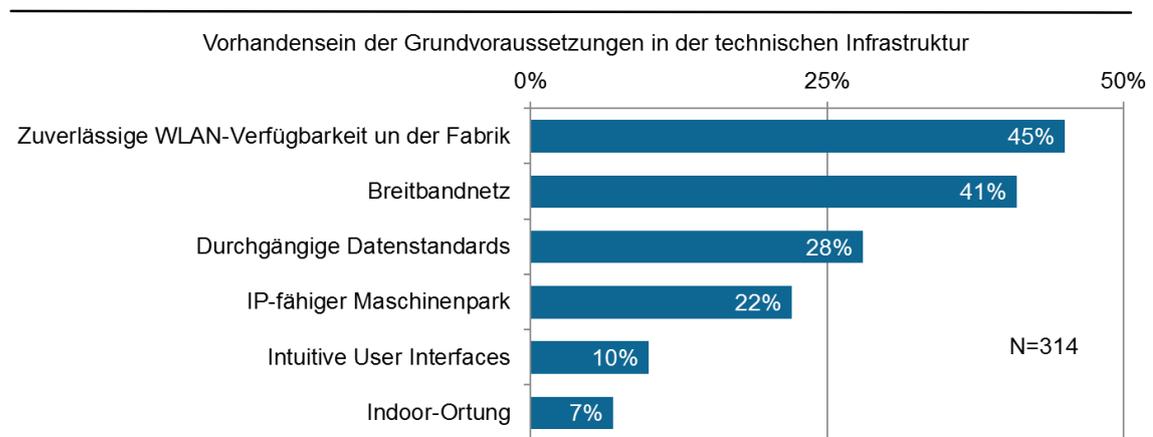
Quelle: Schlund, Sebastian/ Moritz Hämmerle/ Tobias Strölin (2014)

Technische Infrastrukturen wie eine zuverlässige WLAN-Verfügbarkeit und Breitbandversorgung sind laut der zuletzt genannten Befragung bei fast der Hälfte der befragten Industrieunternehmen vorhanden (vgl. Abbildung 2-15). Dagegen gibt es unter anderem Nachholbedarf bei durchgängigen Datenstandards und dem IP-fähigen Maschinenpark.⁴¹

³⁹ Computer Science Corporation (CSC) (2015): CSC-Studie „Industrie 4.0“ – Ländervergleich DACH – Ergebnisse; 14. Januar 2015; S. 8.

⁴⁰ Schlund, Sebastian/ Hämmerle, Moritz / Strölin, Tobias (2014): Industrie 4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung – Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern werden; Ingenics AG (Hg.); S. 8 und S. 12f.

⁴¹ Schlund, Sebastian/ Hämmerle, Moritz / Strölin, Tobias (2014), ebenda, S. 12.

Abbildung 2-15: Vorhandensein der technischen Infrastruktur

Quelle: Schlund, Sebastian/ Moritz Hämmerle/ Tobias Strölin (2014)

Volkswirtschaftliches Potenzial von Industrie 4.0

Mit Blick auf das volkswirtschaftliche Potenzial wird Industrie 4.0 in der Hightech-Strategie der Bundesregierung als eine der „Schlüsseltechnologien“⁴² bezeichnet. Zu diesen Technologien zählen unter anderem auch die Bioelektronik oder die Batterietechnologie. Kennzeichnend für Schlüsseltechnologien ist, dass sie branchenübergreifend eine wirtschaftliche Hebelwirkung besitzen und die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands von der Nutzung der wirtschaftlichen Potenziale dieser Technologien abhängt.

Es gibt verschiedene Prognosen über das zukünftige volkswirtschaftliche Potenzial von Industrie 4.0. So könnte einer Einschätzung von Cisco zufolge die deutsche Volkswirtschaft durch eine konsequente Einführung von Industrie 4.0 ein zusätzliches Wachstum von etwa 2 Prozent pro Jahr über 10 Jahre bzw. 700 Milliarden Euro an Wertschöpfung generieren.⁴³

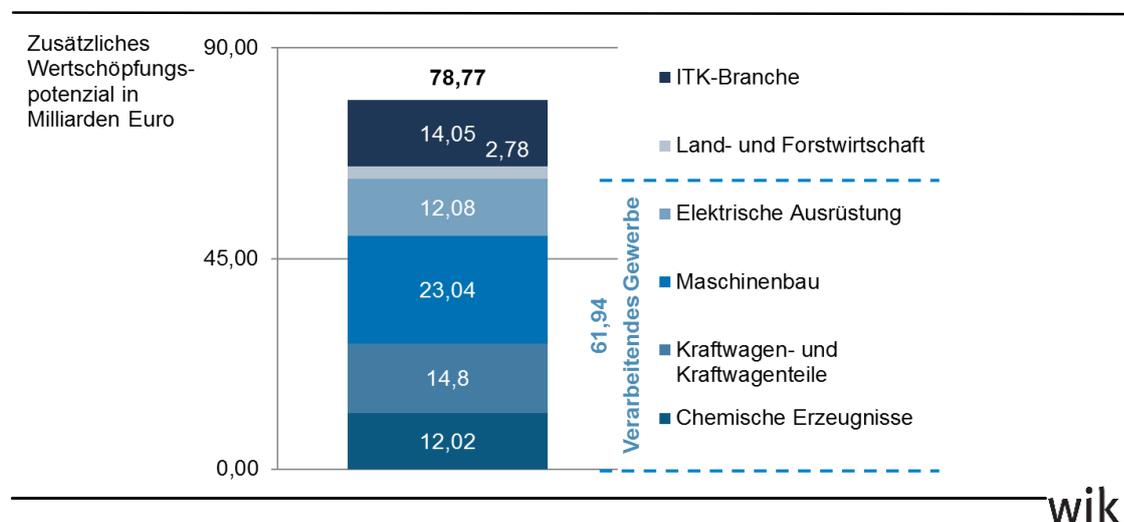
Der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) und das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO gehen in ihrer gemeinsamen Prognose allein für sechs ausgewählte Branchen von einem zusätzlichen Bruttowertschöpfungspotenzial von über 78 Milliarden Euro in Deutschland bis 2025 aus (vgl. Abbildung 2-16).⁴⁴

⁴² Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2014 a): Die neue Hightech-Strategie – Innovationen für Deutschland; August 2014; S. 36.

⁴³ Busse, Caspar (2014): „Deutschland kann weltweit führend werden“ – Interview mit Cisco-Chef John Chambers; In: Süddeutsche Zeitung; 01.10.2014.

⁴⁴ Bauer, Wilhelm et al. (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland; Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) und Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (Hg.); 2014; S. 8.

Abbildung 2-16: Wertschöpfungspotenzial in ausgewählten Branchen durch Industrie 4.0 in Milliarden Euro von 2013 bis 2025



Quelle: Bauer, Wilhelm et al. (2014)

Tabelle 2-1 gibt einen detaillierten Überblick über die erwarteten Effekte und die Wertschöpfungspotenziale in den von BITKOM und Fraunhofer IAO analysierten Branchen. Jährlich bewirkt die breite Einführung von Industrie 4.0 demnach in den sechs betrachteten Branchen eine Steigerung von 1,74 Prozent zwischen 2013 und 2025.⁴⁵

⁴⁵ Bauer, Wilhelm et al. (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland; Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) und Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (Hg.); 2014; S. 36.

Tabelle 2-1: Erwartete Effekte und Potenziale durch Industrie 4.0 in Deutschland zwischen 2013 und 2025

| Branchen | Bruttowertschöpfung in Milliarden Euro | | Potenzial durch Industrie 4.0 in Prozent | Jährliche Steigerung in Prozent | Steigerung in Milliarden Euro |
|---|--|-----------------|--|---------------------------------|-------------------------------|
| | 2013 | 2025* | 2013-2025 | 2013-2025 | 2013-2025 |
| Chemische Industrie | 40,08 | 52,10 | 30% | 2,21% | 12,02 |
| Kraftwagen- und Kraftwagenteile | 74,00 | 88,80 | 20% | 1,53% | 14,80 |
| Maschinen- und Anlagenbau | 76,79 | 99,83 | 30% | 2,21% | 23,04 |
| Elektrische Ausrüstung | 40,27 | 52,35 | 30% | 2,21% | 23,04 |
| Land- und Forstwirtschaft | 18,55 | 21,33 | 15% | 1,17% | 2,78 |
| Informations- und Kommunikationstechnik | 93,65 | 107,70 | 15% | 1,17% | 14,05 |
| Potenzial der sechs Branchen | 343,34 | 422,11 | 23% | 1,74% | 78,77 |
| Beispielhafte Hochrechnung für Gesamtbruttowertschöpfung in Dtl.** | 2.326,61 | 2.593,06 | 11,5% | 1,27% | 267,45 |

Quelle: Bauer, Wilhelm et al. (2014)⁴⁶

Durch die konsequente Umsetzung von Industrie 4.0 wird auf Basis dieser Prognose allein für Nordrhein-Westfalen (NRW) von einer zusätzlichen Bruttowertschöpfung von 15,6 Milliarden Euro bis 2025 in den sechs betrachteten Branchen ausgegangen. Bezogen auf den Maschinenbau in NRW wird mit einer Zunahme der Bruttowertschöpfung von rund 30 Prozent und in der Automobilindustrie von etwa 20 Prozent gerechnet.⁴⁷

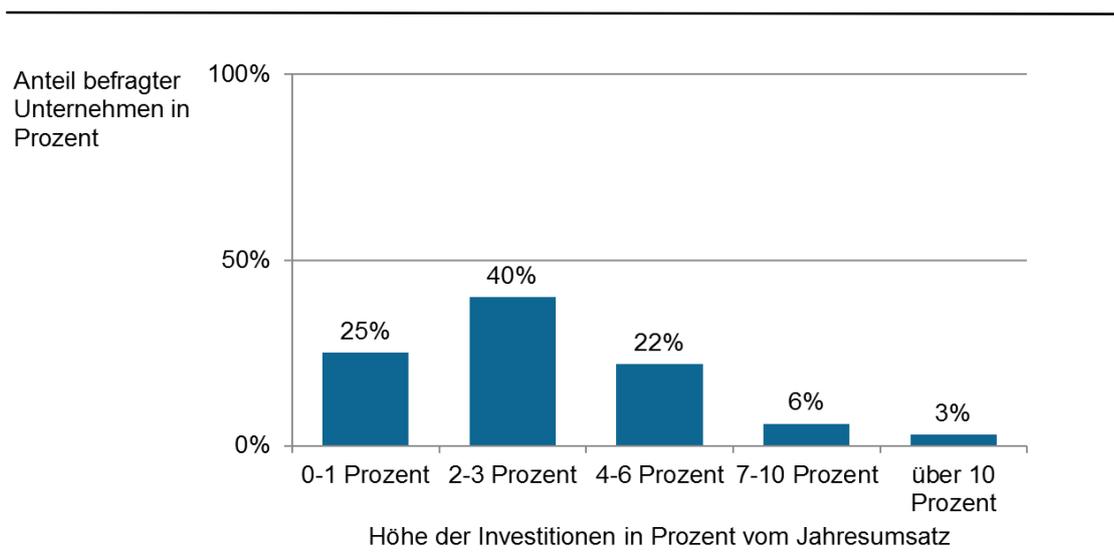
Aufschluss über das volkswirtschaftliche Potenzial gibt auch eine Befragung von 235 deutschen Industrieunternehmen durch PwC. Die befragten Unternehmen gaben an, in den nächsten fünf Jahren Investitionen in Industrie 4.0-Anwendungen in der Höhe von durchschnittlich 3,3 Prozent ihres Jahresumsatzes zu planen (vgl. Abbildung 2-17). Bezogen auf die gesamte Industrie entspricht dies kumuliert jährlichen Investitionen von über 40 Milliarden Euro bzw. knapp 50 Prozent der geplanten neuen Ausrüstungsinvestitionen.

⁴⁶ Vgl. Bauer, Wilhelm et al. (2014); S. 36: *Keine Berücksichtigung von Wirtschaftswachstum, reine Relativbetrachtung mit und ohne die Potenziale von Industrie 4.0 in den sechs ausgewählten Branchen; **Gesamtsumme inklusive Potenzial von Industrie 4.0 in den sechs Branchen und Hochrechnung der restlichen Branchen mit der Annahme eines Potenzials von 50 Prozent dessen, was für die ausgewählten sechs Branchen gilt.

⁴⁷ Seidel, Axel/ Pivac, Ante (2014): Wirtschaftsstandort NRW 2030; Aktivieren – Stärken – Ausbauen; Prognos AG (Hg.); S. 24.

Als Anwendungen von Industrie 4.0 werden in der Analyse insbesondere vernetzte Betriebsmittel, Maschinen- und Logistiksysteme in CPS, Sensorik-Lösungen und Systeme zum echtzeitgesteuerten Datenaustausch entlang der Wertschöpfungskette genannt.⁴⁸

Abbildung 2-17: Durchschnittliche Investitionen deutscher Unternehmen in Anwendungen von Industrie 4.0 pro Jahr über die nächsten fünf Jahre



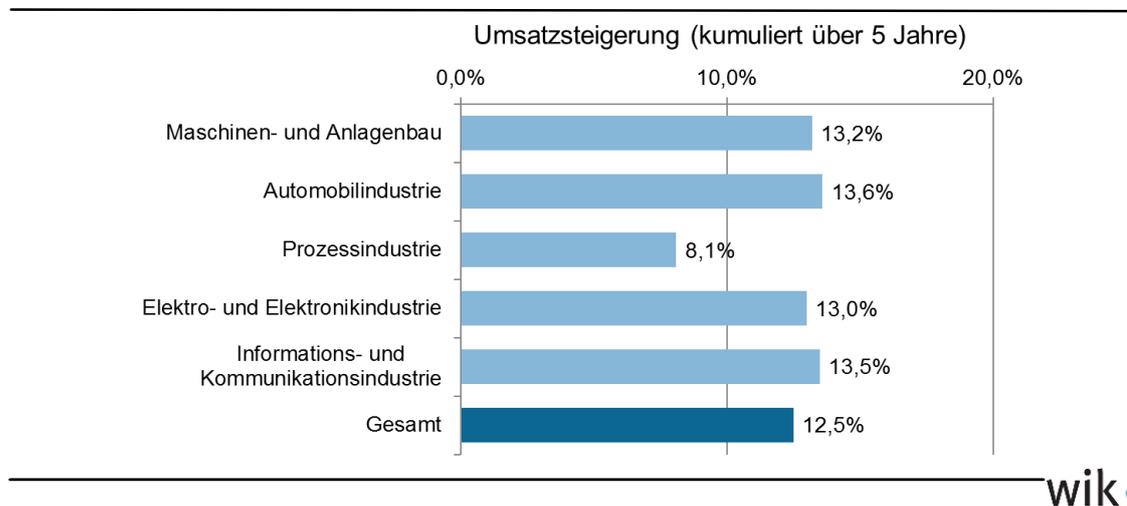
Quelle: WIK nach Geissbauer, Reinhard et al. (2014)

Darüber hinaus rechnen die von PwC befragten Unternehmen mit Umsatzsteigerungen aufgrund der Implementierung von Industrie 4.0 von etwa 13 Prozent kumuliert über fünf Jahre, wie Abbildung 2-18 verdeutlicht. Dies entspricht einer inkrementellen Umsatzsteigerung von mehr als 30 Milliarden Euro pro Jahr durch Industrie 4.0.⁴⁹

⁴⁸ Geissbauer, Reinhard et al. (2014): Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution; PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC) (Hg.); Oktober 2014; S. 17.

⁴⁹ Geissbauer, Reinhard et al. (2014); ebenda, S. 30.

Abbildung 2-18: Erwartete kumulierte Umsatzsteigerungen über fünf Jahre durch Industrie 4.0

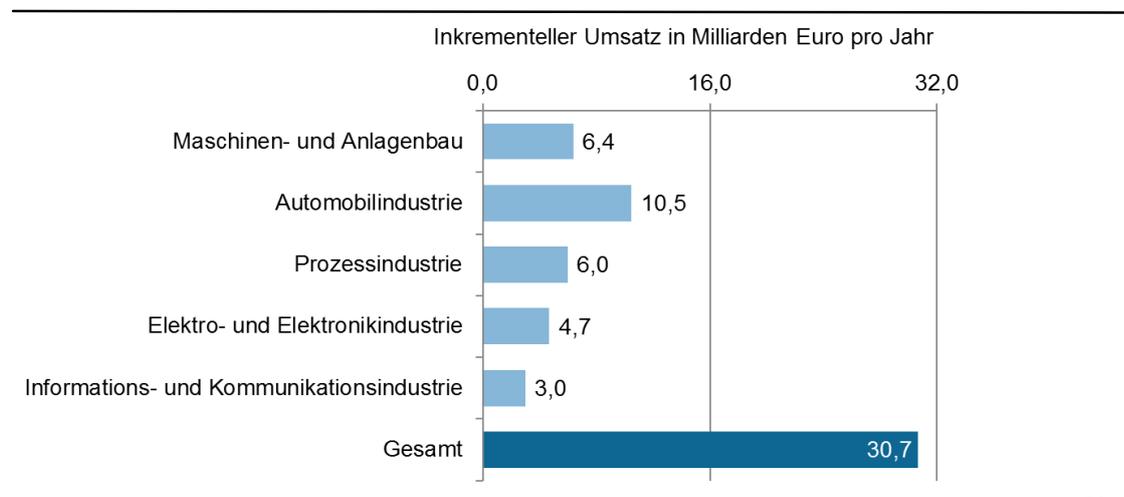


Quelle: WIK nach Geissbauer, Reinhard et al. (2014)

Mit dem höchsten zusätzlichen Umsatz pro Jahr rechnet die Automobilindustrie im Vergleich zu den anderen Branchen (vgl. Abbildung 2-19). Über alle Branchen ergibt sich der PwC-Studie zufolge ein zusätzlicher Umsatz von rund 31 Milliarden Euro pro Jahr bzw. 150 Milliarden Euro über fünf Jahre.^{50 51}

⁵⁰ Geissbauer, Reinhard et al. (2014); ebenda, S. 30.

⁵¹ Neben der Vernetzung der Arbeitswelt wurden auch Prognosen über das wirtschaftliche Potenzial der Vernetzung der privaten Lebenswelt vorgelegt. So wird allein für Smart Home eine durchschnittliche Wertschöpfung deutscher Anbieter von etwa 11,4 Milliarden Euro geschätzt. Zudem soll der kumulierte Umsatz von Smart Home im deutschen Markt bis 2025 auf etwa 19 Milliarden Euro ansteigen (Vgl. VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (2013): VDE: Das Smart Home wird 2025 Standard – Technologieverband sieht für Deutschland globalen Markt mit hohem Wachstumspotenzial; Pressemitteilung; 19/2013; 5. März 2013; URL: <http://www.vde.com/de/Verband/Pressecenter/Pressemeldungen/Fach-und-Wirtschafts-presse/2013/Seiten/19-2013.aspx> (Zugriff am 29.09.2014)).
Nach Angaben einer Umfrage des BITKOM vom Dezember 2014 verwenden bereits rund 10 Millionen Personen in Deutschland Smart-Home-Anwendungen (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) (2014): 10 Millionen nutzen Smart-Home-Anwendungen; Presseinformation; 18.12.2014; URL: http://www.bitkom.org/de/presse/81149_81077.aspx (Zugriff am: 21.01.2015)).

Abbildung 2-19: Umsatz durch Industrie 4.0 in Milliarden Euro pro Jahr

Quelle: WIK nach Geissbauer, Reinhard et al. (2014)

Wie die bereits genannten Studien verdeutlichen, fallen die Prognosen für Industrie 4.0 und seine Anwendungsbereiche sehr unterschiedlich aus. Von der Umsetzung der vierten industriellen Revolution werden den Experteneinschätzungen zufolge insbesondere der Maschinenbau und die Automobilindustrie betroffen sein. Hier können, im Vergleich zu anderen Branchen, die höchsten Effizienz- und Wachstumspotenziale realisiert werden.

Die Umfragen weisen jedoch auch darauf hin, dass es etliche Hemmnisse zu überwinden gilt, bevor das Potenzial von Industrie 4.0 vollständig ausgeschöpft werden kann. So herrscht in den Unternehmen vielfach noch keine Klarheit darüber, wofür Industrie 4.0 genau steht, welche Anforderungen damit verbunden sind und welcher konkrete Mehrwert sich für die Unternehmen daraus ergibt.

Damit verbunden ist der bisher noch verbreitete Mangel an tragfähigen Geschäftsmodellen sowie die Unsicherheit über Fragen der Dateneigentümerschaft. Außerdem bestehen große Verunsicherungen im Bereich der IT-Sicherheit, des Datenschutzes sowie Cloud Computing, die nur durch branchenübergreifende Regelungen und vertrauensbildende, infrastrukturelle sowie organisatorische und personelle Maßnahmen überwunden werden können.

3 Status quo der Marktentwicklung von M2M

3.1 Definition und technische Grundlagen von M2M

Begriffsklärung von M2M

Ähnlich wie bei Industrie 4.0, existiert auch für M2M keine international gültige bzw. etablierte Definition. Die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) verwendet in ihren Dokumenten folgende Begriffserklärung: „Machine-to-Machine-Kommunikation (M2M) steht für den überwiegend automatisierten Informationsaustausch zwischen technischen Einrichtungen wie z. B. Maschinen, Automaten, Fahrzeugen oder Messwerken (z. B. Strom-, Gas-, und Wasserzählern) untereinander oder mit einer zentralen Datenverarbeitungsanlage. Zur M2M-Kommunikation gehört die Fernüberwachung, -kontrolle und -wartung von Maschinen, Anlagen und Systemen, die traditionell als Telemetrie bezeichnet wird. Die Kommunikation kann sowohl kabelgebunden als auch drahtlos erfolgen. Ein Mensch ist an der Kommunikation in der Regel nicht beteiligt. Die M2M-Technologie verknüpft Informations- und Kommunikationstechnik.“⁵²

Neben der BNetzA liefert auch das Electronic Communications Committee (ECC) der European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) eine Definition für M2M. Demnach umfasst M2M die vollständig oder weitgehend automatisierte Kommunikation bzw. den Informationsaustausch zwischen zwei oder mehr Informations- und Kommunikationseinheiten. Diese Einheiten können auch Teil einer zuvor definierten Gruppe sein.

Nach der Definition des ECC Reports beinhaltet die Maschinenkommunikation auch die Kommunikation von Mensch zu Maschine (Human to Machine, H2M) und die Kommunikation von Maschine zu Mensch (Machine to Human, M2H).⁵³

Wie die beiden vorgestellten Definitionen veranschaulichen, variieren die Begriffsklärungen zu M2M insbesondere in dem Verständnis, inwieweit der Mensch in die M2M-Kommunikation eingebunden ist. In der vorliegenden Studie soll die Definition der BNetzA verwendet werden, da diese detaillierter ist.

Begriffsabgrenzung von M2M zu CPS und IoT

In der öffentlichen Debatte werden CPS und das Internet der Dinge häufig synonym für M2M verwendet, obwohl Unterschiede bestehen. Während CPS als Weiterentwicklung

⁵² Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2011): Mitteilung Nr. 139/2011 – Anhörung zur Thematik „Auswirkungen der Entwicklungen bei der Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation auf die Nummerierung“; In: Amtsblatt der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen; Amtsblatt 5/2011; S. 893.

⁵³ Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) (2010): Numbering and Addressing in Machine-to-Machine (M2M) Communications; ECC Report 153; Luxemburg, November 2010; S. 2.

von M2M verstanden werden kann, handelt es sich bei IoT um einen Begriff, der weiter gefasst ist als M2M. Auf Grund der enormen Vielfalt und Breite des IoT handelt es sich mehr um ein unspezifisches Konzept als um eine konkrete Technologie.

Der wesentliche Unterschied zwischen M2M und IoT besteht in der Qualität der generierten Information. Bei M2M entstehen eher Informationen einer niedriger aggregierten Qualität. Dies ist etwa der Fall, wenn der Wert eines Temperatursensors ausgelesen wird. Im Internet der Dinge sind Anwendungen dagegen so modelliert, dass sie Attribute besitzen. Ein Raum in einem Gebäude kann etwa über das Attribut „Temperatur“ oder „Luftfeuchtigkeit“ verfügen. Es werden insofern Informationen einer höher aggregierter Qualität generiert, indem Daten abhängig von bestimmten Kriterien wie z. B. der durchschnittlichen Raumtemperatur in einem Stockwerk, abgefragt und ggf. zur Anpassung an die vorgegebenen Sollwerte verwendet werden.⁵⁴

CPS wird dagegen im Glossar des Fachausschusses VDI/ VDE-GMA 7.21 „Industrie 4.0“ folgendermaßen definiert: Ein CPS ist danach ein „System, das reale (physische) Objekte und Prozesse [...] mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze“ verknüpft. Es wird zusätzlich angemerkt, dass ein CPS unter anderem „lokal oder entfernt verfügbare Dienste“ nutzen und Mensch-Maschine-Schnittstellen besitzen kann.⁵⁵

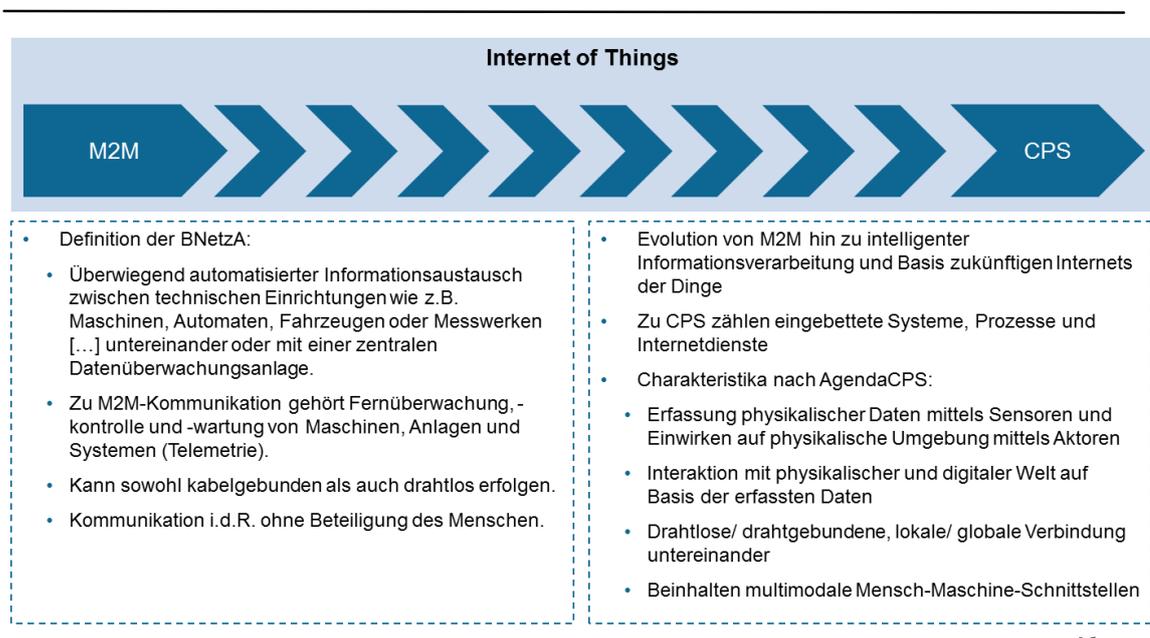
Eine Definition von CPS hat auch acatech in der AgendaCPS 2012 vorgelegt.⁵⁶ Demnach werden unter CPS offene und vernetzte Systeme verstanden, die mittels Sensoren ihre physikalische Umgebung wahrnehmen und die Abläufe in ihrer Umgebung durch Aktoren in einer Art kybernetischem Regelsystem beeinflussen können.⁵⁷

⁵⁴ Wahle, Sebastian (2013): Standardisierte M2M-Plattformen als Schnittstelle zum Nervensystem der Smart City; Fraunhofer FOKUS; Fachkonferenz Münchner Kreis „M2M und das Internet der Dinge – vom Hype zur praktischen Nutzung“, München, 06.05.2013.

⁵⁵ Schleipen, Miriam (2014): Glossar Industrie 4.0 des Fachausschuss VDI/ VDE-GMA 7.21 „Industrie 4.0“; Definiert durch Fachausschuss VDI/ VDE-GMA 7.21 „Industrie 4.0“ u.a. unter Leitung von Dr.-Ing. Miriam Schleipen, Fraunhofer IOSB; Stand: 03.09.2014.

⁵⁶ acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2012): agendaCPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems; acatech Studie; Eva Geisberger/Manfred Boy (Hg.); März 2012; S. 9 u. 22.

⁵⁷ acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2012); ebenda, S. 9.

Abbildung 3-1: M2M und CPS im Vergleich

Quelle: WIK nach BNetzA (2011); Wan, Jiafu et al. (2013); acatech (2012); Holtkamp, Bernhard/ Ulrich Springer/ Sebastian Steinbuß (2014)

Aufbau einer M2M-Lösung

Eine typische M2M-Systemlösung wird in Abbildung 3-2 veranschaulicht. Hier ist ein physischer Gegenstand mit einem M2M-Modul ausgestattet. Ein solches Modul verfügt über Sensoren sowie Aktoren und ist gleichzeitig an ein Netzwerk angeschlossen. Das Netzwerk schafft die Verbindung zwischen M2M-Modul und M2M-Anwendung. Es kann sich beim Netzwerk um ein Wide Area Network (WAN), etwa öffentliche Mobilfunknetze, oder um ein Lokal Area Network (LAN) handeln. Folglich besitzt das Kommunikationsmodul entweder eine SIM-Karte, eine WLAN-Anbindung oder eine Ethernet-Verbindung.

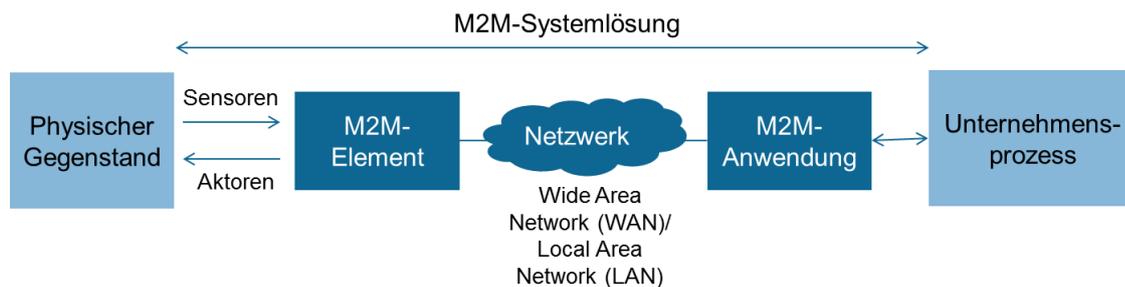
Ist eine SIM-Karte im Kommunikationsmodul verbaut, hängt die Wahl des Kommunikationsprotokolls von der Datenmenge ab, die übermittelt werden muss. Sollen nur geringe Datenmengen übertragen werden, wird eher ein Mobilfunkprotokoll eingesetzt. Bei höheren Datenmengen erfolgt die Kommunikation über IP-Adressen. Entsprechend unseren Expertengesprächen besteht keine direkte Beziehung zwischen dem Einsatz einer SIM-Karte oder der Verwendung einer IP-Adresse. Der Einsatz des IP-Standards ist somit nicht abhängig von der physikalischen Infrastruktur, über die die Daten trans-

portiert werden, also Kabel (DSL, Ethernet) oder Funkverbindung (WLAN, GPRS, UMTS, LTE).⁵⁸

Problematisch wird jedoch von einigen M2M-Connectivity Service Providern die Nutzung fester *öffentlicher* IP-Adressen gesehen. Diese könnten Ziel von Spam-Angriffen bzw. Denial of Service-Attacken werden, da sie von jedem Internetnutzer direkt adressiert werden können. Empfohlen werden stattdessen feste *private* IP-Adressen, indem dem M2M-Anwender ein Sub-Netz von seinem Mobilfunkanbieter oder seinem M2M-Connectivity Service Provider eingerichtet wird.⁵⁹

Dass mit festen öffentlichen IP-Adressen erhebliche Sicherheitsrisiken verbunden seien, wurde in den Expertengesprächen ausdrücklich bestätigt. Die Experten verwiesen aber auch darauf, dass das Risiko immer im Verhältnis zu den Chancen gesehen werden müsse.

Abbildung 3-2: Veranschaulichung einer M2M-Systemlösung⁶⁰



Quelle: WIK nach Höller, Jan et al. (2014)

Maschinen und Anlagen, die sich bereits im Gerätepark eines Unternehmens befinden, können mit einem M2M-Modul nachgerüstet werden, welches zumeist auf der SIM-Karten-Technik basiert. Die Möglichkeit der Nachrüstung war in der Vergangenheit die Regel. Die wachsende Bedeutung von M2M und die zunehmende Verbreitung von Embedded Systems hat jedoch inzwischen dazu geführt, dass auf Seiten der Gerätehersteller Wert auf die M2M-Fähigkeit gelegt wird, d. h., dass die M2M-Module bereits zu

⁵⁸ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2012): Machine-to-Machine-Kommunikation – Eine Chance für die deutsche Industrie; M2M Initiative Deutschland; Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels (AG2); Digitale Infrastrukturen als Enabler für innovative Anwendungen; Nationaler IT-Gipfel 2012; Essen, 12.11.2012; S. 8.

⁵⁹ Wimmers, Sara (2014): Serviceprovider: SIM-Karten für den M2M-Einsatz; In: Funkschau.de; 13.10.2014; URL: <http://www.funkschau.de/mobile-solutions/artikel/113505/> (Zugriff am: 04.02.2015).

⁶⁰ Höller, Jan et al. (2014): From Machine-to-Machine to the Internet of Things – Introduction to a New Age of Intelligence; Jordan Hill, GBR; Academic Press, 2014; S. 12.

Beginn des Lebenszyklus einer Maschine implementiert werden.⁶¹

Durch M2M-Systemlösungen können Unternehmensprozesse in hohem Maße effizient gestaltet werden. So ermöglicht der Einsatz von M2M-Funktionalitäten beispielsweise, den gesamten Lebenszyklus eines Produktes zu optimieren. Während der Inbetriebnahme kann die Konfiguration, die Übergabe und Aktivierung automatisch erfolgen. In der Nutzungsphase kann etwa der Betrieb einer Maschine mithilfe von Sensoren und Aktoren überwacht und optimiert werden. Sensoren und Aktoren ermöglichen auch eine effizientere Wartung, indem bei Störungsmeldungen die notwendigen Prozesse automatisch eingeleitet werden. Schließlich können Ersatzgeräte ebenfalls automatisiert bestellt werden.⁶²

Ein Beispiel für die Verwendung von Sensoren und optischen Systemen ist der sich selbst programmierende Roboter eines in Münster ansässigen Unternehmens, der unter anderem in der Schweiß- und der Lebensmittelindustrie eingesetzt wird. Das optische System erlaubt es dem Roboter, seine Umgebung in einem dreidimensionalen Bild zu erfassen. Seine eigene Position passt der Roboter der Position des zu bearbeitenden Werkstücks an. Im Falle, dass die Linse des optischen Systems verunreinigt ist, schickt der Roboter eine Nachricht an den zuständigen Mitarbeiter mit einer Anleitung zum Reinigen der Linse.⁶³

Für M2M benötigte Infrastruktur

Die für M2M benötigte IKT-Infrastruktur muss sich häufig nicht in erster Linie durch die Kapazität für den Transport hoher Datenraten, sondern durch hohe Zuverlässigkeit z. B. bei Belastungen durch Staub, hohe Temperaturen oder hohe mechanische Beanspruchungen auszeichnen. So fallen für Stromverbrauchsdaten im Smart Metering lediglich einige 100 kB an.⁶⁴

Perspektivisch können sich die anfallenden Datenmengen jedoch durch die Einbindung in Industrie 4.0-Systeme z. B. durch Echtzeitkommunikation deutlich erhöhen. Insofern ist die Notwendigkeit der Skalierbarkeit für CPS, als eine Weiterentwicklung von M2M, ist ein wichtiger Aspekt, der künftig wachsende Bedeutung erlangen kann.⁶⁵

Es können in einem vernetzten System sehr viele Kommunikationsknoten beteiligt sein und auch die räumliche Ausdehnung kann stark variieren, etwa im Falle der lokalen

⁶¹ Nationaler IT-Gipfel (2014 a): Ergebnisbericht 2013 – Projektgruppe M2M Initiative Deutschland; Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels (AG2); Digitale Infrastrukturen als Enabler für innovative Anwendungen; 15.03.2014; S. 36.

⁶² Krämer, Christian (2013): Umsetzung von M2M – Geschäftsmodelle im Rollout; Detecon Consulting; Eco-M2M-Kongress Köln; 21.11.2013; S. 9.

⁶³ Dopheide, Dominik (2015): Post vom Roboter; Unternehmen aus dem Münsterland drehen kräftig an der Erfolgsschraube, weil sie IT-Technologie mit dem Maschinenbau verbinden; In: Wirtschaftsspiegel – Das Magazin der IHK Nord Westfalen; Ausgabe 2, 2015; S. 16-18; S. 16 und 18.

⁶⁴ Wietfeld, Christian (2013): Kommunikationsnetze für Cyber Physical Systems – Nordrhein-Westfalen auf dem Weg zum digitalen Industrieland; Clustermanagement IKT.NRW (Hg.); Wuppertal, November 2013; S. 7.

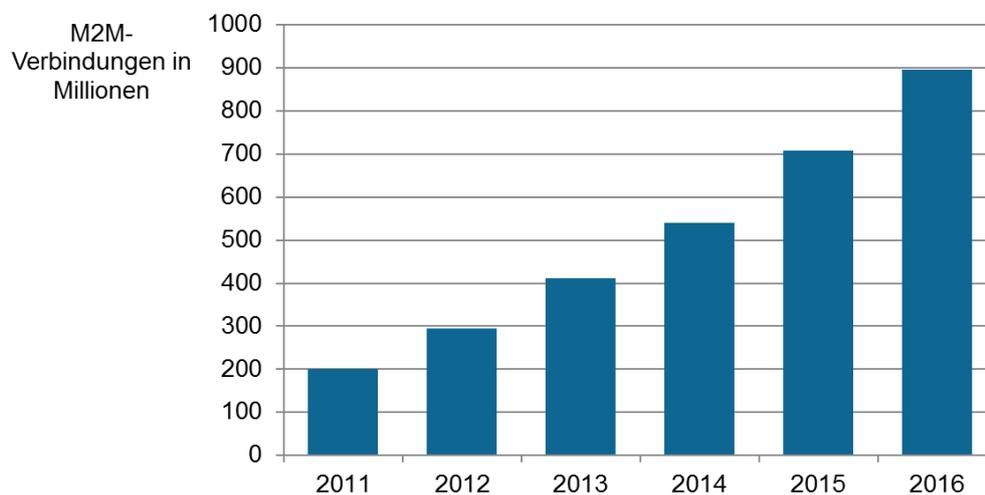
⁶⁵ Wietfeld, Christian (2013); ebenda, S. 10.

Vernetzung eines Gebäudes oder der globalen Vernetzung im Falle von Anwendungen in der Luftfahrt oder im Automobilbau. Auch die übertragenen Datenmengen können vom relativ geringen Niveau etwa des Füllstandes eines Automaten bis hin zu sehr hohen Datenmengen variieren, wenn etwa ein Hochofen gesteuert wird.⁶⁶ Eine Gasturbine erzeugt beispielsweise pro Tag etwa 600 Gigabyte an Daten.⁶⁷

Bei kritischen Statusmeldungen von hochkomplexen Industrieanwendungen muss zudem schnell reagiert werden können und die Echtzeitfähigkeit gewährleistet sein, während bei unkritischen Verbrauchsmeldungen eine Verzögerung der Datenübertragung problemlos sein kann. Der wirtschaftliche Wert der übertragenen Daten unterscheidet sich ebenfalls stark je nach betrachteter Anwendung. Meldungen über die Temperatur eines Heizkörpers besitzen einen Wert von lediglich wenigen Cent. Dagegen können Meldungen über den Zustand einer Gasturbine schnell einen Wert von mehreren Millionen Euro erreichen, wenn davon die Funktionstüchtigkeit abhängt.⁶⁸

Mobilfunk ist eine häufig verwendete Infrastruktur für M2M. So wurden nach Schätzungen von Harbor Research im vergangenen Jahr weltweit über 500 Millionen M2M-Verbindungen über den Mobilfunk realisiert.⁶⁹

Abbildung 3-3: Entwicklung von M2M-Verbindungen über Mobilfunk weltweit 2011 bis 2016



Quelle: Harbor Research (2013)

⁶⁶ Wietfeld, Christian (2013); ebenda, S. 10.

⁶⁷ Hägler, Max (2015): Gesammelt, aber nicht genutzt; In: Süddeutsche Zeitung; 19.02.2015.

⁶⁸ Wietfeld, Christian (2013); ebenda, S. 10.

⁶⁹ Harbor Research (2013): Smart Devices & Services; How CDMA Technology is driving the connected age; White Paper; 2013; S. 4.

Für viele Mess- und Steuerungsanwendungen, die geringe Datenmengen erzeugen bzw. verarbeiten, ist der paketorientierte Standard General Packet Radio Service (GPRS) als Übertragungstechnik ausreichend. Verwendet wird dieser Datendienst beispielsweise für Smart Meter-Anwendungen.⁷⁰ Die Deutsche Telekom AG verwendet nach eigenen Angaben ebenfalls GPRS und UMTS für die meisten ihrer M2M-Verbindungen.⁷¹

Inzwischen wird als Nachfolgetechnologie der Standard Long Term Evolution (LTE) verwendet, der kürzere Antwortzeiten im Bereich von 100 Millisekunden ermöglicht und daher auch für Anwendungen mit höheren Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit verwendbar ist.⁷² Experten sehen in LTE die M2M-Basistechnologie, die künftig ältere Lösungen sukzessive ablösen wird.⁷³ Dies gilt vor allem für die Fälle, in denen der Anmeldeprozess kritisch ist, wenn eine Vielzahl von M2M-Geräten gleichzeitig eingewählt werden muss.⁷⁴

Mit Blick auf die verwendeten Vernetzungsstrukturen für M2M-Lösungen können drei Topologien unterschieden werden:⁷⁵

1. der direkte Datenaustausch zwischen Geräten und einer Serverinfrastruktur,
2. der Datenaustausch via Gateway zwischen Geräten in einem lokalen Netz und einer Serverinfrastruktur, sowie
3. die direkte Kommunikation zwischen Geräten.

Die erste Form, der direkte Austausch zwischen Geräten und einer Serverinfrastruktur, wird etwa in Aufzügen verwendet. In diesem Fall wird der Aufzug über ein integriertes Funkmodul und eine M2M-SIM-Karte direkt mit den Servern des Wartungsunternehmens verbunden. Der zweite Typ, der Datenaustausch via Gateway, bietet sich insbesondere in Situationen an, in denen sich eine Vielzahl zu vernetzender Geräte nah beieinander in einem abgrenzten Raum, einem Gebäude oder einem Gelände befinden. Ein solcher Fall ist z.B. in einem Smart Home oder Smart Building gegeben. Die Kommunikation zwischen Automobilen ist dagegen ein Beispiel für die dritte Form des Datenaustauschs, die direkte Kommunikation.⁷⁶

Die Entwicklung ressourceneffizienter Internet Protokolle ist für eingebettete Systeme von großer Bedeutung. Mit standardisierten Protokollen wie IPv6 over Low Power

⁷⁰ Wietfeld, Christian (2013); ebenda, S. 23.

⁷¹ Deutsche Telekom AG (2014): Alleskönner M2M; URL: <https://www.telekom.com/medien/medienmappen/m2m-kommunikation/190176> (Zugriff am: 25.09.2014).

⁷² Wietfeld, Christian (2013); ebenda, S. 24.

⁷³ Nationaler IT-Gipfel (2014 b): M2M – Querschnittstechnologie für die vernetzte Gesellschaft; Arbeitsgruppe 2; Vernetzte Anwendungen und Plattformen für die digitale Gesellschaft; Projektgruppe M2M (Internet der Dinge); Oktober 2014; S. 12.

⁷⁴ Wietfeld, Christian (2013); ebenda, S. 24.

⁷⁵ Riedesel, Conrad (2014): M2M für alle – Wie der Endkundenmarkt die Branche verändert; In: NET; 10/14; S. 29-30; S. 29.

⁷⁶ Riedesel, Conrad (2014); ebenda, S. 29.

Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN) können auch (sehr) kleine Geräte mit einer ID ausgestattet werden.⁷⁷ Bei 6LoWPAN handelt es sich um eine Funktechnik auf IP-Basis, die auf energieeffiziente Kurzstreckennetze ausgerichtet ist.⁷⁸

Für die Datenübertragung über weite Strecken wird im Rahmen von M2M-Lösungen dagegen häufig GPRS eingesetzt. Als Alternative zu GPRS könnten sich möglicherweise die sogenannten Low Power Wide Area Networks (LPWAN) entwickeln, in dem die Kommunikationsmodule im Idealfall für zehn Jahre nur eine einzige AA-Batterie benötigen.

Die LPWAN-Technik kann jedoch nur einfache Nachrichten verarbeiten. Sie ist daher kein Ersatz für breitbandige Übertragungswege, sondern eher eine Übergangstechnologie für die Erschließung neuer Märkte. Verwendbar ist die Technologie auch für relativ günstige Produkte in der Konsumelektronik wie z. B. Tracking-Halsbänder für Haustiere, bei denen keine hohe Bandbreite oder besondere Sicherheitsanforderungen nötig sind.⁷⁹

M2M-SIM-Karten

Zu beachten ist hinsichtlich der Infrastruktur nicht nur der Mobilfunkstandard, sondern auch die Art der SIM-Karte. Einige M2M-Anwendungen können mit herkömmlichen SIM-Karten aus dem Massenmarkt arbeiten, während spezielle M2M-SIM-Karten notwendig werden können, wenn es z. B. besondere Anforderungen an die Temperatur- oder die Vibrationsempfindlichkeit gibt.

Während herkömmliche SIM-Karten in der Regel nur für Temperaturen bis maximal 55 Grad Celsius ausgelegt sind, bleiben M2M-SIM-Karten auch bei Temperaturen zwischen -40 Grad Celsius und +105 Grad Celsius funktionstüchtig.⁸⁰ Zertifiziert sind M2M-SIM-Karten in einer technischen Spezifikation 102 671 des European Telecommunications Standards Institute (ETSI).⁸¹

Um die Robustheit zu erhöhen, können M2M-SIM-Karten direkt an einem M2M-Gerät verlötet sein.⁸² Der Einsatz einer fest verlöteten SIM-Karte kann aber zu Problemen führen, wenn die SIM-Karte bei einem Wechsel des Mobilfunkanbieters ausgetauscht

⁷⁷ Internet of Things Expert Group (IoT-EG) (2012): Internet of Things Expert Group – Sub-Group on Identification; 10th meeting of the Internet of Things Expert Group; November 14th, 2012; URL: <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=7600&no=6> (Zugriff am: 27.10.2014); S. 6.

⁷⁸ Riedesel, Conrad (2014); ebenda, S. 29.

⁷⁹ Riedesel, Conrad (2014); ebenda, S. 30.

⁸⁰ Barth, Daniel (2014): Subscriber-Identity-Module – SIM-Karten für M2M sind anders; In: Funkschau.de; 24.11.2014; URL: <http://www.funkschau.de/telekommunikation/artikel/114924/> (Zugriff am: 03.02.2015).

⁸¹ European Telecommunications Standards Institute (ETSI) (2010): ETSI TS 102 671 – V9.0.0 (2010-04); Technical Specification; Smart Cards; Machine to Machine UICC; Physical and logical characteristics; Release 9; URL: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102671/09.00.00_60/ts_102671v090000p.pdf (Zugriff am: 03.02.2015).

⁸² Barth, Daniel (2014); ebenda.

werden muss. Im Rahmen des eco Reports M2M Future Trends 2015 wurden hierzu 50 Branchenexperten befragt. 41 Prozent stimmten der Aussage „voll zu“, dass internationale Rollouts für KMU schwierig seien, da es keine weltweiten Datentarife gebe und ein einfacher Providerwechsel ohne Wechsel der SIM-Karten nicht möglich sei. 27 Prozent stimmten der Aussage immerhin „teilweise“ zu.⁸³

Die BNetzA untersucht nach eigenen Angaben Wege, die es Diensteanbietern ohne eigenes Netz erlauben, den Betreiber zu wechseln, ohne dabei die SIM-Karten bei M2M-Anwendungen austauschen zu müssen. Ziel ist es, Marktbarrieren zu verringern.⁸⁴ Auf diese Marktbarrieren wurde teilweise auch in den für diese Studie geführten Expertengesprächen verwiesen. So wurde von einigen Gesprächspartnern unterstrichen, dass die Technik zwar vorhanden sei, aber die Netzbetreiber und Telekommunikationsunternehmen auf die SIM-Karte als einem Mittel der Kundenbindung im hart umkämpften Mobilfunkmarkt in der Regel nicht verzichten wollten.

Laut der Stellungnahmen zur Anhörung „Auswirkungen der Entwicklungen bei der Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation auf die Nummerierung“ befindet sich die technische Umsetzung des Netzbetreiberwechsels „Over The Air“ (OTA), d. h., ohne Austauschen der SIM-Karte, in Deutschland noch in der Diskussionsphase.⁸⁵ Demnach steht die Entwicklung von Sicherheitsmechanismen noch aus und auch die Synchronisierung der Prozesse zwischen Netzelementen des Diensteanbieters auf der einen und mobilen Geräten auf der anderen Seite werden teilweise als problematisch angesehen.⁸⁶

Relevant sind vor diesem Hintergrund auch die Initiativen des European Telecommunications Standards Institute (ETSI) und der Groupe Speciale Mobile Association (GSMA) hinsichtlich gemeinsamer technischer Standards für embedded SIM (auch eSIM oder embedded Universal Integrated Circuit Card, eUICC) aus dem Jahr 2013.⁸⁷

Bei der eSIM erfolgt die Bereitstellung und Verwaltung der SIM-Karte ferngesteuert. Dabei ermöglicht der gemeinsame technische Standard den Anbieterwechsel, indem ein neues Nutzerprofil und eine neue Internationale Kennung für Mobile Teilnehmer (International Mobile Subscriber Identity, IMSI) hochgeladen werden.

⁸³ eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2015 a); ebenda, S. 8.

⁸⁴ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2013): Nummerierung in der Telekommunikation; 01.02.2013; URL: http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Technik/Standardisierung/Nummerierung/nummerierung-node.html (Zugriff am: 15.09.2014).

⁸⁵ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (o.J.): Auswertung der Stellungnahmen zur Anhörung „Auswirkungen der Entwicklungen bei Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation auf die Nummerierung“; siehe: Ergebnis zu Frage 8.1.

⁸⁶ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (o.J.); ebenda.

⁸⁷ European Telecommunications Standards Institute (ETSI) (2013): ETSI TS 103 383; V 12.0.0 (2013-02); Smart Cards; Embedded UICC; Requirements Specification; Release 12; Februar 2013 und Groupe Speciale Mobile Association (GSMA) (2013): Embedded SIM Remote Provisioning Architecture; Version 1.1; 17.12.2013.

Eine eindeutige IMSI-Nummer wird jeder SIM-Karte vom Netzbetreiber zugeordnet (vgl. Abschnitt 3.3.2). Die Notwendigkeit, die SIM-Karte bei einem Wechsel austauschen zu müssen, entfällt, wenn das bestehende Profil einfach „überschrieben“ werden kann. Darüber hinaus wird auch die extraterritoriale Nutzung erleichtert, da keine internationalen Roaminggebühren mehr anfallen.⁸⁸ Aufgrund dieser Erleichterungen geht die GSMA daher auch von einem zusätzlichen Wachstumsschub im M2M-Markt durch die Nutzung der embedded SIM Spezifikation als de facto Standard von über 30 Prozent bis 2020 aus.⁸⁹ Die von uns befragten Experten halten diese Schätzung angesichts der enormen Marktdynamik noch für deutlich zu gering.

Verwendet werden SIM-Karten, die über Luftschnittstellen programmierbar sind, bislang insbesondere in internetfähigen Autos.

Programmierbare herkömmliche SIM-Karten im Mobilfunk für private Endkunden erhalten seit Oktober 2014 mehr Aufmerksamkeit durch die Erprobung einer neuen Marktstrategie der Fa. Apple. Kunden der neuen Apple iPads (iPad Air 2 und iPad mini 3), die im Oktober 2014 vorgestellt wurden, sollte die Möglichkeit geboten werden, den Mobilfunkanbieter ohne Austausch der SIM-Karte zu wechseln.

Die neuen iPad-Geräte verfügen in der LTE-Version in den USA und Großbritannien über die sogenannte Apple-SIM, die zwar noch nicht fest im Gerät verbaut, jedoch frei programmierbar, ist. Der Kunde soll in den USA etwa zwischen Kurzzeitdatentarifen der Anbieter AT&T, Sprint und T-Mobile direkt in den Einstellungen des Geräts wählen können.⁹⁰ Erste Patente hatte Apple zu dieser Universal-SIM bereits 2010 eingereicht. In den Jahren 2011 und 2012 eingereichte Patente sehen sogar eine virtuelle, also direkt in die Hard- bzw. Software integrierte Funktionalität als SIM-Karte vor.⁹¹

Eine Einführung der Apple-SIM ist derzeit in Deutschland nicht geplant. So kündigte beispielsweise die Deutsche Telekom an, die neuen iPad-Geräte grundsätzlich ohne die Apple-SIM anbieten zu wollen.⁹² Auch in den USA scheint die Einführung der programmierbaren Apple-SIM nicht ohne Widerstand der Mobilfunkbetreiber möglich. So war Medienberichten Ende Oktober 2014 zufolge, der kurzfristige und freie Wechsel

88 Lucidi, Stefano/ Stumpf, Ulrich (2014): Implikationen der Internationalisierung von Telekommunikationsnetzen und Diensten für die Nummernverwaltung; WIK Diskussionsbeitrag Nr. 393; Dezember 2014; Bad Honnef; S. 23f.

89 Groupe Speciale Mobile Association (GSMA) (2014): Benefits Analysis of GSMA Embedded SIM Specification on the Mobile Enabled M2M Industry; Researched and published by Beecham Research Ltd.; September 2014; S. 9.

90 o.V. (2014): Fliegender Anbieterwechsel – Apple bietet eigene Multi-SIM-Karte für neue iPads an; In: heise online; 17.10.2014; URL: http://www.heise.de/newsticker/meldung/Fliegender-Anbieterwechsel-Apple-bietet-eigene-Multi-SIM-Karte-fuer-neue-iPads-an-2426905.html?wt_mc=rss.ho.beitrag.atom (Zugriff am: 20.10.2014).

91 Fuest, Benedikt (2014): iPad – Apple-SIM ist der Albtraum aller Mobilfunkkonzerne; In: DIE WELT; 17.04.2014; URL: <http://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article133405569/Apple-SIM-ist-der-Albtraum-aller-Mobilfunkkonzerne.html> (Zugriff am: 21.10.2014).

92 o.V. (2014): iPad Air 2 - Neue SIM-Karten - Apple macht Mobilfunkbranche verrückt; In: Handelsblatt; 17.10.2014; URL: <http://www.handelsblatt.com/technologie/it-tk/it-internet/ipad-air-2-neue-sim-karten-apple-macht-mobilfunkbranche-verrueckt/10855048.html> (Zugriff am: 20.10.2014).

ohne Austausch der SIM-Karte bei AT&T und Sprint entgegen der Ankündigungen nicht möglich.⁹³

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es nicht eine charakteristische oder gar M2M-Anwendung gibt, sondern künftig viele verschiedene Ausprägungen von M2M-Anwendungen existieren werden. Daraus folgt, dass es, entsprechend den extrem heterogenen und rein quantitativ sehr vielfältigen Anwendungskontexten reichlich breit gestreute Anforderungen an die Infrastruktur gibt, etwa hinsichtlich der physischen Anforderungen, der Verlässlich- bzw. Verfügbarkeit, der Mobilität, der Echtzeitfähigkeit und des Datenvolumen. So bringt ein Tracking-System für einen im Güterverkehr eingesetzten Container oder ein internetfähiges Automobil andere Anforderungen mit sich als die Füllstandmessung eines Mülleimers in einer Parkanlage.

3.2 Aktuelle Entwicklung und Anwendungsstrukturen

Akteure im Bereich M2M

Im Bereich M2M gibt es nach Auswertung der Zusammenfassung der Stellungnahmen zur BNetzA-Anhörung zu den „Auswirkungen der Entwicklungen bei Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation auf die Nummerierung“ und gemäß der Expertengespräche verschiedene Akteursgruppen und Stakeholder:⁹⁴

- Anbieter von Telekommunikationsinfrastruktur (z. B. Mobilfunknetzbetreiber),
- M2M Connectivity Service Provider (M2M CSP),
- Operation/ M2M Service Enabler,
- App-Entwickler,
- M2M-Dienste- oder Anwendungsanbieter (z. B. IT-Systemanbieter),
- Hardwarelieferanten,
- Softwarelieferanten,
- SIM-Kartenhersteller oder –lieferanten,
- Systemintegratoren,
- Nutzer der M2M-Anwendung.

M2M-Dienste werden direkt von Telekommunikationsunternehmen angeboten. Die Deutsche Telekom stellt beispielsweise ein Service Portal zur Kontrolle der verwend-

⁹³ Ramisch, Fritz (2014): Apple SIM ausgebremst – US-Mobilfuncker erschweren Einsatz programmierbarer SIM-Karte; In: mobilbranche.de; 27.10.2014; URL: <http://mobilbranche.de/2014/10/apple-sim-us> (Zugriff am: 28.10.2014).

⁹⁴ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (o.J.): Auswertung der Stellungnahmen zur Anhörung „Auswirkungen der Entwicklungen bei Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation auf die Nummerierung“.

ten SIM-Karten zur Verfügung.⁹⁵ Die sogenannte Global SIM von Telefonica hält wie die bereits angesprochenen M2M-SIM-Karten einem Temperaturbereich zwischen -40 und +105 Grad Celsius stand. Darüber hinaus ermöglicht sie eine Einwahl in jedes verfügbare Mobilfunknetz, wodurch das Risiko eines Signalverlustes durch mangelnde Netzabdeckung reduziert wird.⁹⁶ Spezielle Tarife ermöglichen es außerdem M2M-SIM-Karten zu Testzwecken zu aktivieren, um eine M2M-Anwendung konfigurieren zu können.⁹⁷

Bezogen auf die Ausgestaltung der Tarife gibt es gemäß der im Rahmen der vorliegenden Studie befragten Experten jedoch noch wenig Transparenz. Laut der Projektgruppe „Kompetenznetzwerk Machine-to-Machine-Kommunikation“ der Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels fehlt es der Branche unter anderem an Volumentarifen, die unabhängig von einzelnen SIM-Karten etwa auf Projekte bezogen werden können.⁹⁸ Die befragten Experten geben jedoch an, dass sich die Mobilfunknetzbetreiber inzwischen hinsichtlich der Gestaltung von Volumentarifen zunehmend besser auf die Markterfordernisse einstellen.

Telekommunikationsunternehmen können auch als M2M Connectivity Service Provider (M2M CSP) auftreten. Diese bieten Unterstützung beim Management der verschiedenen SIM-Karten an, die in einem Unternehmen mit einer Vielzahl von M2M-Modulen zum Einsatz kommen. So werden etwa Online-Plattformen zur Kontrolle und Verwaltung der SIM-Karten bereitgestellt.⁹⁹ Einige der für diese Studie konsultierten Experten gehen davon aus, dass die M2M Service Provider zukünftig an Bedeutung gewinnen werden, da es anders als beim Mobilfunkgeschäft im Privatkundenbereich bei M2M viel stärker darum gehen wird, den Geschäftskunden komplette Lösungen anstelle von einzelnen Produkten anzubieten.

Unter M2M Service Enablern werden laut Projektgruppe M2M Initiative Deutschland dagegen Unternehmen verstanden, die die M2M-Anwendungen und die anfallenden Nutzungsdaten verwalten.¹⁰⁰ Diese Unternehmen verfügen teilweise über Partnerschaften mit mehreren Mobilfunknetzbetreibern. So wirbt etwa Wylless - ein M2M CSP mit

⁹⁵ Vgl. Telekom Deutschland GmbH (o.J.): Einfach Praktisch: Das M2M Service Portal; URL: https://www.t-mobile.de/business/machinetomachine/fuer-ihr-unternehmen/m2m-serviceportal/0,23223,26822-_,00.html (Zugriff am: 04.02.2015).

⁹⁶ Göbel, Oliver Markus (2015): Global SIM bringt weltweit Erfolg; In: Telefonica Blog; 07.01.2015; URL: <https://blog.telefonica.de/2015/01/individuelle-m2m-loesungen-von-telefonica-global-sim-bringt-weltweit-erfolg/> (Zugriff am: 04.02.2015).

⁹⁷ Göbel, Oliver Markus (2015); ebenda.

⁹⁸ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2011 a): Machine-to-Machine- Kommunikation - eine Chance für die deutsche Industrie – AG2 Kompetenznetzwerk Machine-to-Machine-Kommunikation; Nationaler IT-Gipfel 2011; München, November 2011; S. 11.

⁹⁹ Wimmers, Sara (2014): Serviceprovider: SIM-Karten für den M2M-Einsatz; In: Funkschau.de; 13.10.2014; URL: <http://www.funkschau.de/mobile-solutions/artikel/113505/> (Zugriff am: 04.02.2015).

¹⁰⁰ Nationaler IT-Gipfel (2014 a): Ergebnisbericht 2013 – Projektgruppe M2M Initiative Deutschland; Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels (AG2); Digitale Infrastrukturen als Enabler für innovative Anwendungen; 15.03.2014; S. 5.

Hauptsitz in Boston, USA - damit, Partner von T-Mobile USA, Telefonica und Sprint zu sein.¹⁰¹

In unseren Expertengesprächen wurde auch die Ansicht geäußert, dass App-Entwickler und Softwareunternehmen zu jenen Akteursgruppen gehören, die künftig an Bedeutung gewinnen werden. Diese Akteure stellen die Algorithmen, Softwaretools und Filtermechanismen bereit, mit deren Hilfe aus der schiereren Masse von Daten (Big Data) die für die intelligente Steuerung von Prozessen erforderlichen Informationen (Smart Data) herausgefiltert werden können, um sie mit den kybernetischen Prozessen zurück zu koppeln.

Bei der Entwicklung von Miniaturprogrammen (Apps) wurde der Industriebereich in Deutschland in der Vergangenheit lange vernachlässigt und eher der Fokus auf das Privatkundensegment oder den Office-Bereich gerichtet. Innerhalb der letzten Jahre hat sich jedoch die Entwicklung von Apps zu einem wichtigen und als Enabler für M2M- bzw. Industrie 4.0-Lösungen strategisch bedeutsamen Wirtschaftsfaktor entwickelt.¹⁰²

Ein Blick auf die Erlösmodelle zeigt, dass der Anteil derjenigen Entwicklerfirmen, die ihre Erlöse „klassisch“ über Downloads, Abo-Modelle oder Werbung erzielen, sukzessive zurückgeht zu Gunsten derjenigen Firmen, die von der Auftragsentwicklung leben. Waren es in der Vergangenheit vor allem große Firmen z. B. aus der Automobilindustrie, der Logistik, dem Handel oder Touristik, die eine App-Entwicklung für ihre bessere Sichtbarkeit und für die mobile Vermarktung ihrer Produkte in Auftrag gegeben haben, so wird heute das Marktwachstum der App-Economy durch die Aufträge aus dem Handel und der Industrie getragen.¹⁰³

Als weitere Akteursgruppen können Allianzen und Verbände gesehen werden, z. B. die M2M World Alliance. Zu den Mitgliedern der M2M World Alliance zählen Unternehmen wie Telefonica oder KPN.¹⁰⁴ Telefonica etwa gab im April 2014 bekannt, dass es Elektrofahrzeuge von Tesla mit einer M2M-Systemlösung für Infotainment und Fahrzeugsicherheit ausstatten wird. Der Fahrer und eine Servicezentrale werden hier unter anderem mit Informationen zu Fahrzeugzustand und –Diagnostik versorgt.¹⁰⁵

Die Förderung von M2M-Lösungen verfolgt auch die M2M Alliance. Zu ihren Mitgliedern gehören unter anderem Bosch Software Innovations, die Deutsche Telekom, das

¹⁰¹ Vgl. Wyless Inc. (2015): M2M Ecosystem Partners; URL:

<http://www.wyless.com/company/ecosystem-partners> (Zugriff am: 04.02.2015).

¹⁰² Vgl. Büllingen, Franz (2015): App-Economy – Katalysator für Mobile Commerce und Mobile Business im Mittelstand. In: Newsletter Mittelstand-Digital, Ausgabe 10, Mai 2015, S. 1-4.

¹⁰³ Vgl. Büllingen, Franz (2015): ebenda.

¹⁰⁴ Vgl. M2M World Alliance; URL: http://www.m2mworldalliance.com/#section_footprint (Zugriff am: 03.02.2015).

¹⁰⁵ M2M World Alliance (2014): Telefonica to provide M2M connectivity for Tesla electric vehicles across major European markets; 02.04.2014; URL: http://www.m2mworldalliance.com/pdf/web/viewer.html?file=%2Fimages%2FM2M_Alliance_Apr22014_rev4.pdf (Zugriff am: 03.02.2015).

Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme oder Huawei Technologies Düsseldorf.¹⁰⁶

M2M-Ökosysteme und Geschäftsmodelle

Die Projektgruppe M2M Initiative Deutschland der Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels hat in ihrem Ergebnisbericht 2013 ein Ökosystem für den M2M-Markt aufgezeigt, das aus sechs Schichten besteht (vgl. Abbildung 3-4). Die einzelnen Schichten werden dabei von bestimmten Marktteilnehmern gestaltet. Darüber hinaus werden die verschiedenen Ebenen eines Ökosystems als Module verstanden. Eine bestimmte M2M-Anwendung benötigt also entsprechend den erforderlichen Wertschöpfungselementen nicht alle Marktteilnehmer.¹⁰⁷

Die Basis bilden in diesem Ökosystem die Sensor und Chipset Supplier als Anbieter der Geräte bzw. der Komponenten, die zur Steuerung von Maschinen und zur Datenerfassung benötigt werden. Zu dieser Schicht des Ökosystems gehören beispielsweise Unternehmen wie Intel und Bosch Sensortec.

Als Anbieter sind zudem die Telco Device Supplier involviert, wenn die Maschinen über ein lokales Gateway, bspw. einen Router, verbunden werden sollen.¹⁰⁸ M2M-Anwendungen in der Industrie schliessen in der Regel ein Gateway mit ein, während Lösungen im Endkundenbereich eher eine direkte Anbindung des Gerätes an eine Cloud implizieren.¹⁰⁹ Zu den LAN bzw. Telco Device Supplier zählen Unternehmen wie Gemalto, Cisco Systems oder Sierra Wireless.

Die M2M Connectivity Service Provider werden in diesem Modell als Carrier gesehen, die für die Festnetz- oder Mobilfunkanbindung verantwortlich sind.¹¹⁰ Unternehmen wie Deutsche Telekom, Vodafone und Telefonica gehören ebenso zu dieser Schicht des Ökosystems wie etwa der Dienstleister ASPIDER M2M Deutschland als Mobile Virtual Network Provider (MVNO).

Aufgaben wie die Verwaltung der Anwendungen und Nutzungsdaten werden in der vierten Ebene von M2M Service Enablern übernommen, zu denen Unternehmen wie Cumulocity oder Wylless gerechnet werden können. Die Application Service Provider haben dann Zugriff auf die erhobenen Daten und die Maschinen, um bestehende Geschäftsprozesse zu optimieren.

Als Application Service Provider können alle IT-Unternehmen verstanden werden, die Anwendungen und Softwarelösungen zur Auswertung der Maschinendaten entwickeln, wie etwa SAP oder Robert Bosch. Es ist zudem denkbar, dass ein sogenannter Soluti-

¹⁰⁶ Vgl. M2M Alliance; ebenda.

¹⁰⁷ Nationaler IT-Gipfel (2014 a): Ergebnisbericht 2013 – Projektgruppe M2M Initiative Deutschland; Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels (AG2); Digitale Infrastrukturen als Enabler für innovative Anwendungen; 15.03.2014; S. 5.

¹⁰⁸ Nationaler IT-Gipfel (2014 a); ebenda, S. 4.

¹⁰⁹ Nationaler IT-Gipfel (2014 a); ebenda, S. 5.

¹¹⁰ Nationaler IT-Gipfel (2014 a); ebenda, S. 4f.

on Integrator wie beispielsweise die T-Systems International GmbH, alle Dienstleistungsebenen vom Sensor und Chipset Supplier bis zum Application Provider integriert anbieten kann. Das setzt jedoch umfassende Expertise vom Sensor bis zur spezifischen M2M-Anwendung voraus.¹¹¹ Die oberste Ebene des Ökosystems wird schließlich vom Over The Top-Service Provider (OTT-Service Provider) geprägt, der die erhobenen Daten im Rahmen des Internets der Dinge in neue Dienstleistungen einfließen lässt.¹¹² OTT kann hier im Sinne eines übergreifenden Angebotes verstanden werden.

Hierunter können Unternehmen wie Google, aber auch die Deutsche Bahn verstanden werden. Würde der Begriff des OTT streng gefasst, würde beispielsweise auch der Application Service Provider als OTT-Anbieter verstanden werden können, da auch hier Daten, Inhalte und Dienste über das Internet verbreitet werden, ohne dass der Internet Service Provider (ISP) direkt involviert ist.

Abbildung 3-4: Schichten im M2M-Ökosystem

| Layer | Technology | Role | Player |
|--------------------|------------------------|--|-----------------------------------|
| Internet of Things | Cloud | - Overlapping Business Processes / Mashups | OTT Service Provider |
| Business Process | Business Logic | - Business Rules - Data & Semantic Analytics - Application Development & Management - Device Management | Application Service Provider |
| Operation | M2M Platform | - Data Reporting, APIs - Data Collection & Monitoring - Gateway Management - Security | M2M Service Enabler |
| WLAN | Mobile / Fixed Network | - Provisioning, Charging - SIM Card Management - Connectivity, QoS | M2M Connectivity Service Provider |
| LAN | Gateway | - Access - App Execution & Data Pre-processing - Device Aggregation | Telco Device Supplier |
| Machine | Device | - Functions - Data Source & Target | Sensor & Chipset Supplier |

Solution Integrator

Quelle: WIK nach Nationaler IT-Gipfel (2014 a)

Die Geschäftsmodelle aus Sicht der M2M Service Provider können auf dieser Unterscheidung basierend nach drei Bereichen systematisiert werden (vgl. Abbildung 3-5). Unter dem Carrier Business Model wird ein Geschäftsmodell verstanden, bei dem der Netzbetreiber dem Anwender nicht nur die Festnetz- oder Mobilfunkanbindung zur Ver-

¹¹¹ Nationaler IT-Gipfel (2014 a); ebenda, S. 4f.

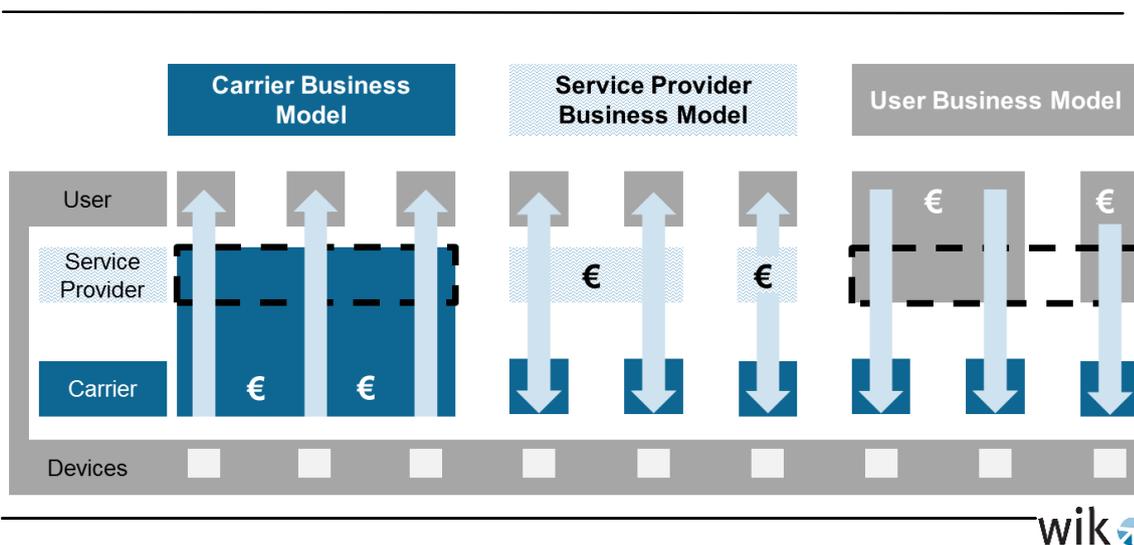
¹¹² Nationaler IT-Gipfel (2014 a); ebenda, S. 5.

fügung stellt, sondern auch die M2M-Lösung. Dies kann in Kooperation mit M2M-Lösungsanbietern geschehen.¹¹³

Im User Business Model erfolgt die Integration in entgegengesetzte Richtung. Hier betreiben Anwender wie etwa die Deutsche Bahn oder BMW die M2M-Plattform selbst. Diese Konstellation kann häufig dann beobachtet werden, wenn es sich um ein Unternehmen mit einem großen Bestand an Maschinen und Anlagen sowie einer großen Anzahl von eingesetzten Sensoren und Aktoren handelt.

Das dritte Geschäftsmodell, das Service Provider Business Model, wird dagegen von M2M Service Enablern oder Application Service Providern wie z. B. Cumulocity oder SAP verfolgt. Diese Unternehmen bieten meist segmentspezifische Systemlösungen an, die sich vom Gateway bis zur M2M-Plattform erstrecken. Die Projektgruppe M2M Initiative Deutschland weist hier darauf hin, dass künftig zunehmend Anbieter generischer M2M-Plattformen in den Markt eintreten werden, die insbesondere mit der unkomplizierten Einbindung von Geräten und Implementierung kompletter Lösungen werben.¹¹⁴

Abbildung 3-5: Geschäftsmodelle aus der Perspektive der M2M-Service-Provider



Quelle: WIK nach Nationaler IT-Gipfel (2014 a)

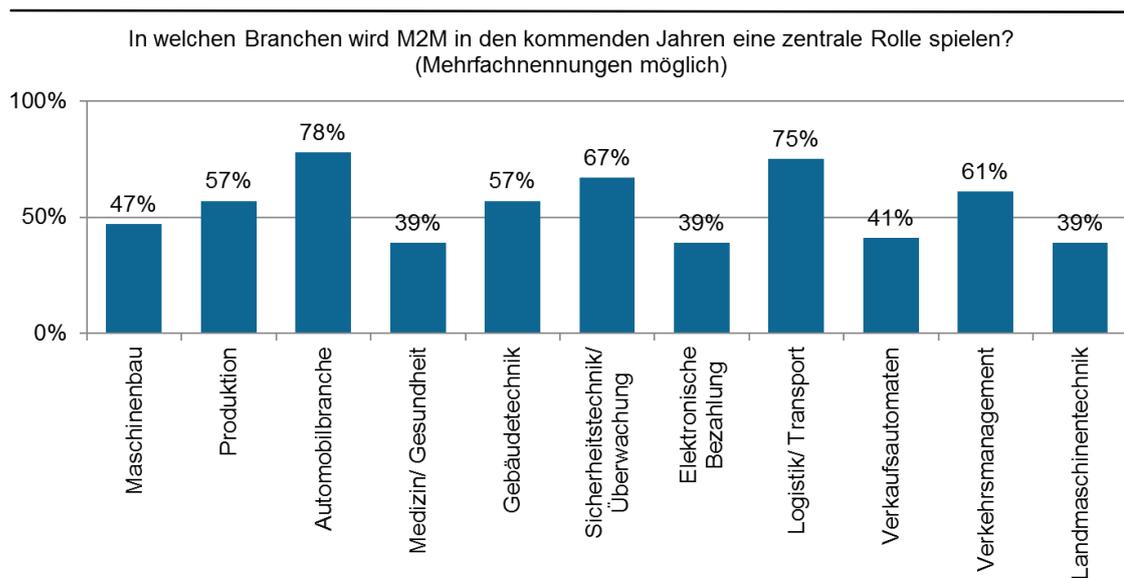
Geschäftsmodelle aus Perspektive der Anwender können beispielsweise Dienstleistungen wie Remote-Service-Management-Lösungen umfassen. Diese Lösungen erlauben dem Anwender unter anderem die Kontrolle von technischen Geräten und Anlagen, um Abweichungen und ggf. Notwendigkeiten einer eingreifenden Steuerung frühzeitig zu

¹¹³ Nationaler IT-Gipfel (2014 a); ebenda, S. 5.

¹¹⁴ Nationaler IT-Gipfel (2014 a); ebenda, S. 5.

erkennen.¹¹⁵ Nach Ansicht von Experten kommen die maßgeblichen Anwender von M2M vor allem aus der Automobilbranche, dem Maschinenbau, der Lebensmittel- und Pharmaindustrie, der Sicherheitstechnik und Überwachung sowie aus der Logistik. Wie die nachfolgende Abbildung zeigt, kommt eine, vom eco-Verband durchgeführte Erhebung zu weitgehend ähnlichen Einschätzungen (vgl. Abbildung 3-6).¹¹⁶

Abbildung 3-6: Early Adopter von M2M-Lösungen nach Branchen



Quelle: eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2015 a)

Einflussfaktoren auf den Einsatz von M2M

Wie jede bedeutende Innovation treffen M2M-Lösungen sowohl auf treibende als auch auf inhibierende Marktfaktoren. Als Treiber von M2M in Deutschland werden vor allem die folgenden vier Faktoren angesehen:¹¹⁷

- eine hochentwickelte Infrastruktur,
- die Verfügbarkeit auch komplexer Hardware-Lösungen,
- die Verfügbarkeit adaptierbarer und effizienter Software-Lösungen sowie
- der hohe Kosten- und Wettbewerbsdruck.

¹¹⁵ Nationaler IT-Gipfel (2014 a); ebenda, S. 6f.

¹¹⁶ eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2015 a): eco Report – M2M Future Trends 2015; URL: https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/eco-m2m-future-trends-2015_final.pdf (Zugriff am: 19.02.2015); S. 5.

¹¹⁷ Krämer, Christian (2013): Umsetzung von M2M – Geschäftsmodelle im Rollout; Detecon Consulting; Eco-M2M-Kongress Köln; 21.11.2013; S. 5.

Erstens hat sich die Infrastruktur in den letzten Jahren insbesondere durch die bessere Verfügbarkeit verschiedener, hochleistungsfähiger drahtloser Kommunikationslösungen wie z. B. LTE verbessert. Durch die Nutzung von Frequenzen aus der digitalen Dividende im 800 MHz-Bereich sowie im 700 MHz-Bereich ab 2015 stehen nun breitbandige Funklösungen weitgehend auch in der Fläche zur Verfügung. Damit erhalten auch die dort häufig angesiedelten kleinen und mittleren Unternehmen die Möglichkeit, M2M- bzw. Industrie 4.0-Anwendungen leichter einzusetzen.¹¹⁸

Miniaturisierte und immer günstiger werdende Hardware-Komponenten wie die Verfügbarkeit hocheffizienter Embedded Systems, aber auch z. B. SIM-Karten oder Sensoren, machen den zweiten treibenden Faktor aus. Experten gehen beispielsweise von einem Preisverfall von etwa 80 Prozent für eingebettete Systeme zwischen 2008 und 2013 aus.¹¹⁹ Darüber hinaus sind, wie bereits erwähnt, hinreichend komplexe und adaptierbare Softwaretools verfügbar, um Daten nicht nur zu erfassen, sondern auch zu konsolidieren und zu veredeln. Nicht zuletzt herrscht in vielen Branchen aufgrund der globalen Konkurrenz ein intensiver Kosten- und Wettbewerbsdruck, der die Suche nach effizienten Produktionsprozessen und neuen Geschäftsmodellen antreibt.¹²⁰ So ermöglichen GPS-gesteuerte autonome Landmaschinen eine größere Präzision bei der Feldarbeit. Dies erlaubt eine Reduzierung des Maschinenparks und sorgt durch einen wesentlich effizienteren Einsatz von Saatgut, Dünger oder Herbiziden für enorme Ersparnisse bei nahezu allen Produktionsfaktoren (Treibstoff, Zeit etc.).¹²¹

Erhöhter Kosten- und Wettbewerbsdruck begünstigt auch die Suche nach neuen Geschäftsmodellen und Services. Einer Studie zufolge, bei der 60 M2M-Projekte in Deutschland, Österreich und der Schweiz betrachtet wurden, diente M2M bei drei Viertel der betrachteten Projekte als Treiber für neue Geschäftsmodelle und/ oder kostenpflichtige Dienstleistungen. Demnach resultierte aus 62 Prozent der betrachteten M2M-Projekte ein neuer Service und 13 Prozent der Projekte führten zu Pay-per-Use- oder Contracting-Modellen.¹²² Erhöhte Kundenbindung und Kundenzufriedenheit gehören ebenfalls zu wichtigen Ergebnissen der Projekte. Der Studie zufolge stärkten 30 Prozent der M2M-Projekte die Kundenbindung und 52 Prozent erhöhten die Kundenzufriedenheit.¹²³

¹¹⁸ Vgl. Stamm, Peter/ Büllingen, Franz (2014): Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitratiger Datenübertragung, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 391, Bad Honnef.

¹¹⁹ Nationaler IT-Gipfel (2014 a): Ergebnisbericht 2013 – Projektgruppe M2M Initiative Deutschland; Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels (AG2); Digitale Infrastrukturen als Enabler für innovative Anwendungen; 15.03.2014; S. 3.

¹²⁰ Krämer, Christian (2013): Umsetzung von M2M – Geschäftsmodelle im Rollout; Detecon Consulting; Eco-M2M-Kongress Köln; 21.11.2013; S. 5.

¹²¹ Sentker, Andreas (2014): Ernten via Satellit – Wie die moderne Landwirtschaft versucht, die Erträge zu steigern und gleichzeitig die Böden zu schonen; In: ZEIT ONLINE; 23.01.2014; URL: <http://www.zeit.de/2014/04/landwirtschaft-technisierung-nachhaltigkeit/komplettansicht> (Zugriff am: 02.02.2015).

¹²² Behrmann, Jan/ Stilke, Kai (2014): Der Nutzen von M2M-Lösungen für den Mittelstand; M2M Concepts; except Secure Solutions AG (Hg.); 06.11.2014; S. 18.

¹²³ Behrmann, Jan/ Stilke, Kai (2014); ebenda, S. 20.

Die Verwertung der erhobenen Daten erfolgt darüber hinaus bei etwa 18 Prozent der betrachteten Projekte bereits als eigenständiges Produkt. Als Beispiel werden Dienstleister aus der Landwirtschaft genannt, die regionale Daten z. B. zu Wasserhaushalt und Schädlingsbefall von Pflanzen auswerten und in einem Onlineportal kostenpflichtig anbieten.

In den für diese Studie geführten Expertengesprächen wurde deutlich, dass die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle als der eigentliche Treiber für M2M angesehen wird. Neue bzw. erweiterte Services und Dienstleistungen werden dabei künftig zentral sein. Von der Entwicklung mancher neuer Geschäftsmodelle können nach Ansicht einiger Experten allerdings auch Gefahren für die Marktposition etablierter Unternehmen ausgehen.

Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle werden Daten teilweise auch als das neue Öl der Wirtschaft bezeichnet. Derzeit werden jedoch nach Einschätzung von GE nur etwa drei Prozent der erhobenen Industriedaten ausgewertet.¹²⁴ In den Expertengesprächen wurde die Ansicht geäußert, dass unter anderem Unsicherheiten zu Eigentumsfragen und mangelndes Vertrauen in die Übertragungssicherheit Gründe für die derzeit breit zu beobachtende Zurückhaltung bei der Datennutzung sind.

Nach Einschätzung einiger der befragten Experten werden die Daten zudem häufig nicht bewusst gesammelt und stehen demnach auch nicht mit einem Geschäftsmodell in Verbindung. Es ist daher nach deren Auffassung von besonderer Wichtigkeit, zunächst auf breiter Front ein Verständnis zu fördern, dass es sich bei den anfallenden Daten um einen Rohstoff und ein betriebswirtschaftliches Gut handelt.

Dies setzt jedoch in Deutschland einen grundlegenden Kulturwandel voraus. Von der bisher vorherrschenden Kultur der Datensparsamkeit muss eine Wandlung hin zu einer Kultur der systematischen Generierung, Erfassung, Konsolidierung und Veredelung von Daten stattfinden. Der Begriff Big Data suggeriert, die Erzeugung, Sammlung und Auswertung möglichst großer Datenmengen reiche aus. Inzwischen macht sich jedoch bei vielen Unternehmen Ernüchterung breit, da es einen großen Aufwand und hohe Kompetenzen erfordert, aus großen Datenmengen nützliche Informationen zu ziehen. Es geht oft aber vielmehr um die Fähigkeit zur Auswertung vorhandener, dem Erkennen fehlender Daten und deren analytische Umsetzung in eine Unique Selling Proposition (USP).¹²⁵ Dafür reichen oft bereits gut gemachte Excel-Tabellen. Der entsprechende Wandel kann gefördert werden, indem vorbildhafte Geschäftsmodelle entwickelt werden, die zeigen, wie aus Daten ein geldwerter Nutzen generiert werden kann.

Eine entscheidende Voraussetzung für die Entstehung neuer Geschäftsmodelle, die auf den erhobenen Daten basieren, ist jedoch, dass alle Fragen geklärt werden, die sich

¹²⁴ Hägler, Max (2015): Gesammelt, aber nicht genutzt; In: Süddeutsche Zeitung; 19.02.2015.

¹²⁵ Vgl. Bloching, Björn/ Luck, Lars/ Ramge, Thomas (2015): Smart Data – Datenstrategien, die Kunden wirklich wollen und Unternehmen wirklich nützen, München.

auf die Eigentumsrechte bzw. die gemeinsame Nutzung von Daten (Data Sharing) der an einem Geschäftsmodell beteiligten Akteure beziehen.¹²⁶ Es ist sehr wahrscheinlich, dass die einvernehmliche Klärung dieser Frage in Kooperationsbeziehungen so grundlegend für Diffusion und Adoption von M2M bzw. Industrie 4.0-Lösungen ist, dass sie einen erheblichen Schub und eine deutliche Beschleunigung bewirken könnte.

Um M2M-Projekte erfolgreich umsetzen zu können, ist darüber hinaus Know-how in Bereichen wie Hardware, Softwareeinsatz, Maschinensteuerung, Datenanalyse und Tarifmodellen von Netzbetreibern notwendig. Diese Komplexität bewirkt, dass jedes M2M-Projekt im Kern zu einem Systemintegrationsprojekt wird. Die damit häufig verbundene Reduktion unternehmerischer Autonomie ist es, die vor allem mittelständische Unternehmen daran hindert, sich an M2M-Projekten zu beteiligen.¹²⁷

Implikationen und Anforderungen für die IT-Sicherheit

Zur Steigerung der Komplexität tragen auch die mit M2M verbundenen Fragen zur IT-Sicherheit und zum Datenschutz bei. Um die Komplexität hinsichtlich dieser Dimension zu reduzieren, schlägt die Projektgruppe M2M Internet der Dinge daher auch die Etablierung eines sogenannten M2M Computer Emergency Response Teams (CERT) vor. Auf einer M2M-CERT-Website sollten demnach Unternehmen freiwillig Meldungen machen können, wenn Cyber-Angriffe oder Schwachstellen registriert werden. Die Meldungen könnten dann anonymisiert der Öffentlichkeit als Warnung zur Verfügung gestellt werden.¹²⁸

Big Data, Smart Data – Data Mining und Data Sharing

Eine weitere Voraussetzung für den Einsatz von M2M ist die Fähigkeit, sich vom produzierenden Betrieb zu einem Service- und Datendienstleister zu wandeln. Hier wird insbesondere beim Maschinenbau noch Nachholbedarf gesehen.¹²⁹ So ist die Mehrheit der von eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. befragten Experten der Ansicht, dass bisher keine ausreichende Kenntnis bei Unternehmen in Deutschland darüber vorhanden ist, in welcher Form Services und Daten nutzbringend vermarktet werden können (vgl. Abbildung 3-7).¹³⁰

¹²⁶ Behrmann, Jan/ Stilke, Kai (2014); ebenda, S. 19.

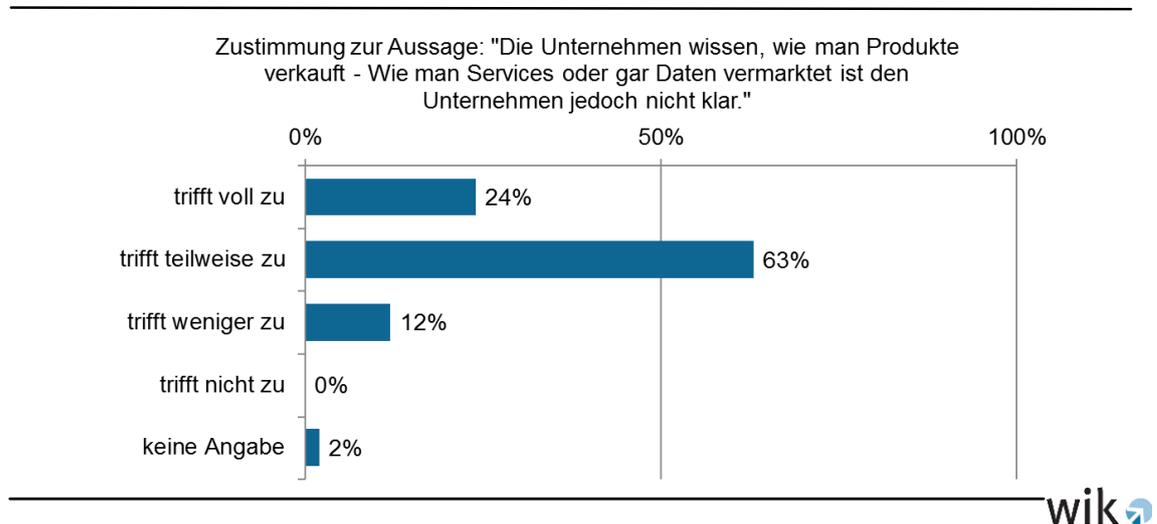
¹²⁷ ITK.NRW (2015): Studie sieht Nachholbedarf bei Wirtschaftlichkeit und Vermarktung von M2M-Kommunikation; 11.02.2015; URL: http://www.ikt.nrw.de/index.php?id=1337&tx_ttnews%5Btt_news%5D=4473&cHash=5a2c42d4483ed414f989460825a542c5 (Zugriff am: 20.02.2015).

¹²⁸ Nationaler IT-Gipfel (2014 b): M2M – Querschnittstechnologie für die vernetzte Gesellschaft; Arbeitsgruppe 2; Vernetzte Anwendungen und Plattformen für die digitale Gesellschaft; Projektgruppe M2M (Internet der Dinge); Oktober 2014; S. 12.

¹²⁹ eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2015 b): „Fangt einfach an!"; In: eco News 18.02.2015; URL: <https://www.eco.de/2015/news/fangt-einfach-an.html> (Zugriff am: 19.02.2015).

¹³⁰ eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2015 a): eco Report – M2M Future Trends 2015; URL: https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/eco-m2m-future-trends-2015_final.pdf (Zugriff am: 19.02.2015); S. 11.

Abbildung 3-7: Verfügbarkeit von Know-how zur Vermarktung von Services und Daten



Quelle: eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2015 a)

Branchen wie die Logistik und Landwirtschaft werden dagegen eher als Vorreiter eingeschätzt.¹³¹ 365FarmNet ist ein Beispiel für ein Geschäftsmodell, das auf der Auswertung der in den Prozessabläufen erhobenen Daten basiert. Die kostenpflichtige Plattform greift auf den Cloud-Dienst Software as a Service (SaaS) zurück. Zu den Partnern gehört unter anderem der Landmaschinenhersteller CLAAS. Auf der webbasierten Plattform können die Anwendungen der Partnerunternehmen integriert und die eingesetzten Maschinen verbunden werden. Dies ist ein Beispiel für die in einigen Expertengesprächen geäußerte Ansicht, dass Kooperationen zwischen den Unternehmen zur Realisierung neuer Geschäftsmodelle zukünftig immer wichtiger werden würden. Dies betrifft nicht nur Partnerschaften innerhalb einer Branche, sondern es gewinnen insbesondere auch branchenübergreifende Kooperationen an Bedeutung. Beispielhaft können etwa Partnerschaften zwischen Telekommunikationsausrüstern und Automobilherstellern genannt werden.

Zentral ist nach Ansicht einiger der für diese Studie befragten Experten, dass nicht nur die technische Entwicklung (Standards, Sensoren, Robotik, Software) im Rahmen dieser Kooperationen vorangetrieben wird, sondern auch die darauf aufsetzenden, neu zu entwickelnden Geschäftsmodelle.

Als weiteres Beispiel aus der Landwirtschaft können die Landmaschinen des Herstellers Deere & Company gelten, dessen Hauptmarke John Deere ist. Nach Aussage des ehemaligen CEOs, Bob Lane, seien die Produkte des Unternehmens keine Traktoren

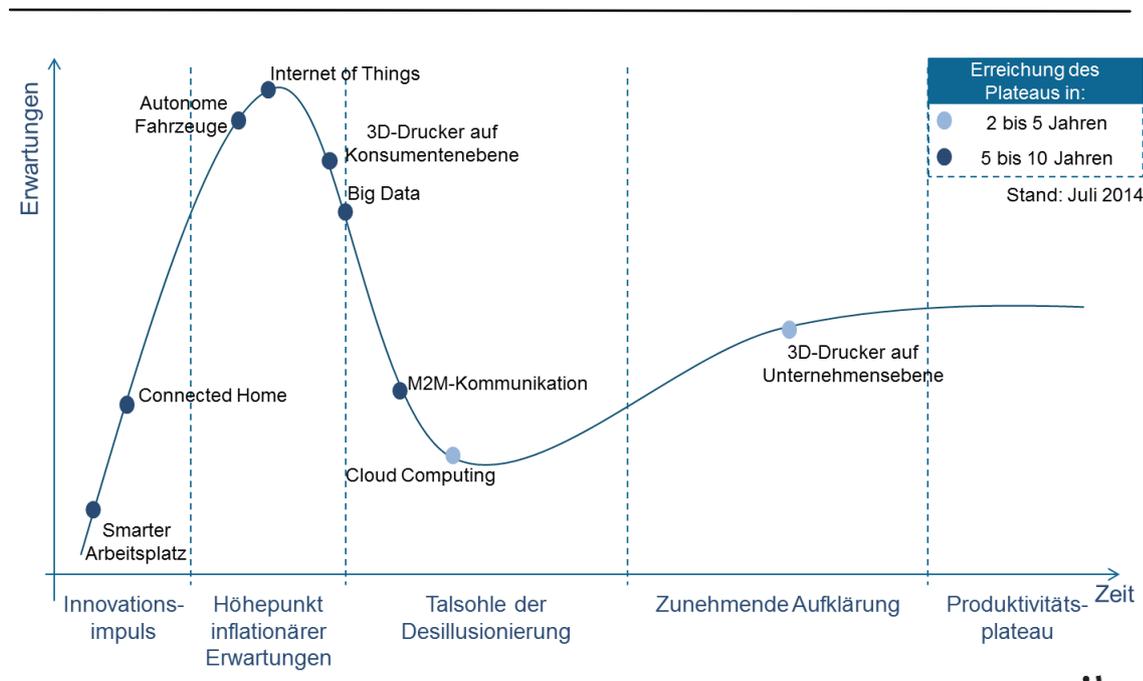
¹³¹ eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2015 b); ebenda.

mehr, sondern „hochentwickelte mobile Informationsfabriken“¹³². Die Maschinen verfügen beispielsweise über GPS, Mikrowellensensoren, RFID-Etiketten, kabellose Kommunikation und die Rechenleistung von etwa acht klassischen PCs.¹³³

Qualitative und quantitative Einschätzungen zur aktuellen Entwicklung

Die Einschätzungen über den qualitativen und quantitativen Entwicklungsgrad im Bereich M2M variieren. Zwei Beispiele für qualitative Einschätzungen sind der sogenannte Hype-Zyklus von Gartner und das Stufenmodell zum Reifegrad von M2M in Deutschland, das die Projektgruppe M2M Initiative Deutschland des Nationalen IT-Gipfels vorgelegt hat.

Abbildung 3-8: Hype-Zyklus nach Gartner



Quelle: WIK nach Gartner (2014)

Gartners Hype Cycle for Emerging Technologies wird in Abbildung 3-8 dargestellt und sieht M2M bereits in der Phase der Desillusionierung, nachdem die Spitze der inflatio-

¹³² o.V. (2007 a): Green revolutionary – Bob Lane’s management philosophy has helped an American firm to reap a record harvest; In: The Economist; 04.04.2007; URL: <http://www.economist.com/node/8956493> (Zugriff am: 26.02.2015).

¹³³ Schultz, Evan (2013): Run connected; In: Jörg Eberspächer/ Uwe Kubach (Hg.): M2M und das Internet der Dinge – Vom Hype zur praktischen Nutzung; Münchner Kreis – Übernationale Vereinigung für Kommunikationsforschung e.V.; S. 12-31; hier: S. 15.

nären Erwartungen bereits überschritten wurde.¹³⁴ Die Verortung von M2M im Rahmen des Hype-Zyklus wurde von den Experten, die für diese Studie konsultiert wurden, bestätigt. Teilweise wurde allerdings der sich abflachende Verlauf nicht als ein Tal der Desillusionierung, sondern als Eintritt der Konsolidierung eingestuft.

Zu der Einschätzung Gartners passt, dass nach Ansicht von 79 Prozent der von eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. befragten Branchenexperten, bislang wirtschaftlich tragfähige Geschäftsmodelle fehlen. Erst diese neuen Geschäftsmodelle können für die Mehrheit von Unternehmen den Einsatz von M2M attraktiv machen.¹³⁵ Gestützt wird dies auch durch die von einigen konsultierten Experten geäußerte Ansicht, dass sich die Erwartungen, man könne mit M2M einbrechende Umsätze im klassischen Telekommunikationsmarkt kompensieren, noch nicht erfüllt haben.

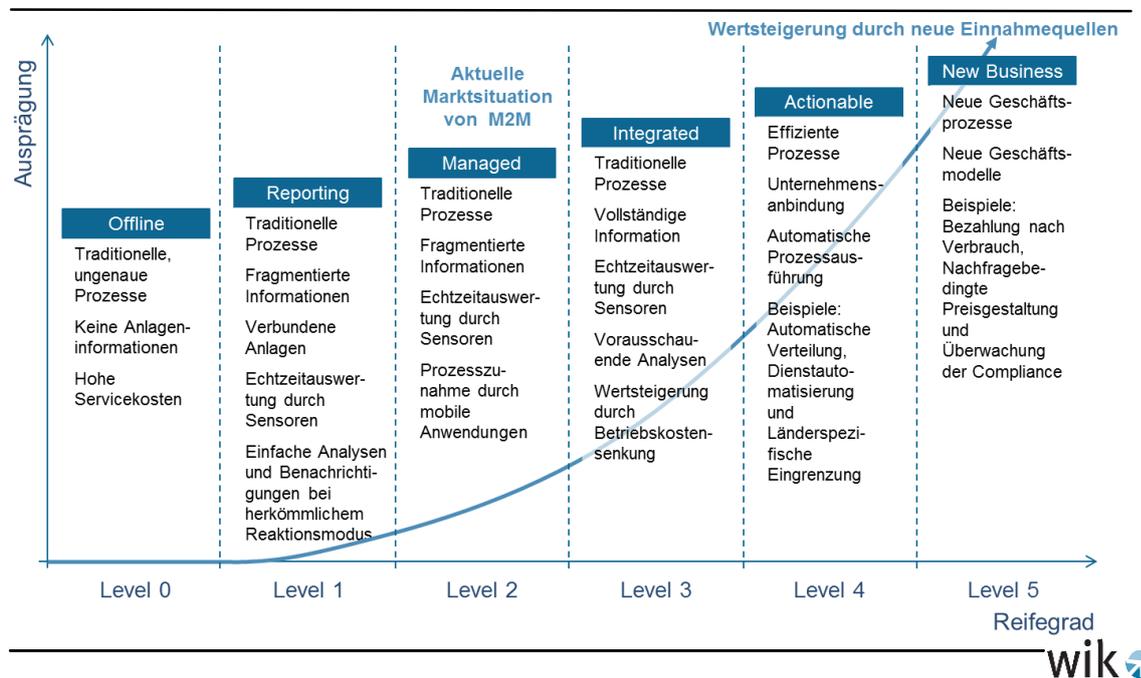
Die Projektgruppe M2M Initiative Deutschland identifiziert in ihrem Ergebnisbericht für das Jahr 2013 fünf verschiedene Stufen im Reifegrad von M2M-Ausprägungen (vgl. Abbildung 3-9). Die Stufen reichen vom sogenannten „Offline Level“, in dem keine Anlageninformationen verfügbar sind, bis hin zum „New Business Level“, welches von anspruchsvollen M2M-Lösungen geprägt ist. Mit jeder weiteren Stufe nimmt die Wertsteigerung durch neue Einnahmequellen zu. Dabei wird die aktuelle Marktsituation von M2M-Ausprägungen in Stufe zwei gesehen. Dieses „Managed Level“ wird von traditionellen Prozessen charakterisiert, in denen zwar eine Echtzeitauswertung von Anlagen möglich ist, jedoch mit fragmentierten Informationen. Gleichzeitig ist eine Prozesszunahme durch mobile Anwendungen zu beobachten.¹³⁶

134 Garter (2014): Gartner's Hype Cycle for Emerging Technologies Maps the Journey to Digital Business; Press Release; 11.08.2014; URL: <http://www.gartner.com/newsroom/id/2819918> (Zugriff am: 10.10.2014).

135 eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2015 a): eco Report – M2M Future Trends 2015; URL: https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/eco-m2m-future-trends-2015_final.pdf (Zugriff am: 19.02.2015); S. 9.

136 Nationaler IT-Gipfel (2014 a): Ergebnisbericht 2013 – Projektgruppe M2M Initiative Deutschland; Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels (AG2); Digitale Infrastrukturen als Enabler für innovative Anwendungen; 15.03.2014; S. 6.

Abbildung 3-9: Reifegrad von M2M-Ausprägungen und heutige Marktsituation



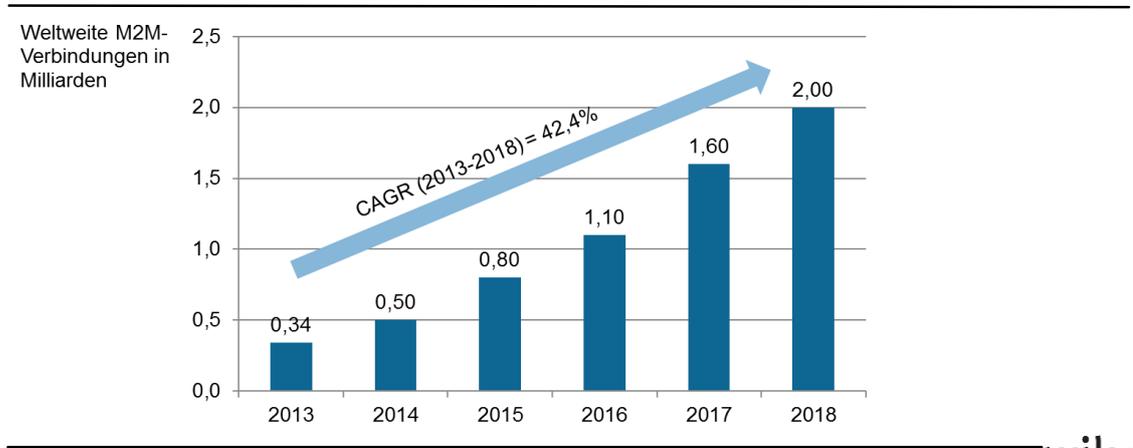
Quelle: WIK nach Nationaler IT-Gipfel (2014)

Neben den qualitativen Einschätzungen der Entwicklung von M2M gibt es auch quantitative Prognosen. Solche quantitativen Einschätzungen zur Marktentwicklung der M2M-Kommunikation haben unter anderem das ECC und Cisco vorgelegt.

Der Bericht des ECC geht in seiner Szenarioberechnung von einer jährlichen Wachstumsrate bei M2M-Applikationen von etwa 10 bis 30 Prozent aus.¹³⁷ Weltweit soll dagegen nach Schätzungen von Cisco die Zahl der M2M-Verbindungen bis 2018 auf etwa zwei Milliarden ansteigen, was einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum (Compound Annual Growth Rate, CAGR) zwischen 2013 und 2014 von rund 42 Prozent entspricht (vgl. Abbildung 3-10). Dabei werden Automation, Smart Metering, Security-Anwendungen sowie Heim- und Haushaltselektronik zu den M2M-Verbindungen gerechnet.¹³⁸

¹³⁷ Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) (2010): Numbering and Addressing in Machine-to-Machine (M2M) Communications; ECC Report 153; Luxemburg, November 2010; S. 9.
¹³⁸ Cisco (2014): Cisco Visual Networking Index – Global Mobile Data Traffic Forecast Update – White Paper; 5. Februar 2014; S. 11.

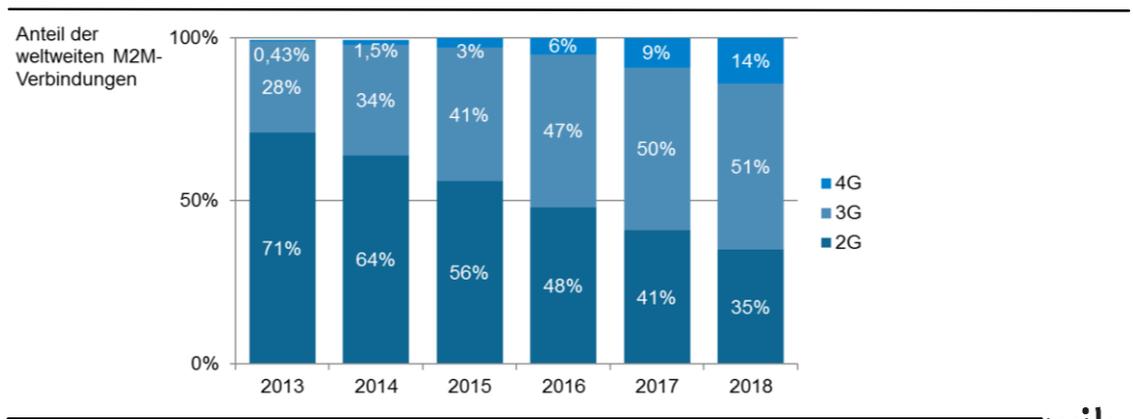
Abbildung 3-10: Entwicklung der M2M-Verbindungen weltweit zwischen 2013 und 2018 in Milliarden



Quelle: WIK nach Cisco (2014)

Dabei wird die Übertragungstechnik der M2M-Verbindungen nach Einschätzung von Cisco weltweit zunehmend von dem schmalbandigen Kommunikationsstandard 2G über 3G hin zu 4G wechseln, wie Abbildung 3-11 verdeutlicht. Während in 2013 noch rund 71 Prozent der M2M-Verbindungen 2G-Technologien nutzten, werden es 2018 nur noch 35 Prozent sein. Die Mehrheit von 51 Prozent wird dann 3G-Technologien nutzen.¹³⁹

Abbildung 3-11: Entwicklung der für M2M-Verbindungen genutzten Übertragungstechnik weltweit von 2013 bis 2018 in Prozent

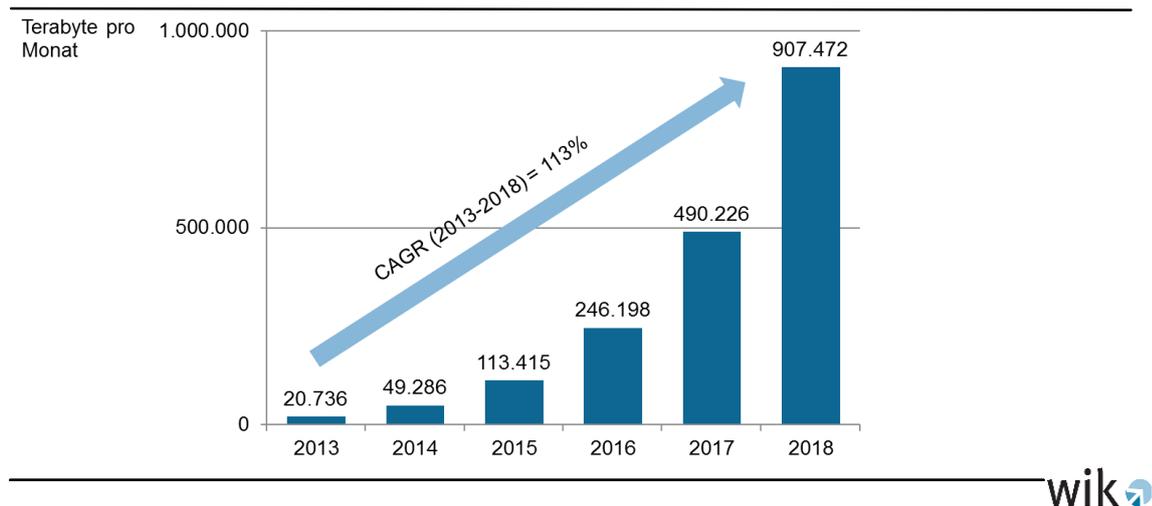


Quelle: WIK nach Cisco (2014)

¹³⁹ Cisco (2014): Cisco Visual Networking Index – Global Mobile Data Traffic Forecast Update – White Paper; 5. Februar 2014; S. 11.

Auch das weltweit durch M2M erzeugte Datenvolumen wird, wie in Abbildung 3-12 veranschaulicht, zwischen 2013 und 2018 stark ansteigen und nach Schätzungen ein durchschnittliches jährliches Wachstum von rund 113 Prozent erzielen.¹⁴⁰

Abbildung 3-12: Entwicklung des mobilen Datenverkehrs durch M2M-Anwendungen weltweit zwischen 2013 und 2018 in Terabyte pro Monat



Quelle: WIK nach Cisco (2014)

Das durchschnittliche jährliche Wachstum des mobilen Datenverkehrs zwischen 2013 und 2018 ist bei M2M-Modulen wesentlich höher als bei Smartphones, Tablets oder Laptops (vgl. Tabelle 3-1). Auch bezogen auf das durchschnittliche jährliche Wachstum der weltweiten Gerätezahl sind die M2M-Module bei einem Wert von 43 Prozent führend. Es ist aus heutiger Sicht noch nicht eindeutig, worauf dieser enorme Verkehrszuwachs an Daten basiert. Natürlich steigt mit der zunehmenden Ausdehnung von M2M auch das Verkehrswachstum an. Allerdings handelt es sich bisher um eher kleinere Verkehrsvolumina. Möglicherweise könnte die Erklärung darin liegen, dass die Übertragungshäufigkeit zunimmt und auch die Qualität der Daten sich verändert. Der Einsatz beispielsweise einer immer ausgefeilteren Sensorik oder die Übertragung auch von Videodaten könnten hierfür Beispiele sein.

¹⁴⁰ Cisco (2014): Cisco Visual Networking Index – Global Mobile Data Traffic Forecast Update – White Paper; 5. Februar 2014; S. 34.

Tabelle 3-1: Durchschnittliches jährliches Wachstum der Gerätezahl und des mobilen Datenverkehrs zwischen 2013 und 2018

| Durchschnittliches jährliches Wachstum der Gerätezahl und des mobilen Datenverkehrs | | |
|---|-----------------------------------|--|
| Gerätetyp | Zahl der Geräte, CAGR (2013-2018) | Mobiler Datenverkehr, CAGR (2013-2018) |
| Smartphone | 18% | 63% |
| Tablet | 41% | 87% |
| Laptop | 13% | 30% |
| M2M-Modul | 43% | 113% |

Quelle: WIK nach Cisco (2014)

Gemäß Tabelle 3-2 wird die Nutzung eines M2M-Moduls von 61 MB pro Monat in 2013 auf 451 MB pro Monat in 2018 ansteigen. Dies stellt natürlich im Vergleich mit der Nutzung von Smartphones ein eher bescheidenes Wachstum dar, deren Datenvolumen weltweit von 529 MB im Monat in 2013 auf 2.672 MB im Monat in 2018 ansteigen wird.¹⁴¹

Tabelle 3-2: Nutzung je Gerät in MB pro Monat in 2013 und 2018

| Nutzung je Gerät in MB pro Monat | | |
|----------------------------------|-------|-------|
| Gerätetyp | 2013 | 2018 |
| M2M-Modul | 61 | 451 |
| Wearable | 78 | 345 |
| Smartphone | 529 | 2.672 |
| 4G Smartphone | 1.984 | 5.371 |

Quelle: WIK nach Cisco (2014)

Zieht man weitere Indikatoren zur Beschreibung der künftigen Entwicklung heran, dann wird deutlich, dass in Deutschland die Zahl der für M2M-Datenkommunikation verwendeten SIM-Karten nach Angaben der BNetzA ebenfalls deutlich wachsen wird (vgl. Abbildung 3-13). Wurden 2010 rund 1,6 Millionen¹⁴² SIM-Karten für M2M verwendet, waren es Ende 2013 schon 4,3 Millionen¹⁴³ und Ende 2014 bereits rund 5,2 Millionen¹⁴⁴.

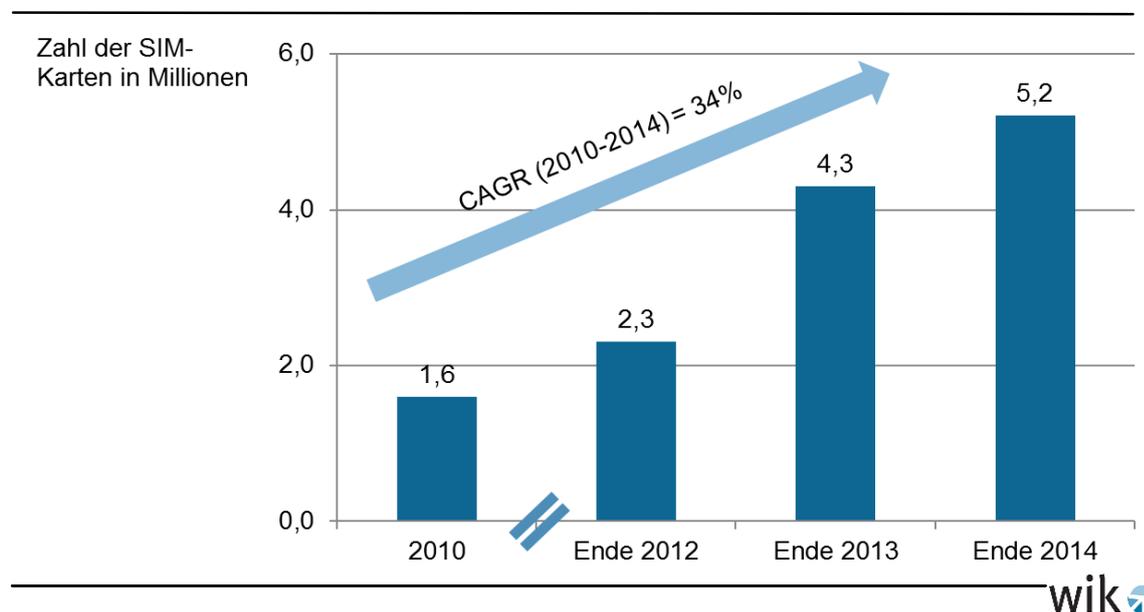
¹⁴¹ Cisco (2014): Cisco Visual Networking Index – Global Mobile Data Traffic Forecast Update – White Paper; 5. Februar 2014; S. 16.

¹⁴² Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2012): Jahresbericht 2011; 08. März 2012; S. 85.

¹⁴³ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 a): Jahresbericht 2013 – Starke Netze im Fokus. Verbraucherschutz im Blick; 31. März 2014; S. 76.

¹⁴⁴ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2015): Jahresbericht 2014; 01. April 2015; S. 78.

Abbildung 3-13: Entwicklung der für M2M-Datenkommunikation eingesetzten SIM-Karten in Deutschland



Quelle: WIK nach BNetzA (2012); BNetzA (2014 a); BNetzA (2015)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die M2M-Entwicklung sich derzeit in einer Phase der Konsolidierung mit vergleichsweise noch moderatem Wachstum befindet. Hinsichtlich der wachsenden Gerätezahlen als auch mit Blick auf das Datenvolumen ist künftig von einem erheblichen Wachstumspotenzial auszugehen.

Treiber dieses Wachstums sind die verbesserte IKT-Infrastruktur, günstiger werdende Hardware- und Softwarekomponenten sowie der Innovations- und Wettbewerbsdruck, der die Notwendigkeit, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln, unterstreicht.

3.3 Nummerierungskonzept und International Mobile Subscriber Identity (IMSI) als regulatorische Rahmenbedingungen

3.3.1 Nummerierungskonzept

Im Zusammenhang mit dem Marktwachstum von M2M werden im Nummerierungskonzept der BNetzA aus dem Jahr 2014 „komplexe regulatorische Fragestellungen“¹⁴⁵ gesehen. Diese Fragestellungen wurden in einigen Fällen mit Unternehmen, die in den Markt eintreten wollen, direkt und bilateral erörtert.¹⁴⁶ Zur grundsätzlicheren Klärung ist

¹⁴⁵ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 d): Nummerierungskonzept 2014; Referat 117; Grundsatzfragen der Nummerierung; Bonn, 10.12.2014; S. 21.

¹⁴⁶ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 d); ebenda, S. 21.

laut Nummerierungskonzept eine öffentliche Anhörung zu Fragen der Nummerierung und des Telekommunikationsrechts im Zusammenhang mit M2M geplant.¹⁴⁷

Zu den bereits angestoßenen Maßnahmen im Bereich M2M gehört eine Anhörung zur Thematik „Auswirkungen der Entwicklungen bei der Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation auf die Nummerierung“.¹⁴⁸ Diese wurde von der BNetzA 2011/ 2012 durchgeführt und stieß auf ein vergleichsweise geringes Interesse.¹⁴⁹ In den im Rahmen dieser Anhörung eingereichten Stellungnahmen wurde zudem die Ansicht vertreten, dass es keinen dringenden Bedarf einer Befassung mit der Verfügbarkeit der Nummernressourcen gibt.¹⁵⁰

Im Nummerierungskonzept wird folglich festgestellt, dass es derzeit keine Knappheit an Nummernbereichen für mobile Dienste gibt. Sollten allerdings mobile Dienste verstärkt für M2M eingesetzt werden, könnte es zu einer höheren Beanspruchung der Nummernbereiche kommen. Darüber gibt es jedoch bislang noch keine konkreteren Erkenntnisse.¹⁵¹

Dass M2M-Kommunikation in den nächsten Jahren insbesondere über mobile Dienste und unter Nutzung von E.164 Nummern erfolgen wird, prognostiziert auch das Electronic Communications Committee (ECC) der European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT).¹⁵² Einem Bericht des ECC zufolge wird bis 2020 mit einem Bedarf von rund 75 Millionen Nummern für M2M in Deutschland gerechnet. Langfristig wird der ECC zufolge zwar IPv6 als Nummernressource für M2M maßgeblich sein. Diese Situation wird jedoch, angesichts der derzeit noch moderaten Marktentwicklung, frühestens 2020 eintreten.¹⁵³

3.3.2 International Mobile Subscriber Identity (IMSI)

Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer werden für mobile drahtlose und drahtgebundene Dienste verwendet und dienen der eindeutigen Kennung der Teilnehmer. Diese Kennungen sind international gültig und werden in Blöcken von 10 Milliarden Nummern an die Betreiber öffentlicher Funknetze vergeben. Diese haben meist

¹⁴⁷ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 d); ebenda, S. 21.

¹⁴⁸ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2011 a): Mitteilung Nr. 139/2011 – Anhörung zur Thematik „Auswirkungen der Entwicklungen bei der Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation auf die Nummerierung“; In: Amtsblatt der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen; Amtsblatt 5/2011; S. 893.

¹⁴⁹ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 d); ebenda, S. 10 und S. 20.

¹⁵⁰ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 d); ebenda, S. 10f.

¹⁵¹ Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 d); ebenda, S. 52.

¹⁵² Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) (2010): Numbering and Addressing in Machine-to-Machine (M2M) Communications; ECC Report 153; Luxemburg, November 2010; S. 2.

¹⁵³ Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) (2010); ebenda, S. 8.

eine Roamingvereinbarung mit anderen Betreibern öffentlicher Funknetze, welche die Nummern für Anwendungen oder Testzwecke benötigen.

Antragsberechtigt sind aber auch Hersteller etwa von Endgeräten, die einen Block mit IMSI-Nummern z. B. u. a. für Testzwecke einsetzen.¹⁵⁴ IMSI-Nummern bestehen aus 15 Stellen, die sich in eine dreistellige mobile Landeskenzahl (Mobile Country Code, MCC), eine zweistellige mobile Netzkennung (Mobile Network Code, MNC) und eine zehnstellige Identifikationsnummer des mobilen Teilnehmers (Mobile Subscriber Identification Number, MSIN) unterteilen lassen.¹⁵⁵ Jede SIM-Karte verfügt über eine eindeutige IMSI-Nummer, die durch den Netzbetreiber vergeben wird und nicht geändert werden kann.¹⁵⁶

Im August 2014 leitete die BNetzA eine „Marktbefragung zu einem zukünftigen Nummernplan für Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer (International Mobile Subscriber Identity, IMSI)“ ein.¹⁵⁷

Die Marktbefragung der BNetzA widmet sich u. a. Aspekten wie der Antragsberechtigung, umprogrammierbaren SIM-Karten und der M2M-Kommunikation. Hinsichtlich der Antragsberechtigung wird etwa die Frage aufgeworfen, ob neben den bisherigen Antragsberechtigten auch andere Marktteilnehmer wie z. B. M2M-Diensteanbieter, die Möglichkeit haben sollen, IMSI-Blöcke zu erhalten.¹⁵⁸ Darüber hinaus wird um die Beurteilung der Programmierung von SIM-Karten „over the air“ und der Initiativen von ETSI und GSMA zur „embedded SIM“ gebeten. Bezogen auf M2M-Kommunikation werden Fragen nach dem zukünftigen Bedarf an nationalen IMSI und einer Aufnahme von Regelungen speziell für M2M im Nummernplan aufgeworfen.¹⁵⁹

Die Frist zur Einreichung von Stellungnahmen zu dieser Marktbefragung wurde vom 01.10.2014 auf den 03.11.2014 verlängert.¹⁶⁰ Eine Zusammenfassung der Stellungnahmen lag zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie noch nicht vor.

154 Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2011 b): Regeln für die Zuteilung von Internationalen Kennungen für Mobile Teilnehmer; Veröffentlicht im Amtsblatt der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post Nr. 23/2000 v. 06.12.2000, geändert mit VfG 11/2002, Amtsblatt 7/2002 und mit VfG 55/2003, Amtsblatt 24/2003; Stand: 08.07.2011; S. 2f.

155 Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2011 b); ebenda, S. 2.

156 Lucidi, Stefano/ Ulrich Stumpf (2014): Implikationen der Internationalisierung von Telekommunikationsnetzen und Diensten für die Nummernverwaltung; WIK Diskussionsbeitrag Nr. 393; Dezember 2014; Bad Honnef; S. 12f.

157 Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 b): Mitteilung Nr. 819/2014 – Marktbefragung zu einem zukünftigen Nummernplan für Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer (International Mobile Subscriber Identity, IMSI); In: Amtsblatt der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen; Amtsblatt 15/2014; S. 2342-2344.

158 Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 b); ebenda, S. 2342-2344; S. 2342.

159 Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 b); ebenda, S. 2342-2344; S. 2344.

160 Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 c): Mitteilung Nr. 942/2014 – Fristverlängerung für Stellungnahmen zur Marktbefragung zu einem zu-

Zwischenfazit M2M

M2M als die automatisierte Kommunikation zwischen Maschinen untereinander oder mit einer zentralen Leitstelle ist eine Basis für die vierte industrielle Revolution.

Soll die Einführung von Industrie 4.0 gelingen, wird M2M zukünftig an Bedeutung gewinnen müssen. Derzeit hat die Technologie jedoch mit einer Desillusionierung bei Teilen der Anwender zu kämpfen, da es kein ausreichendes Vertrauen in die wirtschaftliche Tragfähigkeit der auf M2M basierenden Geschäftsmodelle gibt. Dagegen zeigen Beispiele aus Branchen wie der Landwirtschaft, dass aus der Auswertung der im Rahmen von M2M erhobenen Daten neue Services entwickelt werden können.

Physische Gegenstände wie Automaten werden für M2M mit einem Kommunikationsmodul ausgestattet, wobei das Kommunikationsmodul entweder eine SIM-Karte, eine WLAN-Anbindung oder eine Ethernet-Verbindung besitzt. Ist eine SIM-Karte im Kommunikationsmodul verbaut und werden höhere Datenmengen versendet, erfolgt die Kommunikation über IP-Adressen.

Wie bereits erwähnt, rechnet das ECC damit, dass IPv6 langfristig eine maßgebliche Nummernressource für M2M-Kommunikation darstellen wird. Doch warum ist hierfür IPv6 notwendig und wie weit ist die Migration von IPv4 zu IPv6 vorangeschritten? Diese Fragen werden im folgenden Kapitel behandelt.

4 IPv6 als Voraussetzung für M2M

4.1 Entwicklung von IPv4 zu IPv6

Warum IPv6?

Weltweit werden nach einer Schätzung von Deloitte in 2015 rund eine Milliarde vernetzter Geräte verkauft.¹⁶¹ Das durchschnittliche Smart Home soll zwischen 50 und 100 vernetzte Geräte aufweisen.¹⁶²

Die Möglichkeit mit einem Gerät weltweit direkt kommunizieren zu können, setzt voraus, dass es eine eigene, im globalen Netz eindeutig identifizierbare (öffentliche) IP-Adresse besitzt. Das ist insbesondere für solche Geräte relevant, die keinen festen Standort haben, etwa Landmaschinen oder PKW.

Da der Vorrat an IPv4-Adressen jedoch nahezu erschöpft ist, ist IPv6 notwendig geworden, um jedes Gerät mit einer eigenen Adresse ausstatten zu können. Nicht nur die steigende Zahl von internetfähigen Geräten lässt den Bedarf an IP-Nummern ständig steigen, sondern auch das veränderte Nutzungsverhalten im Internet. Nutzer gehen häufiger und kürzer ins Internet, beispielsweise bedingt durch die steigende Nutzung sozialer Medien. Trotz der Verwendung dynamischer, d. h. vorübergehend vergebener IP-Adressen, kann die beschränkte Zahl der öffentlichen IPv4-Adressen mit diesen Veränderungen nicht Schritt halten.¹⁶³

Der Standard IPv4 wurde 1983 eingeführt und löste das zuvor verwendete ARPANET der Advanced Research Project Agency (ARPA) des Verteidigungsministeriums der USA ab. ARPANET basierte auf dem Network Control Protocol (NCP). Trotz der Ankündigung einer Ablösung des ARPANET durch IPv4 zum 1. Januar 1983 wechselten nur wenige Nutzer zum neuen Standard. Die Defense Communication Agency (DCA), die ARPANET zu dieser Zeit verwaltete, schaltete daher den alten Standard 1982 zweimal ab. Während der Abschaltung hatten Nutzer nur noch über IPv4-Hosts einen Zugang zum Internet. Diese Maßnahmen waren möglich, da es mit der DCA nur einen Akteur gab, der darüber entschied. Dieser verfügte über genügend Einfluss, um die Migration zu IPv4 durchzusetzen.¹⁶⁴

¹⁶¹ Lee, Paul/ Steward, Duncan / Calugar-Pop, Cornelia (2015): Technology, Media & Telecommunications (TMT) Predictions 2015; Deloitte; S. 6.

¹⁶² Bauer, Harald/ Pate, Mark I/ Veira, Jan (2014): The Internet of Things - Sizing up the opportunity; McKinsey & Company; Dezember 2014; S. 5.

¹⁶³ Ericsson AB (2013 b): IPv6 – Meeting the Challenge of Connecting Everyone and Everything - Ericsson White Paper; Februar 2013; S. 2 und 3.

¹⁶⁴ OECD (2014 b): The Economics of Transition to Internet Protocol version 6 (IPv6); OECD Digital Economy Papers; No. 244; OECD Publishing; URL: <http://dx.doi.org/10.1787/5jxt46d07bhc-en> (Zugriff am: 07.11.2014); S. 14.

Das Internetprotokoll IPv4 basiert auf RFC 791. Die Adressen bestehen aus 32 Bit.¹⁶⁵ Theoretisch erlaubt dieser Standard die Generierung von etwa 4,3 Milliarden Adressen.¹⁶⁶ Auf das vorhersehbare Ende der Verfügbarkeit von IPv4-Adressen hat die American Registry for Internet Numbers (ARIN) bereits 2007 hingewiesen.¹⁶⁷ Die Internet Assigned Numbers Authority (IANA) verkündete im Februar 2011, dass nun die letzten IPv4-Nummernräume an die Regional Internet Registries (RIR) vergeben wurden und der globale Vorrat damit erschöpft sei.¹⁶⁸

Im Folgenden verringerten sich die an die RIRs vergebenen Vorräte ebenfalls. Zunächst waren im April 2011 die IPv4-Nummern des Asia Pacific Network Information Centre (APNIC) vergeben, im September 2012 folgte das Réseaux IP Européens Network Coordination Centre (RIPE NCC) und im Juni 2014 gab schließlich die Latin American and Caribbean Internet Addresses Registry (LACNIC) bekannt, dass ihr Pool an IPv4-Adressen erschöpft sei.¹⁶⁹ Schätzungen von November 2014 zufolge soll der Vorrat der American Registry for Internet Numbers (ARIN) im März 2015 und der Pool des African Network Information Center (AFRINIC) im Juli 2019 erschöpft sein.¹⁷⁰

Der Standard IPv6 ist bereits seit 1998 verfügbar, da ein frühzeitiger und allmählicher Übergang von IPv4 zu IPv6 absehbar war.¹⁷¹ Im Juli 1999 gab die IANA bekannt, dass die ersten IPv6-Adressräume an die RIRs vergeben wurden und mit der weltweiten Einführung von IPv6 nun stetig fortgefahren werde.¹⁷² Die tatsächliche Umstellung verlief in der Praxis jedoch weitaus schleppender.¹⁷³ Auf den aktuellen Stand der Umstellung auf IPv6 wird in Abschnitt 4.4 genauer eingegangen.

Format von IPv6-Adressen

Die Motivation hinter der Entwicklung von IPv6 war es, den Adressraum gegenüber IPv4 zu erweitern und künftigen Knappheiten bei IP-Adressen zu begegnen. Um dies zu ermöglichen, wurde das Format der IP-Adressen angepasst. In Abbildung 4-1 werden

165 OECD (2014 b): The Economics of Transition to Internet Protocol version 6 (IPv6); OECD Digital Economy Papers; No. 244; OECD Publishing; URL: <http://dx.doi.org/10.1787/5jxt46d07bhc-en> (Zugriff am: 07.11.2014); S. 7.

166 Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph / Sack, Harald (2011): Einführung von IPv6 in Unternehmensnetzen – Ein Leitfaden; Technische Berichte Nr. 52 des Hasso-Plattner-Instituts für Softwaresystemtechnik an der Universität Potsdam; Universitätsverlag Potsdam; 2011; S. 10.

167 o.V. (2007 b): Gesetzliche Regulierung für Migration zu IPv6 angeregt; In: heise Netze; 17.10.2007; URL: <http://www.heise.de/netze/meldung/Gesetzliche-Regulierung-fuer-Migration-zu-IPv6-angeregt-186269.html> (Zugriff am: 10.09.2014).

168 Boeddinghaus, Wilhelm/ Christoph Meinel/ Harald Sack (2011); ebenda, 2011; S. 10.

169 OECD (2014 b); ebenda, S. 7.

170 Huston, Geoff (o.J.): IPv4 Address Report; This report generated at 07-Nov-2014 08:08 UTC; URL: <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/index.html> (Zugriff am: 07.11.2014).

171 OECD (2014 b); ebenda, S. 4 und Boeddinghaus, Wilhelm/ Christoph Meinel/ Harald Sack (2011): Einführung von IPv6 in Unternehmensnetzen – Ein Leitfaden; Technische Berichte Nr. 52 des Hasso-Plattner-Instituts für Softwaresystemtechnik an der Universität Potsdam; Universitätsverlag Potsdam; 2011; S. 9.

172 Internet Assigned Numbers Authority (IANA) (1999): Delegation of IPv6 Address Space, 14 July 1999; URL: <https://www.iana.org/reports/1999/ipv6-announcement.html> (Zugriff am: 25.11.2014).

173 OECD (2014 b); ebenda, S. 38.

IPv4 und IPv6 bezogen auf das Adressformat, die Länge und den theoretisch verfügbaren Adressraum verglichen.

Im Gegensatz zu IPv4, bei dem eine Adresse, wie bereits erwähnt, aus einem 32 Bit-Code besteht, setzt sich eine IPv6-Adresse aus 128 Bit zusammen.¹⁷⁴ Daraus ergibt sich ein theoretischer Adressraum von etwa 2^{128} oder 340 Sextillionen IP-Adressen.¹⁷⁵ IPv6-Adressen haben nicht nur eine andere Länge als IPv4-Adressen, sondern man verwendet auch eine andere Schreibweise. Bei IPv4-Adressen handelt es sich um eine dezimale Schreibweise. Im dezimalen Zahlensystem wird als Basis die Zahl zehn verwendet. Die 32 Bit große IPv4-Adresse ist zudem in Blöcke von jeweils acht Bit unterteilt und die Blöcke werden durch Punkte getrennt.¹⁷⁶

Abbildung 4-1: Vergleich des Formats bei IPv4- und IPv6-Adressen

| | Beispielhafter Aufbau einer Adresse | Länge | Potenzieller Adressraum |
|------|--|---------|-------------------------|
| IPv4 | 129.34.139.30 Dezimale Schreibweise | 32 Bit | 4,3 Milliarden |
| IPv6 | 2001 : 000A : 000B : 000C : 0000 : 0000 : ABCD : 0001 Netzanteil (Subnet Prefix) Hostanteil (Interface ID) 64 Bit 64 Bit Für alle User im 48 Bit MAC-Adresse wird Netzwerksegment gleich in Hostanteil hineinkodiert Hexadezimale Schreibweise | 128 Bit | 340 Sextillionen |

Quelle: WIK nach Boeddinghaus, Wilhelm/ Christoph Meinel/ Harald Sack (2011) und Siemens AG (2013)

Für IPv6-Adressen verwendet man stattdessen die hexadezimale Schreibweise. Im hexadezimalen System wird die Basis 16 benutzt. Die einzelnen Blöcke einer IPv6-Adresse werden durch Doppelpunkte voneinander abgegrenzt und sind jeweils 16 Bit lang.¹⁷⁷ Die insgesamt acht Blöcke können in zwei jeweils gleich große Teile gegliedert werden. Die ersten vier Blöcke bilden den Netzanteil, der für alle Nutzer im Netzwerksegment identisch ist. Die letzten vier Blöcke bilden dagegen den Hostanteil, der die 48-Bit-lange MAC-Adresse enthält. Jeder dieser beiden Teile umfasst 64 Bit.¹⁷⁸

¹⁷⁴ Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph / Sack, Harald (2011); ebenda, S. 43.

¹⁷⁵ Siemens AG (2013): IPv6 in der Automatisierungstechnik – White Paper V1.0; Januar 2013; S. 4.

¹⁷⁶ Siemens AG (2013); ebenda, S. 4.

¹⁷⁷ Hagen, Silvia (2009): IPv6 – Grundlagen – Funktionalität – Integration; Sunny Edition; 2. Auflage; Dezember 2009; Maur, Schweiz; S. 46f.

¹⁷⁸ Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph / Sack, Harald (2011); ebenda, S. 43f.

Während bei IPv4-Adressen der Netzanteil als Netzmaske bezeichnet wird, spricht man bei IPv6 vom Präfix.¹⁷⁹ Die Netzmaske bzw. der Präfix hat häufig gemäß Classless Inter-Domain Routing (CIDR) die Kurzschreibweise „/“ und gibt die Länge des Netzanteils an.¹⁸⁰

Die Größe von IP-Adressblöcken, die durch die Registraturen verteilt werden, wird ebenfalls durch den Präfix angegeben. Je größer die Zahl, die nach dem Schrägstrich „/“ folgt, desto kleiner der Adressblock.¹⁸¹ Die unterschiedliche Struktur von IPv4 und IPv6 wirkt sich auch auf die Adressblöcke aus. Zwar basiert die Notation des Schrägstrichs bei IPv4 und IPv6 auf den gleichen Prinzipien, doch die Blöcke derselben Bezeichnung haben bei IPv4 und IPv6 unterschiedliche Größen. Ein Adressblock der Größe /32 enthält bei IPv6 deutlich mehr Adressen als ein vergleichbarer Block bei IPv4.¹⁸²

Bei IPv4 umfasst beispielsweise ein Block von /32 nur eine IPv4-Adresse, ein Block von /24 bedeutet 256 IPv4-Adressen und ein Block von /8 umfasst 16 Millionen IPv4-Adressen.¹⁸³ Bei IPv6 enthält dagegen ein Block von /128 lediglich eine IP-Adresse, ein Block von /64 umfasst ein IPv6 Subnetz, bzw. 2^{64} IPv6-Adressen (etwa 18 Trillionen Adressen). Ein Block der Größe /32 entspricht über vier Milliarden Subnetzen. Beim IPv6-Adressschema wird auf Subnetze verwiesen, um auszudrücken, wie viele IPv6-Adressen in einem Block enthalten sind. Grundsätzlich sind Subnetze Teile von Unternehmensnetzwerken, die alle Maschinen in einer bestimmten geografischen Region, einem Gebäude oder einem LAN umfassen.¹⁸⁴

Bei der im Hostanteil einer IPv6-Adresse enthaltenen MAC-Adresse handelt es sich um die eindeutige Kennung, die jede Netzwerkkarte besitzt. Mit der Karte wird ein netzwerkfähiges Gerät an das Netzwerk angeschlossen. Eine wichtige Neuerung, die IPv6 mit sich bringt, ist, dass diese weltweit einmalige Kennung Teil der IP-Adresse wird. In Abbildung 4-2 wird die automatische Adressvergabe bei IPv6 veranschaulicht.¹⁸⁵ In der automatischen Adressvergabe findet sich ein wichtiger Unterschied zwischen IPv4 und IPv6. Unter IPv6 kann jeder IP-Knoten, etwa ein Router, durch Autokonfiguration eine

179 Oracle (2010): Systemverwaltungshandbuch – IP Services; Erstellen der Netzwerkmaste für IPv4-Adressen; URL: <https://docs.oracle.com/cd/E19957-01/820-2980/ipconfig-32/index.html> (Zugriff am: 25.11.2014) und Hagen, Silvia (2009): IPv6 – Grundlagen – Funktionalität – Integration; Sunny Edition; 2. Auflage; Dezember 2009; Maur, Schweiz; S. 47f.

180 Vgl. IPv6-Portal.de (o.J.): IPv6 Subnet Tabelle; URL: <http://www.ipv6-portal.de/tools/subnet-tabelle.html> (Zugriff am: 25.11.2014) und Oracle (2010): Systemverwaltungshandbuch – IP Services; Präfixe in IPv6; URL: <https://docs.oracle.com/cd/E19957-01/820-2980/ipv6-overview-170/index.html> (Zugriff am: 25.11.2014).

181 RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2014): Understanding IP Addressing; 4. Januar 2011, Last updated 22. April 2014; URL: <http://www.ripe.net/internet-coordination/press-centre/understanding-ip-addressing> (Zugriff am: 19.01.2015).

182 RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2014): FAQ – Ipv6 - Does "slash notation" differ between IPv6 and IPv4? Last updated: 24. April 2014; URL: <http://www.ripe.net/lir-services/resource-management/faq/faq-ipv6> (Zugriff am: 19.01.2015).

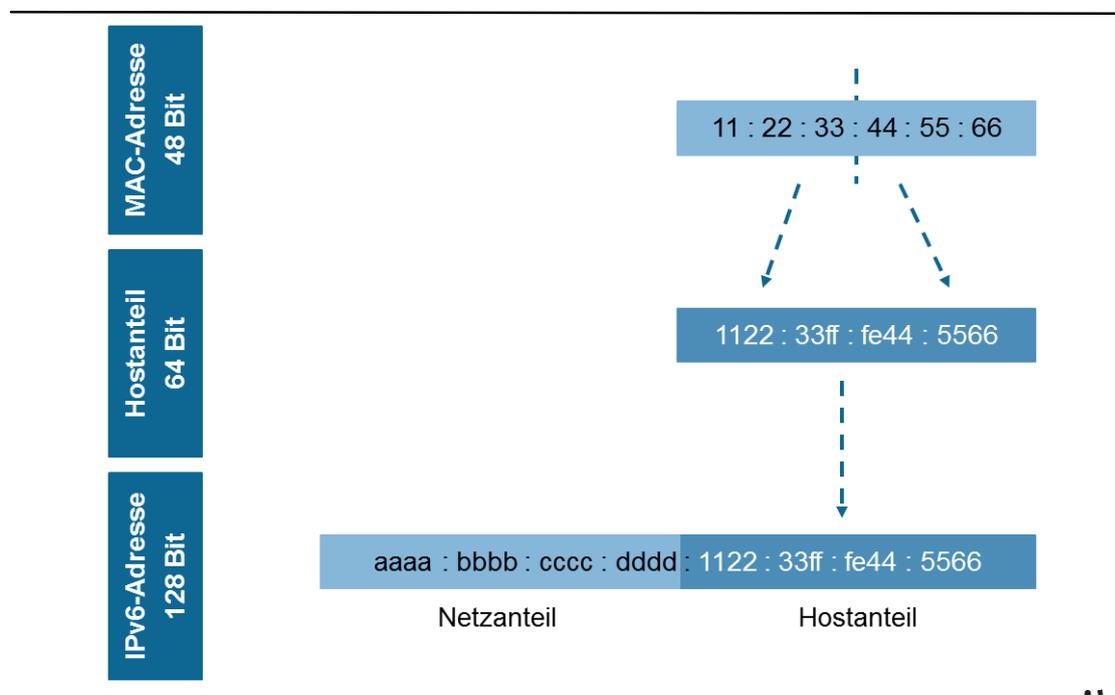
183 RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (o.J.): IPv4 CIDR Chart; URL: <http://www.ripe.net/lir-services/training/material/LIR-Training-Course/LIR-Training-Handbook-Appendices/CIDR-Chart-IPv4.pdf> (Zugriff am: 19.01.2015).

184 RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2014); ebenda.

185 Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph / Sack, Harald (2011); ebenda, S. 44.

Adresse etwa für Geräte erzeugen, die an ein dahinter liegendes Netz eingebunden sind. Ziel ist es, auf diese Weise den administrativen Aufwand zu reduzieren.¹⁸⁶

Abbildung 4-2: Integration der MAC-Adresse in die IPv6-Adresse



Quelle: Boeddinghaus, Wilhelm/ Meine, Christoph / Sack, Harald (2011)

Eigenschaften von IPv6-Adressen

Wie Abbildung 4-2 verdeutlicht, kann die MAC-Adresse leicht aus der IPv6-Adresse herausgelesen werden. Die IPv6 Privacy Extensions sollen verhindern, dass das Gerät eines Nutzers anhand der IP-Adresse erkannt werden kann. Dazu wird der Hostanteil der IPv6-Adresse zufällig generiert und geprüft, ob diese Adresse schon vergeben ist, um Doppelungen zu verhindern.

Bei dieser Methode muss jedoch abgewogen werden, dass die Anonymität im weltweiten Netz das Sicherheitsrisiko im Unternehmensnetz erhöhen kann. Während die Anonymität im globalen Internet gewünscht sein kann, muss dies für das unternehmensinterne Netz nicht zwingend der Fall sein. Eine feste, d. h. statische IP-Adresse ist notwendig, wenn im Unternehmensnetzwerk die IP-Adresse ausschlaggebendes Kriterium ist, um einem Nutzer den dedizierten Zugriff auf bestimmte Ressourcen zu erlauben.

Unter der durch die Privacy Extensions ständig wechselnden IP-Adresse wäre diese Form der Zugangsprüfung nicht mehr möglich. Alternativ müssten hier Zertifikate oder

¹⁸⁶ Siemens AG (2013); ebenda, S. 5.

Passworte genutzt werden. Denkbar wäre auch, dass im unternehmensinternen Netz und im globalen Internet unterschiedliche IPv6-Adressen verwendet werden. Unternehmensintern kann theoretisch eine statische IPv6-Adresse und im Internet eine dynamische Adresse verwendet werden.¹⁸⁷ Das Beispiel der Privacy Extensions zeigt, dass sich durch die Umstellung auf IPv6 wichtige Implikationen für den Datenschutz und die IT-Sicherheit ergeben.

Übergangsverfahren

Die Migration von IPv4 zu IPv6 sollte schrittweise erfolgen. Ein Wechsel wie von ARPANET zu IPv4 ist nicht möglich, da es nicht den einen Akteur gibt, der einen Wechsel durchführen bzw. verordnen kann. Die Akteure im Markt haben sich daher auf einen länger dauernden Umstellungsprozess eingerichtet und dafür technische und organisatorische Vorkehrungen getroffen. Um in der Zeit des Übergangs die Kompatibilität zwischen IPv4 zu IPv6 zu gewährleisten, sind im Wesentlichen drei Möglichkeiten entwickelt worden:

- Dual Stack,
- Tunneling und
- Translation.¹⁸⁸

Dual Stack

Beim Dual Stack-Verfahren wird ein Parallelbetrieb von IPv4 und IPv6 ermöglicht. Ein Gerät agiert hier wie ein IPv6-only-Knoten, wenn es mit einem anderen Gerät eines IPv6-Netzwerks kommuniziert und wie ein IPv4-only-Knoten, wenn es mit einem IPv4-Netzwerkgerät verbunden ist.¹⁸⁹ Dual Stack wird dabei als ein Beispiel von Multihoming gesehen, da Service Provider und Inhalteanbieter hier sowohl IPv6-Netzwerke als auch IPv4-Netzwerke bedienen können.¹⁹⁰

Ein Nachteil des Dual-Stack-Verfahrens besteht darin, dass alle Geräte sowohl eine IPv6- als auch eine IPv4-Adresse benötigen. Daher reduziert dieses Verfahren die Nachfrage nach IPv4-Adressen nicht, sondern trägt selbst weiterhin zum Problem der Knappheit bei.¹⁹¹ Weiterhin erhöht eine Dual-Stack-Architektur die Komplexität hinsichtlich der Verwaltung des Netzwerks, da zwei Protokolle parallel gehandhabt werden

¹⁸⁷ Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph / Sack, Harald (2011); ebenda, S. 44f.

¹⁸⁸ OECD (2014 b): The Economics of Transition to Internet Protocol version 6 (IPv6); OECD Digital Economy Papers; No. 244; OECD Publishing; URL: <http://dx.doi.org/10.1787/5jxt46d07bhc-en> (Zugriff am: 07.11.2014); S. 15f.

¹⁸⁹ InterConnect Communications (2012): Ofcom – MC/111 Internet Protocol Version 6 Deployment Study; Final Report; S. 14.

¹⁹⁰ Hagen, Silvia (2009); S. 53.

¹⁹¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2011 b): Strategiepapier zur Förderung der Einführung von IPv6 – AG2 Sonderthemenengruppe "Einführung von IPv6"; Nationaler IT-Gipfel 2011, München; November 2011; S. 10.

müssen.¹⁹² Aufgrund des administrativen Aufwands wird dieses Verfahren meist nur in Teilen des Netzwerks umgesetzt. Dabei handelt es sich häufig um die Teile des Netzwerks, die Schnittstellen zu anderen Netzwerken besitzen. Hintergrund ist, dass es an diesen Stellen erforderlich sein kann, sowohl über IPv4 als auch über IPv6 kommunizieren zu können.¹⁹³

Tunneling

Tunneling und Translation sind dagegen Verfahren, die für den graduellen Übergang zu IPv6 genutzt werden können und deren Verwendung immer weiter abnehmen wird, je weiter sich IPv6 durchsetzt.¹⁹⁴

Tunneling bedeutet, dass ein IPv6-Paket so verpackt wird, dass es durch ein IPv4-Netzwerk verschickt werden kann. Umgekehrt gilt das genauso: Ein IPv4-Paket wird entsprechend so verpackt, dass es über ein IPv6-Netzwerk versandt werden kann. Mit Hilfe des Tunnelings können IPv6-Inseln verbunden werden, die durch IPv4-Netzwerke voneinander getrennt sind.¹⁹⁵ So kann in einem Unternehmensnetzwerk beispielsweise IPv6 über verschiedene und räumlich getrennte Bereiche verwendet werden.

Ein besonderes Verfahren, das sich unter Tunneling herausgebildet hat, ist das sogenannte 6to4. Hier können zwischen voneinander getrennten IPv6-Netzwerken Pakete austauschen werden, ohne dass ein expliziter und manuell konfigurierter Tunnel aufgebaut werden muss. Sogenannte 6to4-Router werden als Gateways zwischen den IPv6-Netzwerken verwendet und die IPv6-Pakete werden dort in IPv4-Pakete eingekapselt. Bei diesem Verfahren wird eine IP-Adresse erzeugt, indem ein spezielles IPv6-Präfix mit der IPv4-Adresse kombiniert wird. Die daraus entstehende Adresse wird auch 6to4-Adresse genannt.¹⁹⁶ Für das Verfahren sind spezielle Präfixe (2002::/16) reserviert, die anzeigen, dass ein 6to4-Routing-Präfix folgt.¹⁹⁷

Problematisch beim 6to4-Verfahren ist, dass es das 6to4-Präfix benötigt, um 6to4-Router zu finden. Das 6to4-Präfix kann jedoch nicht weltweit im IPv6-basierten Internet weitergeleitet werden. Folglich können einige Knoten im IPv6-Internet keine 6to4-Netzwerke oder -Knoten erreichen.

Das Verfahren hat darüber hinaus einige nur schwer zu behebbende Sicherheitsrisiken, weshalb einige Netzbetreiber den 6to4-Verkehr blockieren.¹⁹⁸

192 OECD (2014 b): The Economics of Transition to Internet Protocol version 6 (IPv6); OECD Digital Economy Papers; No. 244; OECD Publishing; URL: <http://dx.doi.org/10.1787/5jxt46d07bhc-en> (Zugriff am: 07.11.2014); S. 16.

193 InterConnect Communications (2012); ebenda, S. 15.

194 InterConnect Communications (2012); ebenda, S. 20.

195 OECD (2014 b); ebenda, S. 15.

196 InterConnect Communications (2012); ebenda, S. 17.

197 Oracle (2010): Systemverwaltungshandbuch – IP Services; Präfixe in IPv6; URL: <https://docs.oracle.com/cd/E19957-01/820-2980/ipv6-overview-170/index.html> (Zugriff am: 25.11.2014).

198 InterConnect Communications (2012); ebenda, S. 18.

Translation

Die dritte Möglichkeit, um den Übergang von IPv4 zu IPv6 zu gestalten, ist das Translation-Verfahren. Hier werden IPv6-Pakete in IPv4-Pakete übersetzt und umgekehrt.¹⁹⁹ Die Übersetzung von Adressen ist kein neues Verfahren. Insbesondere in kleineren Unternehmen wird die Network Address Translation (NAT) schon länger eingesetzt, um private IPv4-Adressen im firmeninternen Netz zu verwenden und diese bei der Außenkommunikation in eine oder mehrere öffentliche Adressen zu übersetzen.²⁰⁰

Private IP-Adressen sind nur für lokale Netzwerke ohne Internetverbindung vorgesehen und werden von RFC 1918 definiert. Für das öffentliche Internet dürfen diese Adressen nicht verwendet werden.²⁰¹ Netzwerkitern genutzte, private Adressen gehören zu den Adressbereichen von IPv4, die im globalen Internet nicht weitergegeben werden. Wird eine private Adresse im internen Netzwerk verwendet, muss diese an der Netzwerk-grenze in eine öffentliche übersetzt werden. Beim NAT-Verfahren verbirgt die öffentliche Adresse dann die private.²⁰²

Mithilfe dieses Verfahrens können mehrere Nutzer, die nur über private Adressen verfügen, eine beschränkte Zahl von öffentlichen IPv4-Adressen nutzen.²⁰³ Da jedoch mehr und mehr Nutzer sich gleichzeitig im Internet aufhalten und die Zahl der Verbindungen pro Nutzer ansteigt, reicht die begrenzte Zahl von öffentlichen IPv4-Adressen nicht mehr aus.²⁰⁴

Geräte oder Maschinen, die in ein internes Netzwerk eingebunden sind, und keine Verbindung zum globalen Internet benötigen, werden keine Treiber für die Migration von IPv4 zu IPv6 sein, da private IP-Adressen für diese Anwendungen ausreichen. Maschinen und Geräte, die dagegen von jedem Standort der Welt ansteuerbar sein sollen und keinen festen Standort haben, benötigen eine öffentliche IP-Adresse.

Beispiele sind etwa sogenannte eCall-Systeme für PKW und Nutzfahrzeuge, die bei einem Unfall einen Notruf zusammen mit den Koordinaten des Fahrzeugs und weiteren Informationen an eine Leitstelle abgeben.²⁰⁵

199 OECD (2014 b): The Economics of Transition to Internet Protocol version 6 (IPv6); OECD Digital Economy Papers; No. 244; OECD Publishing; URL: <http://dx.doi.org/10.1787/5jxt46d07bhc-en> (Zugriff am: 07.11.2014); S. 15.

200 InterConnect Communications (2012); ebenda, S. 20.

201 Vgl. Heise Netze (o.J.): Reservierte IPv4-Adressen; URL: <http://www.heise.de/netze/Reservierte-IPv4-Adressen-475028.html> (Zugriff am: 15.01.2015) und Unitymedia (o.J.): FAQs – Wie unterscheiden sich öffentliche und private IP-Adressen? URL: http://app.unitymedia.de/service/index.html/faqs/6f59a236-37af-4897-9f05-ad26a003a622?contact_link=default&query=&topic_id=9cee0b16-c393-496a-be05-1172229e64d9 (Zugriff am: 15.01.2015).

202 Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph/ Sack, Harald (2011); ebenda, 2011; S. 20.

203 Ericsson AB (2013 b): IPv6 – Meeting the Challenge of Connecting Everyone and Everything - Ericsson White Paper; Februar 2013; S. 3.

204 Ericsson AB (2013 b); ebenda, S. 2 und 3.

205 Vgl. European Commission (o.J.): Digital Agenda for Europe – A Europe 2020 Initiative – eCall: Time saved = lives saved; URL: <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/ecall-time-saved-lives-saved> (Zugriff am: 02.02.2015).

Um von IPv4 zu IPv6 und umgekehrt zu übersetzen, wurde der Network Address Translation – Protocol Translator (NAT-PT) entwickelt. Diese Weiterentwicklung des NAT bringt aber so gravierende Sicherheitsrisiken mit sich, dass die Internet Engineering Task Force (IETF) dieses Übersetzungsverfahren seit 2007 ablehnt.²⁰⁶ Die IETF schließt aus den Mängeln des Verfahrens, dass sich seine Verwendung hemmend auf die Durchsetzung von IPv6 auswirken kann.²⁰⁷

Die NAT auf Betreiberebene (engl. Carrier Grade NAT, CGN) ist dagegen ein Verfahren, das es ermöglichen soll, vorhandene IPv4-Adressen effizienter zu nutzen. Man spricht bei dieser Technik auch von Large Scale NAT (LSN) oder NAT44. Hier werden IPv4-Adressen von mehreren Nutzern geteilt.²⁰⁸

NAT44 wurde entwickelt, um die Knappheit von IPv4-Adressen zu entschärfen. Problematisch ist jedoch bei CGN, dass Peer-to-Peer-Anwendungen häufig nicht einsetzbar sind – auch wenn sie unter NAT grundsätzlich implementierbar sind.²⁰⁹ Verfügt nicht jeder Beteiligte über eine öffentliche IP-Adresse, erfolgt in der Kommunikation der Nutzer ein Bruch der sogenannten Ende-zu-Ende-Kommunikation, da ein vermittelnder Rechner benötigt wird.²¹⁰ NAT und CGN unterbrechen die Ende-zu-Ende-Kommunikation ebenfalls.²¹¹

Bei IPv6 gibt es im Gegensatz zu IPv4 keine privaten Adressen mehr. Stattdessen werden nur noch öffentliche Adressen eingesetzt, um die Möglichkeit einer direkten Ende-zu-Ende-Kommunikation zu sichern.²¹²

206 InterConnect Communications (2012); ebenda, S. 21.

207 Internet Engineering Task Force (IETF) (2007): Request for Comments (RFC) 4966 - Reasons to Move the Network Address Translator - Protocol Translator (NAT-PT) to Historic Status; July 2007; URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4966.txt> (Zugriff am: 27.11.2014).

208 InterConnect Communications (2012); ebenda, S. 22.

209 InterConnect Communications (2012); ebenda, S. 22.

210 Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph/ Sack, Harald (2011); ebenda, 2011; S. 16.

211 InterConnect Communications (2012); ebenda, S. 22.

212 Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph/ Sack, Harald (2011); ebenda, 2011; S. 20.

Vergleich der drei Verfahren

Die Vor- und Nachteile der drei Ansätze Dual Stack, Tunneling und Protocol Translation werden in Abbildung 4-3 zusammengefasst. Hier wird noch einmal deutlich, dass Protocol Translation der am wenigsten geeignete Ansatz ist, da er viele Fehlerquellen und Sicherheitsprobleme mit sich bringt. Dual Stack erscheint dagegen am geeignetsten, um den Übergang von IPv4 zu IPv6 zu gestalten.²¹³

Abbildung 4-3: Vergleich der wichtigsten Ansätze zur Gestaltung des Übergangs von IPv4 zu IPv6

| Ansatz | Vorteile | Nachteile |
|-----------------------------|--|--|
| Dual Stack | <ul style="list-style-type: none"> • sauberster Ansatz • alle Features von IPv4/ IPv6 nutzbar • beste Leistung bei minimalen Kosten • weniger Fehlerquellen | <ul style="list-style-type: none"> • Upgrade auf Dual Stack bei gesamter Netzwerkinfrastruktur, Services und Endknoten nötig |
| Tunneling | <ul style="list-style-type: none"> • kein Infrastruktur-Upgrade auf IPv6-Unterstützung nötig • nutzbar, wenn keine Dienste außer IPv6 anwendbar • meist automatisiert, leicht umsetzbar • erscheint Endnutzer wie Original-Service | <ul style="list-style-type: none"> • Beeinträchtigung der Serviceleistung • einige Features von IPv6 nicht nutzbar • Fehlerquellen in Techniken wie 6to4 • viele Sicherheitsprobleme • nicht immer skalierbar |
| Protocol Translation | <ul style="list-style-type: none"> • einzige Methode, bei der reine IPv6-Knoten reine IPv4-Knoten erreichen können und vice versa • erlaubt Schein-IPv6-Fähigkeit von IPv4-Knoten | <ul style="list-style-type: none"> • Fehlerquellen durch Übersetzung • eingeschränkte Leistung, Skalierbarkeit und Erreichbarkeit • einige Features nicht übersetzbar • Protokolle höherer Stufen nicht ohne Weiteres übersetzbar • Sicherheitsprobleme |

Quelle: InterConnect Communications (2012)

Die Migration von IPv4 zu IPv6 ist noch nicht abgeschlossen. Die im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Methoden zur Gewährleistung der Kompatibilität zwischen IPv4 und IPv6 haben teilweise zur Folge, dass die Lebensdauer von IPv4 verlängert und der Anreiz zur Umstellung reduziert wird. Im folgenden Abschnitt sollen die involvierten Akteure und ihre Motivationen genauer beleuchtet werden.

²¹³ InterConnect Communications (2012); ebenda, S. 26f.

4.2 Involvierte Akteure des Nummerierungsprozesses

IP-Nummernregistratorien

Zu den involvierten Akteuren gehören zunächst die Agenturen, die die IP-Nummern verwalten und vergeben. Zentral wird die IP-Adressvergabe von der IANA verwaltet. Die IANA ist eine Abteilung der Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) und ist wie die RIRs eine im Wesentlichen durch Mitgliedsbeiträge finanzierte Non-Profit-Einrichtung.²¹⁴ Die ICANN untersteht der Aufsicht der National Telecommunications & Information Administration (NTIA) des US-Handelsministeriums. Diese hatte im März 2014 angekündigt, die alleinige Aufsicht über die Agentur ICANN bis zum Herbst 2015 aufzugeben.²¹⁵

Von der IANA werden die Adressblöcke an die fünf regionalen RIRs vergeben, die dann für die Verteilung der Ressourcen in ihrer jeweiligen Region verantwortlich sind (vgl. Abbildung 4-4).²¹⁶ Auf den Vergabeprozess wird in Abschnitt 4.3 genauer eingegangen.

Abbildung 4-4: Die regionalen Registratorien für IP-Nummern (RIRs)



| Registrator | Geographischer Bereich |
|---|--|
| American Registry for Internet Numbers (ARIN) | Nordamerika |
| Réseaux IP Européens Network Coordination Centre (RIPE NCC) | Europa, Mittlerer Osten und Zentralasien |
| Latin American and Caribbean Internet Addresses Registry (LACNIC) | Lateinamerika und tlw. karibische Inseln |
| African Network Information Center (AFRINIC) | Afrika |
| Asia Pacific Network Information Centre (APNIC) | Asien-Pazifik-Raum |

Quelle: Internet Assigned Numbers Authority (IANA) (2014): Number Resources; URL: <https://www.iana.org/numbers> (Zugriff am: 13.11.2014)

²¹⁴ Internet Assigned Numbers Authority (IANA) (o.J.): About IANA – Introducing IANA; URL: <https://www.iana.org/about> (Zugriff am: 01.12.2014).

²¹⁵ National Telecommunications & Information Administration (NTIA) (2014): NTIA Announces Intent to Transition Key Internet Domain Name Functions; Pressemitteilung vom 14.03.2014; URL: <http://www.ntia.doc.gov/press-release/2014/ntia-announces-intent-transition-key-internet-domain-name-functions> (Zugriff am: 10.09.2014).

²¹⁶ Internet Assigned Numbers Authority (IANA) (2014): Number Resources; URL: <https://www.iana.org/numbers> (Zugriff am: 13.11.2014).

Netzwerkausrüster

Eine weitere Gruppe von Akteuren stellen die Netzwerkausrüster dar, bei denen die Umstellung auf IPv6 nach den Aussagen der OECD gut voran schreitet. Anders ist es dagegen bei der Ausrüstung, die in den Räumlichkeiten des Endkunden angeschlossen ist. Hier wird ein Problem darin gesehen, dass Kunden, die nicht verpflichtet sind, Geräte eines bestimmten Service Providers zu benutzen, möglicherweise Ausrüstungsgüter anderer Anbieter beschaffen, ohne darauf zu achten, ob diese Geräte IPv6 unterstützen.²¹⁷ Hardware ist dann IPv6-fähig, wenn sie in der Lage ist, das neue Protokoll zu verarbeiten und Datenpakete dieses Protokolltyps zu transportieren.²¹⁸ Einen Hinweis auf die IPv6-Fähigkeit von Produkten gibt das „IPv6-ready“-Logo des IPv6-Rates, das nach erfolgreich abgeschlossenen Tests zu Konformität und Interoperabilität an Hersteller vergeben wird.²¹⁹

Selbst bei IPv6-fähiger Ausrüstung kann es dazu kommen, dass die Geräte anderer Anbieter nicht mit der spezifischen Umsetzung von IPv6 durch den Service Provider kompatibel sind. In dieser Situation ist es laut OECD möglich, dass der Kunde nicht von IPv6 profitieren kann, obwohl der Service Provider IPv6 anbietet.²²⁰

Hersteller von Betriebssystemen und Betreiber von Webbrowsern

Neben den Registraturen und den Netzwerkausrüstern gehören auch Hersteller von Betriebssystemen und Betreiber von Webbrowsern zu den Akteuren im Rahmen von IPv6.²²¹ Bei den Betriebssystemen gibt es bei Windows 7 und 8 eine volle IPv6-Unterstützung, ebenso bei Mac OS 10.2 und 10.3 sowie bei Linux 2.4 und höheren Versionen. Windows XP, für das Microsoft den Support im April 2014 einstellte,²²² kann nur mit einem Service Pack nachkonfiguriert werden.²²³

Da häufig eine gewisse Konfiguration des Betriebssystems notwendig ist, geht die OECD hier von einer potenziellen Verlangsamung der Umstellung auf IPv6 aus. Die gängigen Webbrowser wie z. B. Firefox, Internet Explorer, Safari oder Chrome sind dagegen bereits auf IPv6 eingestellt und unterstützen das Protokoll.²²⁴

²¹⁷ OECD (2014 b); ebenda, S. 26.

²¹⁸ Schreiber, Manuel (2011): IPv6-Internetadressen - Start ins grenzenlose Web – Sind meine Geräte IPv6-ready?; In: FOCUS Online; URL: http://www.focus.de/digital/computer/chip-exklusiv/tid-22548/ipv6-internetadressen-sind-meine-geraete-ipv6-ready_aid_633656.html (Zugriff am: 19.01.2015).

²¹⁹ IPv6 Forum (2013): IPv6 Ready Logo Program – Whitepaper; November 2013; URL: https://www.ipv6ready.org/docs/IPv6_Ready_Logo_White_Paper_Final.pdf (Zugriff am: 19.01.2015); S.13.

²²⁰ OECD (2014 b); ebenda, S. 26.

²²¹ OECD (2014 b); ebenda, S. 26f.

²²² Microsoft (2014): Windows XP und Office 2003 - Der Support für Windows XP und Office 2003 wurde am 08.04.2014 eingestellt; URL: <http://www.microsoft.com/de-de/windows/xp/> (Zugriff am: 14.11.2014).

²²³ IPv6-Portal.de (o.J.): Betriebssysteme; URL: <http://www.ipv6-portal.de/informationen/kompatibilitaet/betriebssysteme.html> (Zugriff am: 14.11.2014).

²²⁴ OECD (2014 b); ebenda, S. 27.

Eine Verbesserung der User Experience bei IPv4-Nutzern führt nach Ansicht der OECD wiederum zu dem Paradoxon, dass sich die Umstellung auf IPv6 verlangsamt, da keine Notwendigkeit für die Umstellung von IPv4 zu IPv6 gesehen wird.²²⁵ Die Verfahren, die den Parallelbetrieb ermöglichen, werden verbessert, so dass die Wahrnehmung der Notwendigkeit einer Migration von IPv4 zu IPv6 reduziert wird.

Mit dem sogenannten Happy Eyeballs Algorithmus soll beispielsweise verhindert werden, dass ein Nutzer, der die Dual-Stack-Methode verwendet, eine Einschränkung der Verbindungsqualität wahrnimmt: Versucht ein Nutzer über Dual Stack eine Website aufzurufen, ruft der Algorithmus die Seite zunächst via IPv6 auf. Gelingt dieser Verbindungsversuch nicht schnell genug, wird IPv4 verwendet. Ohne den Algorithmus müsste die Verbindung zunächst unterbrochen werden, bevor von IPv6 auf IPv4 umgestellt werden könnte. Die Wartezeit könnte dann mehrere zehn Sekunden betragen, was gemessen an den gewohnten Verbindungsgeschwindigkeiten als sehr lang empfunden werden würde.²²⁶

Hersteller von Unterhaltungs- und Haushaltselektronik

Neben den bereits genannten Akteuren werden von der OECD insbesondere auch die Hersteller von Unterhaltungs- und Haushaltselektronik aufgeführt. Diese Unternehmen können, wie andere Akteure auch selbst Mitglied einer regionalen Registratur werden, um IP-Nummern zu beantragen. Sie können aber auch einen Vermittler nutzen, ohne selbst Mitglied zu werden. Dieser Prozess wird in Abschnitt 4.3 erläutert.

Nicht alle Hersteller unterstützen IPv6 und nicht alle tun dies für jedes ihrer Produkte. So wird IPv6 zwar z. B. von vielen Sony TV-Geräten unterstützt²²⁷, jedoch nicht von der Sony PlayStation 4²²⁸. Zu Microsofts Xbox One gibt es ebenfalls Berichte über Probleme bei der Unterstützung des neuen Protokolls.²²⁹

Auch bei neuen Geräten mit Smart Home-Funktionalitäten hat sich IPv6 noch nicht vollständig durchgesetzt. Problematisch ist es aus Sicht der Hersteller, dass viele Kunden noch nicht auf IPv6 umgestellt haben. Daher bieten die Hersteller auch erst nach und nach Produkte mit IPv6-Unterstützung an.²³⁰ IPv6 wurde beispielsweise noch 2012 nicht vom Nest Thermostat unterstützt.²³¹ Im Sommer 2014 kündigten Nest, Samsung

²²⁵ OECD (2014 b); ebenda, S. 28.

²²⁶ OECD (2014 b); ebenda, S. 27.

²²⁷ Sony (o.J.): Bravia i-Manual – Setting IPv6; http://docs.esupport.sony.com/imanual/NA/2013/55W900A/uc_uen/c_cntnet_ipv6.html (Zugriff am: 20.11.2014).

²²⁸ PlayStation Forums (2014): When will PS4 get IPv6 support? XboxOne has it already; 11.07.2014; URL: <http://community.us.playstation.com/t5/PlayStation-General/When-will-PS4-get-IPv6-support/td-p/42548821> (Zugriff am: 20.11.2014).

²²⁹ Zehentmeier, Wolfgang (2014): Mit IPv6 geht nichts - Xbox One kann kein modernes Internetprotokoll; In: BR.de; 24.01.2014; URL: <http://www.br.de/themen/ratgeber/inhalt/computer/xbox-one-ipv6-teredo-100.html> (Zugriff am: 20.11.2014).

²³⁰ OECD (2014 b); ebenda, S. 43.

²³¹ Quora (2012): Does the Nest Thermostat support IPv6? In: Twitter; 10.06.2013; URL: <https://twitter.com/quoraquestions3/status/211947808159309824> (Zugriff am: 20.11.2014).

und fünf weitere Unternehmen jedoch an, mit dem sogenannten Thread einen offenen Standard einzuführen, der durch die Verwendung von 6LoWPAN auch IPv6 unterstützt.²³² Die IP-basierte Funktechnik 6LoWPAN erlaubt es IPv6 auch in Netzwerken mit niedriger Energieversorgung zu nutzen.²³³

IPv6 bietet Vorteile bei der Realisierung von Smart Home, so etwa die Autokonfiguration in Umgebungen, in denen wenig Energie zur Verfügung steht. Daher wurden auch andere Industriestandards wie etwa ZigBee IP bereits auf IPv6 umgestellt.²³⁴ Der Standard basiert unter anderem auf 6LoWPAN.²³⁵ Bei der Entwicklung von ZigBee wurde insbesondere auf niedrigen Energieverbrauch Wert gelegt, da ZigBee-Geräte auch den Batteriebetrieb erlauben sollen.²³⁶ Zu den sogenannten partizipierenden Mitgliedern der ZigBee Alliance gehören unter anderem Bosch Thermotechnology und Siemens. Die partizipierenden Mitglieder zeichnen sich durch Stimmrechte aus und arbeiten an der Weiterentwicklung des Standards mit.²³⁷

Als Beispiel für ein Produkt, das 6LoWPAN und ZigBee verwendet, kann das „Philips hue“-System genannt werden, welches aus LED-Lampen, einer App zur Steuerung und der sogenannten Bridge, die Lampen und App verbindet, besteht.²³⁸

Neben Philips nutzt auch Miele den Standard ZigBee für die Vernetzung seiner Geräte.²³⁹ Das Vernetzungssystem „Miele@home“ umfasst verschiedene Anwendungen, beispielsweise die automatische Kommunikation zwischen Kochfeld und Dunstabzugshaube und die automatische Auswahl von Stromtarifen.²⁴⁰ Über ein Gateway werden in diesem System die verschiedenen Hausgeräte und die mobilen Endgeräte verbunden.²⁴¹ Mithilfe der App „Miele@mobile“ kann der Nutzer zudem auf die vernetzten Hausgeräte von unterwegs per Smartphone oder Tablet zugreifen.²⁴²

232 Higginbotham, Stacey (2014): Nest and Samsung launch Thread, a wireless mesh standard for the smart home; In: Gigaom.com; 15.07.2014; URL: <https://gigaom.com/2014/07/15/nest-and-samsung-launch-thread-a-wireless-mesh-standard-for-the-smart-home/> (Zugriff am: 20.11.2014).

233 Riedesel, Conrad (2014): M2M für alle – Wie der Endkundenmarkt die Branche verändert; In: NET; 10/14; S. 29-30; S. 29.

234 OECD (2014 b); ebenda, S. 43.

235 ZigBee Alliance (2014): ZigBee Press Release – 920IP – Low-Power, IPv6 Networking for Home Energy Management by ZigBee Alliance; 01.07.2014; URL: <http://zigbee.org/920ip-low-power-ipv6-networking-for-home-energy-management-by-zigbee-alliance/> (Zugriff am: 20.11.2014).

236 Deutsche TV-Plattform e.V. (2014): Kompendium Vernetzung – Eine Bestandsaufnahme der Deutschen TV-Plattform; August 2014; S. 26.

237 Vgl. ZigBee Alliance (2014): The Alliance – Our Members; URL: <http://zigbee.org/zigbeealliance/our-members/> (Zugriff am: 16.01.2015).

238 Philips (o.J.): Factsheet – Philips hue – Die intelligenteste LED-Birne der Welt; URL: http://www2.philips.de/konsumentenpresse/fernseher/pdf/Philips_Hue_Backgrounder.pdf (Zugriff am: 20.11.2014).

239 Vgl. Miele (o.J.): Intelligent vernetzt – Hausgerätevernetzung; URL: <http://www.miele.de/haushalt/SID-47B908FF-EFEC26D1/1917.htm?info=200058018-ZST-000> (Zugriff am: 16.01.2015).

240 Miele & Cie. KG (o.J.): Miele@home – Kommunikationsfähige Miele Hausgeräte; URL: http://www.miele-primus.de/media/shop/home/_prospekte/aktionsprospekte/Miele_Home.pdf (Zugriff am: 16.01.2015).

241 Vgl. Miele (o.J.): Miele@home - Intelligent vernetzt; URL: <http://www.miele.de/haushalt/hausgeraetevernetzung-1912.htm> (Zugriff am: 16.01.2015).

242 Vgl. Miele (o.J.): Hausgerätevernetzung - Mobile Kontrolle; URL: <http://www.miele.de/haushalt/hausgeraetevernetzung-1912.htm> (Zugriff am: 16.01.2015).

Vertrieben werden Lösungen zur Vernetzung von Miele-Produkten auch über das Qivicon-Portal, einer Web-Initiative der Deutschen Telekom. Qivicon soll es ermöglichen, Smart-Home-Anwendungen herstellerübergreifend nutzen zu können. Neben Miele gehören zu den Partnern der Initiative auch Unternehmen wie Philips, Osram und Sonos.²⁴³ Vernetzbare Miele Haushaltsgeräte können hier anstelle mit dem Miele Gateway über die „Qivicon Home Base“ und einen ZigBee Funkstick verbunden werden. Die Steuerung erfolgt dann beispielsweise mit der „Miele StartUp Connect App“.²⁴⁴

Netzbetreiber

Die Netzbetreiber stellen eine weitere wichtige Gruppe von Akteuren dar, die in die Migration von IPv4 zu IPv6 involviert sind. Sie haben nach Ansicht der OECD drei verschiedene Möglichkeiten, um mit der zunehmenden Knappheit von IPv4-Adressen umzugehen:²⁴⁵

- Die Nutzung von CGN stellt die erste Möglichkeit dar. Hierdurch wird zwar das Teilen von öffentlichen IP-Adressen ermöglicht, jedoch kann mit dieser Methode auch eine verringerte Servicequalität verbunden sein. Davon sind insbesondere Dienste wie VoIP, Peer-to-Peer-Gaming und Video Streaming betroffen. Aufgrund der verminderten Servicequalität könnten Kunden den Anbieter wechseln, falls diese nicht ebenfalls CGN verwenden. Abhängig vom Grad der Bindung der Kunden an einen Anbieter und der Servicequalität der Wettbewerber ergeben sich neben Kapitalkosten, Hardwarekosten und Betriebskosten zusätzliche potenzielle Kosten durch die Abwanderung von Kunden.²⁴⁶
- Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch den Handel mit IPv4-Adressen. Die OECD registriert Belege für einen wachsenden Markt für IPv4-Adressen, jedoch hätte die Entwicklung ausgeprägter sein können angesichts der zunehmenden Knappheit von IPv4-Adressen. Ein Grund hierfür wird in der mangelnden Transparenz hinsichtlich der Preise gesehen. Bestätigt wird die Zunahme des Handels etwa durch den Anstieg der Transfers von IPv4-Adressen, die ARIN monatlich veröffentlicht.²⁴⁷ Auch bei den Registriaturen RIPE NCC und APNIC hat der Transfer von IPv4-Adressen zugenommen.²⁴⁸

²⁴³ Vgl. Qivicon (2014): Über uns – Unsere Partner; URL: <https://www.qivicon.com/de/ueber-uns/> (Zugriff am: 16.01.2015).

²⁴⁴ Vgl. Qivicon (2014): Miele StartUp Compact; URL: <https://www.qivicon.com/de/produkte/pakete/miele-startup-compact/#product-factsheet> (Zugriff am: 16.01.2015) und Miele (o.J.): Hausgerätevernetzung – Mehr Komfort, mehr Flexibilität, mehr Sicherheit; URL: <http://www.miele.de/haushalt/hausgeraetevernetzung-1912.htm> (Zugriff am: 16.01.2015).

²⁴⁵ OECD (2014 b); ebenda, S. 30.

²⁴⁶ OECD (2014 b); ebenda, S. 30.

²⁴⁷ American Registry for Internet Numbers (ARIN) (2014): Inter-RIR and Specified Transfers of Internet Number Resources; As of October 2014; URL: <https://www.arin.net/knowledge/statistics/transfers.html> (Zugriff am: 21.11.2014).

²⁴⁸ Howard, Lee (2014): Updated Look at IPv4 Market Transfers; In: WLeeCoyote.com; 21.05.2014; URL: <http://www.wleecoyote.com/blog/transferdemand.htm> (Zugriff am 21.11.2014). Der Handel mit IPv4-Adressen wird etwa durch Online-Aktionsplattformen wie IPv4Auctions.com oder die IPv4 Market Group durchgeführt.

Zu Jahresbeginn 2013 hat die IPv4 Market Group für /16-Blöcke des RIPE NCC einen Preis von etwas mehr als 10 USD je IPv4-Adresse festgestellt. Auch in der Region, die von der APNIC verwaltet wird, wurde Anfang 2013 ein Preis von etwa 10 USD je IP-Adresse registriert. Für Blöcke zwischen /16 und /20 liegt der Preis je IP-Adresse nach Angaben der IPv4 Market Group meist zwischen 10 USD und 15 USD. Dabei wird für kleinere Blöcke häufig ein Zuschlag gezahlt, da der Aufwand genauso hoch ist, wie für einen größeren Adressblock.²⁴⁹

Wie Daten von IPv4Auctions.com belegen, können die Preise stark variieren. So wurde im September 2014 eine Auktion über einen /24-Block der ARIN bei 18,06 USD je IPv4-Adresse geschlossen, im Oktober betrug der Preis bei Auktionsschluss für einen ARIN-Block der gleichen Größe 13,57 USD je Adresse und im November 9,50 USD.²⁵⁰ Diese Unsicherheit über die Preisentwicklung kann dazu führen, dass Transaktionen ausbleiben.²⁵¹

Gleichzeitig sorgt die zunehmende Knappheit an IPv4-Adressen jedoch bereits dafür, dass illegaler Handel entstanden ist. Ein Beleg dafür ist, dass sich die Mitglieder des RIPE NCC im November 2014 auf eine Verschärfung ihrer Vergaberegeln einigten, da sich Unternehmen entgegen der Regeln mehrfach nacheinander unter wechselnden Namen beim RIPE NCC um /22-Blöcke bewarben, um diese anschließend weiterzuverkaufen.

Schätzungen des RIPE NCC zufolge, können diese Unternehmen mit dem Verkauf eines /22-Blocks etwa 8.000 EUR erzielen. Ein zweijähriges Verkaufsverbot soll die Attraktivität dieser Transaktionen nun verringern. Die Unternehmen, welche die Adressen besitzen, müssen dann zwei Jahre lang die RIPE-Mitgliedsgebühr von jährlich rund 2.000 EUR entrichten. Dies soll verhindern, dass die Unternehmen sich nach der kostenpflichtigen Anmeldung als Mitglied und Erhalt der Nummern gleich wieder abmelden, um unter neuem Namen erneut beizutreten und Nummernressourcen zu beantragen.²⁵²

- Die dritte Möglichkeit einer Reaktion auf die knapper werdenden IPv4-Adressen besteht in der Umstellung auf IPv6. Da jedoch Übergangslösungen bereitgestellt werden müssen, bis sich das neue Protokoll gänzlich durchgesetzt hat, kommt diese Option kurzfristig nicht ohne die zwei zuvor genannten Möglichkeiten aus.²⁵³

Mobilfunkanbieter könnten zukünftig die Akteure sein, die den stärksten Druck zur Migration von IPv4 zu IPv6 wahrnehmen. Hintergrund ist, dass nicht bewegliche M2M-Anwendungen in einem WLAN mit privaten IP-Adressen versorgt werden können, so-

249 IPv4 Market Group (2014): IPv4 Market Group Reviews 2013 Year in Trading, Predicts Trends for 2014; Press Release; In: Marketwired.com; 29.01.2014; URL: <http://www.marketwired.com/press-release/ipv4-market-group-reviews-2013-year-in-trading-predicts-trends-for-2014-1873805.htm> (Zugriff am: 21.11.2014).

250 Howard, Lee (2014): ebenda.

251 OECD (2014 b); ebenda, S. 23.

252 Ermert, Monika (2014): Gaunereien um verbliebene IPv4-Adressblöcke; In: heise.de; 08.11.2014; URL: <http://www.heise.de/netze/meldung/Gaunereien-um-verbliebene-IPv4-Adressbloecke-2444838.html> (Zugriff am: 21.11.2014).

253 OECD (2014 b); ebenda, S. 30.

fern keine globale Steuerung des Geräts erfolgen soll. Soll ein mobiles Gerät oder eine sich bewegende Maschine vernetzt werden, wird diese dagegen mit einer SIM-Karte und einer eindeutig identifizierbaren, öffentlichen IP-Adresse ausgestattet. Sollten zukünftig alle SIM-Karten mit öffentlichen IP-Adressen versorgt werden, entsteht ein erheblicher Druck der Migration von IPv4 zu IPv6.

Contentprovider

Zu den Akteuren in der Umstellung auf IPv6 gehören auch die Contentprovider, darunter Websitebetreiber wie Facebook, Wikipedia oder LinkedIn.²⁵⁴ Statistiken zeigen, dass sowohl bezogen auf Deutschland als auch weltweit noch viele Contentprovider keine IPv6-Unterstützung anbieten.

Als Gründe für die fehlende Unterstützung von IPv6 werden sowohl die Kosten der Umstellung genannt als auch der zeitliche Aufwand der Erprobung der Funktionstüchtigkeit der Umstellung. Eine weitere Erklärung wird in der Möglichkeit gesehen, dass selbst bei einer erfolgreichen Umstellung Kunden, die ein Dual-Stack-Verfahren nutzen, eine eingeschränkte Verbindungsqualität wahrnehmen können. Dies kann wiederum zu einem höheren Serviceaufwand bei den Websitebetreibern führen.²⁵⁵

Unternehmen mit internen Netzwerken

Neben den bereits genannten Akteuren sind auch Unternehmen mit internen Netzwerken zu nennen. Der OECD zufolge nutzen diese Akteure Methoden zur Umgehung der IPv4-Knappheit wie etwa NATs bereits sehr intensiv. Dadurch wird die Notwendigkeit zur Umstellung auf IPv6 hinausgezögert.

Auf der anderen Seite ergeben sich Sicherheitsrisiken durch die Dual-Stack-Methode, da die Zahl der Wege, über die ein Firmennetzwerk attackiert werden kann, steigt. Langfristig wird jedoch die Einführung des Internets der Dinge die Einführung von IPv6 notwendig machen. Nicht nur der Bedarf an zusätzlichen Adressen, auch der steigende Bedarf an Flexibilität in der Produktion, wie sie etwa durch 6LoWPAN ermöglicht wird, werden hier als Treiber gesehen.²⁵⁶

Private Endnutzer

Die letzte Gruppe unter den Akteuren bei der Umstellung auf IPv6 sind die Endnutzer. Endnutzer fragen IPv6-Dienste in der Regel nicht explizit bei den Service Providern oder Inhalteanbietern nach, da sie häufig kaum oder gar nicht über die Kosten und den Nutzen einer Umstellung auf IPv6 informiert sind. Indirekt kann das Nutzerverhalten laut OECD jedoch einen Einfluss auf die Investitionen in IPv6 haben. Diese indirekte Nachfrage kann entstehen, wenn Endkunden feststellen, dass die Servicequalität bei der

²⁵⁴ OECD (2014 b); ebenda, S. 33.

²⁵⁵ OECD (2014 b); ebenda, S. 34.

²⁵⁶ OECD (2014 b); ebenda, S. 34f.

Verwendung von NAT auf Betreiberebene (CGN) schlecht ist und sich beschweren, wodurch der Nutzen einer IPv6-Umstellung aus Sicht der Anbieter steigt.²⁵⁷

Die Möglichkeiten der Einflussnahme der vorgestellten Akteure auf den Übergangsprozess von IPv4 zu IPv6 unterscheiden sich. Die Unterschiede unterstreichen, dass es nicht, wie bei der Einführung von IPv4, einen einzigen Akteur gibt, der die Macht besäße, die Umstellung durchzusetzen. Vielmehr gibt es viele unkoordinierte Marktteilnehmer, die weitestgehend eigenständig entscheiden, ob und wie schnell sie IPv6 einführen.

Wann die Migration von IPv4 zu IPv6 abgeschlossen sein wird und IPv4 abgeschaltet werden kann, entscheidet somit maßgeblich das Zusammenspiel der beteiligten Akteure. Boeddinghaus et al. verweisen darauf, dass die Unternehmen irgendwann nicht mehr bereit sein werden, die Kosten für den Parallelbetrieb zu tragen. Wann das jedoch sein wird, kann nicht sicher prognostiziert werden. Die Schätzungen schwanken zwischen von 10 bis zu 25 Jahren.²⁵⁸

4.3 Regulatorische Rahmenbedingungen und Prozess der Nummernvergabe

Hierarchie der Registraturen

Die Registraturen sind wichtige Akteure im Prozess der Umstellung auf IPv6, denn sie legen die Rahmenbedingungen fest, nach denen sich die Mitgliedsunternehmen richten müssen. Die Registraturen verwalten nicht nur die IP-Nummernressourcen, sondern legen auch den Vergabeprozess fest.

Die Hierarchie der Registraturen im Vergabeprozess von IP-Nummern wird in Abbildung 4-5 veranschaulicht. Die IANA vergibt die Nummernressourcen an die RIRs. Im Asien-Pazifik-Raum der APNIC folgen darauf die National Internet Registries. In den anderen Regionen, beispielsweise in Europa, vergeben die RIRs selbst Nummernblöcke an ihre Mitglieder.²⁵⁹

Die Mitglieder werden auch Local Internet Registries (LIRs) genannt und häufig handelt es sich dabei um Internet Service Provider (ISPs). Es können aber auch andere Unternehmen oder Organisationen wie z. B. Universitäten oder Behörden sein. Die LIRs sind für die Verwaltung des Adressraumes auf einer lokalen Ebene zuständig.²⁶⁰ Die Endkunden, beispielsweise die Kunden eines ISP, erhalten von diesem die IPv6-Nummern im Rahmen ihres Vertrages.

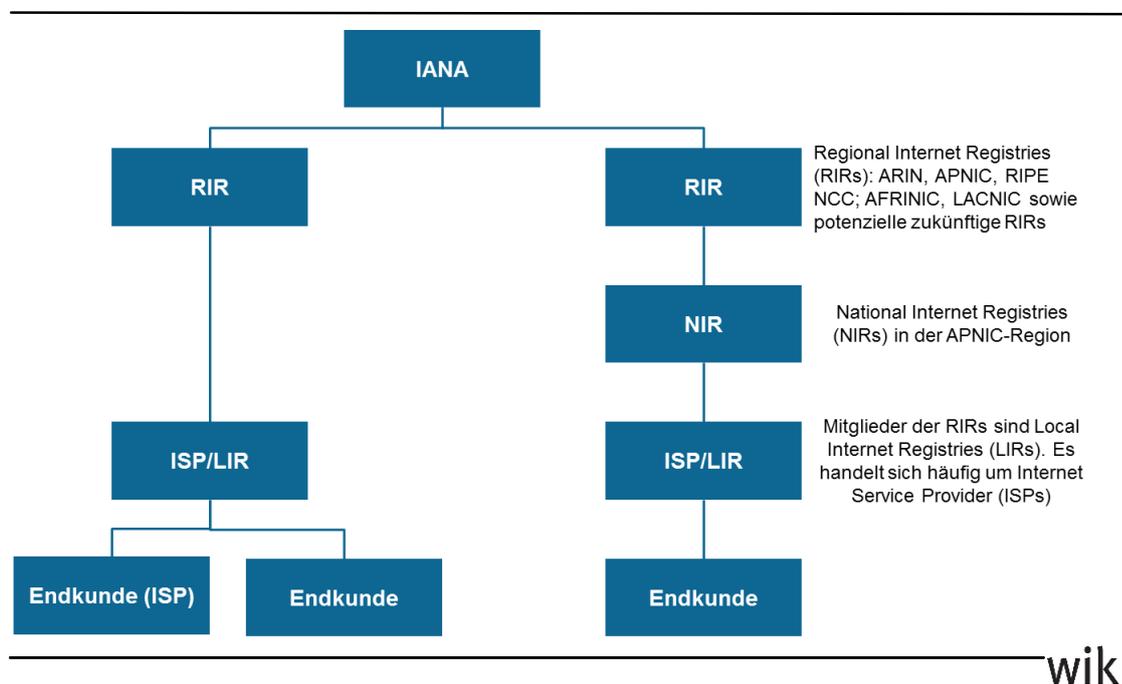
²⁵⁷ OECD (2014 b); ebenda, S. 35.

²⁵⁸ Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph / Sack, Harald (2011); ebenda, S. 47.

²⁵⁹ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2013 b): IPv6 Address Allocation and Assignment Policy; Document ID: ripe-589; Mai 2013; S. 3.

²⁶⁰ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (o.J.): FAQ – Definitions and Terminology; URL: <http://www.ripe.net/lir-services/resource-management/faq/independent-resources/def-terms> (Zugriff am: 01.12.2014).

Abbildung 4-5: Hierarchie der Registraturen beim Vergabeprozess von IP-Nummern

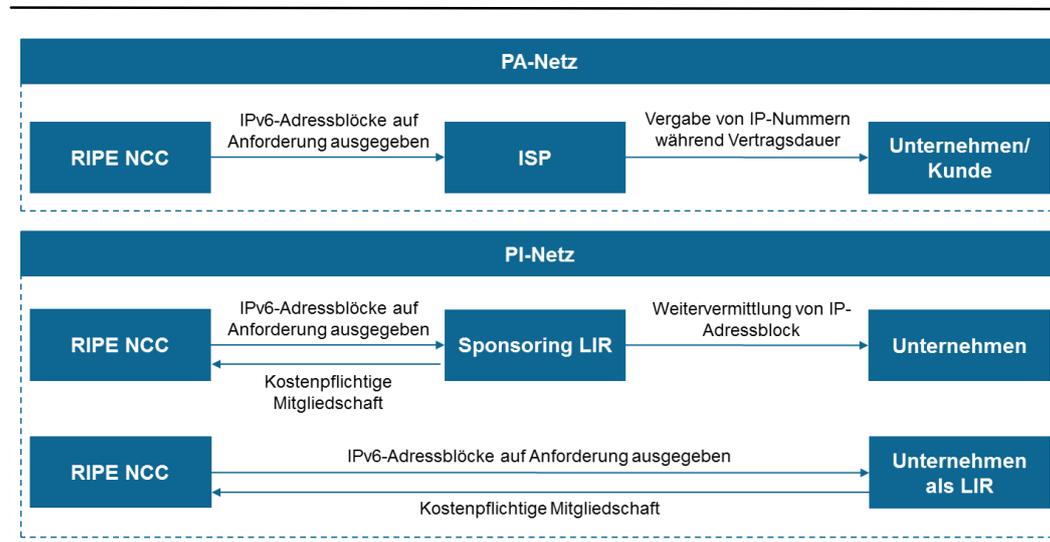


Quelle: RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2013 b)

Wege zur Erlangung von IP-Adressen

Ein Unternehmen oder eine Organisation kann verschiedene Wege wählen, um IPv6-Adressen zu erhalten. Diese Wege sind auch abhängig davon, welcher von zwei Netztypen, die im Folgenden erläutert werden, vorliegt. In Abbildung 4-6 werden die drei wesentlichen Möglichkeiten veranschaulicht. Erläutert werden die drei Optionen anhand eines beispielhaften Unternehmens; sie treffen jedoch auch auf andere Organisationen zu. Zudem erfolgt eine Fokussierung auf das RIPE NCC, da dieses für Unternehmen in Deutschland relevant ist.

Abbildung 4-6: Wege, auf denen Unternehmen IPv6-Nummern erhalten können



Quelle: WIK nach Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph/ Sack, Harald (2011)

Provider-Aggregatable-Netz

Im Rahmen des ersten der beiden Netztypen, dem Provider-Aggregatable-Netz (PA-Netz), gibt es nur eine Möglichkeit, um als Unternehmen IPv6-Adressen zu bekommen, nämlich über einen Internet Service Provider (ISP). Im PA-Netz erhält ein Unternehmen die benötigten IPv6-Adressen demnach vom ISP. Das RIPE NCC hat jedem ISP auf dessen Anfrage hin einen IPv6-Adressblock für die ISP-Infrastruktur und die Netze der Kunden ausgegeben. Ein Unternehmen bekommt vom ISP ein Netz und damit auch IP-Adressen zur Verfügung gestellt, sobald es einen Vertrag mit dem Provider abschließt. Die Adressen fallen bei Beendigung des Vertrages wieder an den ISP zurück und das Unternehmen erhält neue IP-Adressen von seinem neuen ISP.²⁶¹

Für das Unternehmen hat dieser Weg den Vorteil, dass es keine umfangreichen Investitionen tätigen muss und die Lösung einfach umsetzbar und betreibbar ist. Das Routing des Netzes, das von dem Unternehmen genutzt wird, übernimmt der ISP. Damit ist der ISP zuständig für den Transport und die Zustellung der Datenpakete.

Diese Lösung bedeutet aber auch, dass das Unternehmen, das sich für das PA-Netz entschieden hat, wenig Kontrolle besitzt. Verringert sich die Qualität der Internetverbindung des Unternehmens bei technischen Störungen auf Seiten des ISP, kann das Unternehmen selbst nicht eingreifen. Zudem muss das Unternehmen vorab darüber ent-

²⁶¹ Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph/ Sack, Harald (2011); ebenda, S. 20.

scheiden, ob es einen vom ISP kontrollierten Router in seinem internen Netzwerk mit seinen Sicherheitsbestimmungen vereinbaren kann.²⁶²

Provider-Independent-Netz (PI-Netz) – Sponsoring LIR

Im Provider-Independent-Netz (PI-Netz) werden die IP-Nummern dagegen direkt an die Endkunden vergeben.²⁶³ Hier bieten sich den Unternehmen, die IP-Adressen benötigen, dagegen zwei Möglichkeiten. Die beiden Wege unterscheiden sich darin, ob das Unternehmen selbst eine kostenpflichtige Mitgliedschaft beim RIPE NCC eingeht oder ob es sich eines Vermittlerunternehmens bedient.²⁶⁴

Sollte sich das Unternehmen entscheiden, nicht selbst Mitglied beim RIPE NCC zu werden, wendet es sich an eine sogenannte Sponsoring LIR. Die Sponsoring LIR ist Mitglied und verwaltet den ihm zugewiesenen Adressblock in der RIPE-Datenbank. Mit dem Unternehmen schließt die Sponsoring LIR ein End User Assignment Agreement ab und beantragt dann in dessen Namen IPv6-Adressen beim RIPE NCC. Zusätzlich übernimmt die Sponsoring LIR die gesamte weitere Kommunikation mit dem RIPE NCC, etwa bei einer Änderung der Kontaktdaten oder bei einem Auslaufen des Agreements.²⁶⁵

Provider-Independent-Netz (PI-Netz) – Eigene Mitgliedschaft

Die zweite Möglichkeit ist, dass das Unternehmen selbst zahlendes Mitglied beim RIPE NCC wird. Jedes Unternehmen, das eine Niederlassung in der vom RIPE NCC verwalteten Region besitzt, kann eine LIR werden.²⁶⁶ Mitglieder des RIPE NCC zahlen eine jährliche Servicegebühr für jeden LIR-Account von 1.750 EUR. Für jede PI-Nummernanmeldung kommen 50 EUR hinzu.²⁶⁷ Neumitglieder tragen einmalig eine Anmeldegebühr von 2.000 EUR sowie zusätzlich einen Teil der jährlichen Servicegebühr, abhängig vom Quartal der Anmeldung.²⁶⁸ Durch die Mitgliedschaft erhält das Unternehmen die Möglichkeit direkt mit dem RIPE NCC in Verbindung zu treten.²⁶⁹ Zu den Mitgliedern des RIPE NCC gehören beispielsweise die Firmen Continental, BMW, Bosch oder Tchibo. Diese Adressressourcen werden jedoch nicht für Geräte für den Marktverkauf verwendet.

Stellt beispielsweise Bosch eine Maschine her, die später beim Kunden vernetzt werden soll, wird Bosch diese mit einem Kommunikationsmodul ausstatten. Hier könnte es

²⁶² Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph/ Sack, Harald (2011); ebenda, S. 20f.

²⁶³ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (o.J.): FAQ – Definitions and Terminology; URL: <http://www.ripe.net/lir-services/resource-management/faq/independent-resources/def-terms> (Zugriff am: 01.12.2014).

²⁶⁴ Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph/ Sack, Harald (2011); ebenda, 2011; S. 21.

²⁶⁵ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (o.J.); ebenda.

²⁶⁶ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (o.J.); ebenda.

²⁶⁷ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2013 a): RIPE NCC Charging Scheme 2014; Document ID: ripe-591; Mai 2013.

²⁶⁸ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (o.J.); ebenda.

²⁶⁹ Boeddinghaus, Wilhelm/ Meinel, Christoph/ Sack, Harald (2011); ebenda, S. 21.

sich etwa um ein Funkmodul handeln, das IPv6 als Kommunikationsprotokoll verwendet.

Kriterien für die Nummernvergabe

Der Prozess der Nummernvergabe für LIRs unterscheidet sich im Falle der initialen Vergabe von IPv6-Blöcken und der Vergabe von zusätzlichen IPv6-Blöcken. Die Mindestgröße eines Nummernblocks beträgt /32. Um einen initialen IPv6-Nummernblock von einer Größe bis zu /29 anzufordern, müssen zwei Kriterien erfüllt werden:²⁷⁰

- Zunächst muss es sich bei dem Unternehmen um eine LIR handeln.
- Zweitens muss ein Plan vorhanden sein für die Nummernvergabe an andere Organisationen und/ oder für die Vergabe an Endkunden innerhalb von zwei Jahren, beispielsweise im Falle eines ISPs.

Werden diese beiden Bedingungen erfüllt, können Nummernblöcke von einer Größe bis zu /29 über die IPv6 First Allocation Request Form angefordert werden.²⁷¹ Zusätzliche Dokumente sind nicht notwendig. Nachweise über den Bedarf sind dagegen erforderlich, wenn Blöcke größer als /29 angefordert werden. In diesem Fall wird die Größe des Blocks an der Zahl der aktuellen Nutzer und dem Umfang der Infrastruktur des Antragstellers ausgerichtet. Grundsätzlich wird auch der Umfang der IPv4-Infrastruktur mitberücksichtigt. So könnte die Zahl der derzeitigen IPv4-Nutzer bei der Beantragung eines IPv6-Nummernblocks einen größeren Adressraum rechtfertigen als dies der Fall wäre, wenn nur die IPv6-Infrastruktur berücksichtigt worden wäre.

Ein Beispiel für die Zuweisung eines Blocks von einer Größe über /29 ist die Vergabe eines Blocks von /26 an die Bundesregierung durch die RIPE NCC im Jahr 2009. Die Netzwerkpräfixlänge von /26 entspricht rund 275 Milliarden Subnetzen.²⁷²

Für den Fall, dass eine LIR bereits IPv6-Blöcke besitzt, kann eine Erweiterung jedes einzelnen Blocks auf eine Größe von /29 über die IPv6 Additional Allocation Request Form beantragt werden.²⁷³

Um zusätzliche IPv6-Blöcke zu erhalten, muss eine LIR anhand des sogenannten Host-Density-Verhältnisses (HD-Ratio) nachweisen, dass eine zusätzliche Vergabe von IP-Adressen gerechtfertigt werden kann.²⁷⁴ Das Host-Density-Verhältnis zeigt an, ob die

²⁷⁰ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2013 b): IPv6 Address Allocation and Assignment Policy; Document ID: ripe-589; Mai 2013; S. 6f.

²⁷¹ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (o.J.): FAQ – IPv6; URL: <http://www.ripe.net/lir-services/resource-management/faq/faq-ipv6> (Zugriff am: 01.12.2014).

²⁷² Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (2012): Leitfaden für eine sichere IPv6-Netzwerkarchitektur (ISi-L-IPv6) – BSI-Leitlinien zur Internet-Sicherheit (ISi-L); Version 1.1; URL: https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Internetsicherheit/isi_lana_leitfaden_ipv6_pdf.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff am: 19.01.2015).

²⁷³ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (o.J.): FAQ – IPv6; URL: <http://www.ripe.net/lir-services/resource-management/faq/faq-ipv6> (Zugriff am: 01.12.2014).

²⁷⁴ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2013 b): IPv6 Address Allocation and Assignment Policy; Document ID: ripe-589; Mai 2013; S. 7.

Adressen effizient zugewiesen worden sind und berechnet sich wie folgt: HD-Ratio = $\text{Log}(\text{Anzahl der zugewiesenen Objekte}) / \text{Log}(\text{Zahl der Maximal zuteilbarer Objekte})$.²⁷⁵ Die HD-Ratio ist ein Wert zwischen null und eins und wird in der Regel in Prozent angegeben. Ein Wert von null Prozent ergibt sich, wenn es nur eine Zuweisung gibt. Dagegen bedeutet ein Wert von 100 Prozent, dass ein Objekt allen verfügbaren Adressen zugeteilt ist.²⁷⁶

Nur wenn eine LIR anhand der HD-Ratio nachweisen kann, dass der aktuelle Adressraum effizient genutzt wurde, kann sich das Unternehmen für weitere Nummernressourcen qualifizieren. Durch dieses Verfahren soll verhindert werden, dass Ressourcen durch ineffiziente Nutzung verschwendet werden.

Erfolgt der Nachweis der effizienten Nutzung des vorhandenen Adressraums, wird der LIR automatisch eine Dopplung ihres bisherigen Adressraums zugewiesen. Um mehr Ressourcen als diese Dopplung zu erhalten, muss der Bedarf über einen Zeitraum von zwei Jahren nachgewiesen werden.²⁷⁷

Mit der Zuweisung eines IP-Adressblocks an eine LIR sind neben der effizienten Verwendung auch weitere Pflichten verbunden. So muss beispielsweise die Verwaltung des Adressraums nach bestimmten Standards in der RIPE Datenbank dokumentiert werden, damit das RIPE NCC in der Lage ist, das Host-Density-Verhältnis bei Bedarf zu ermitteln.

Folglich haben Unternehmen verschiedene Möglichkeiten, um IPv6-Adressen zu erhalten. Ob der Bezug von IP-Adressen über den ISP, die Zusammenarbeit mit einer Sponsoring LIR oder die eigene Mitgliedschaft beim RIPE NCC sinnvoller ist, hängt von der individuellen Strategie und Situation des Unternehmens ab.

4.4 Stand der Umstellung auf IPv6

Status quo der Umstellung weltweit und in Deutschland

Voraussetzung für die Migration von IPv4 zu IPv6 ist das Vorhandensein von IPv6-Adressen. Laut einer Studie wurden vor 2007 weltweit über alle regionalen Registraturen monatlich weniger als 30 IPv6-Blöcke vergeben. In den folgenden Jahren stieg die Zahl der monatlich zugewiesenen Adressblöcke auf 300 an und erreichte 2011 einen

²⁷⁵ Vgl.: RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2013 b); ebenda, S. 4.

²⁷⁶ Internet Engineering Task Force (IETF) (2001): Request for Comments (RFC) 3194 - The Host-Density Ratio for Address Assignment Efficiency: An update on the H ratio; November 2001; <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3194.txt.pdf> (Zugriff am: 16.01.2015); S. 3.

²⁷⁷ RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2013 b); S. 7.

Höhepunkt von 470 zugewiesenen Blöcken pro Monat. Ende 2013 wurden weltweit mehr als 300 IPv6-Adressblöcke monatlich vergeben.²⁷⁸

Es gibt verschiedene Schätzungen über den aktuellen Stand der Umstellung auf IPv6. Die OECD gibt an, dass der weltweite Datenverkehr über IPv6 im April 2014 bei etwa 3,5 Prozent lag.²⁷⁹ Google beziffert den weltweiten Anteil seiner Nutzer, die Google via IPv6 erreichen, auf etwa 3,9 Prozent mit Stand November 2014 und rund 6,0 Prozent im Juni 2015. Für Deutschland sieht Google den Stand der Umstellung auf IPv6 bei etwa 11,4 Prozent im November 2014 und rund 15 Prozent im Juni 2015.²⁸⁰

Cisco zufolge betrug dagegen die Umstellung auf IPv6 in Deutschland im Oktober 2014 etwa 38 Prozent und im Juni 2015 rund 40 Prozent.²⁸¹ Der Grund für diese Unterschiede liegt darin, dass die meisten Unternehmen bei ihren Schätzungen den Stand der Umstellung innerhalb ihrer eigenen Kundenbasis betrachten.

Eine weitere Schätzung liefert Akamai Technologies, ein Anbieter von Cloud-Diensten.²⁸² Das Unternehmen betreibt nach eigenen Angaben 160.000 Server in 95 Ländern und transportiert zwischen 15 und 30 Prozent des weltweiten Web Traffics.²⁸³ Zu den Kunden von Akamai zählen beispielsweise Adobe, Airbus, ARD und ZDF. Akamai gibt den Anteil der Anfragen, die es via IPv6 in Deutschland auf seinen Servern erhält, an. Die Entwicklung wird in Abbildung 4-7 dargestellt. Nachdem der Anteil zwischen dem dritten Quartal 2013 und dem ersten Quartal 2014 stieg, sank der Wert im zweiten Quartal 2014. Dies wird auf das aggressive Wachstum der IPv4-Anfragen zurückgeführt.²⁸⁴ Im dritten und vierten Quartal 2014 stieg der Wert wieder an und erreichte 14 Prozent.²⁸⁵

278 Czyz, Jakub et al. (2014): Measuring IPv6 Adoption; University of Michigan; International Computer Science Institute; Arbor Networks, Inc.; Verisign Labs; URL: <http://www.icir.org/mallman/pubs/CAZ+14/CAZ+14.pdf> (Zugriff am: 19.01.2015).

279 OECD (2014 b); ebenda, S. 4.

280 Google (o.J.): IPv6 Statistics; Siehe "IPv6 Adoption" und „Per-country IPv6 Adoption“; URL: <http://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html#tab=per-country-ipv6-adoption> (Zugriff am: 07.11.2014 und 12.06.2015).

281 Cisco 6Lab Website (2014): Global IPv6 Adoption; URL: <http://6lab.cisco.com/index.php> (Zugriff am 13.10.2014 und 12.06.2015).

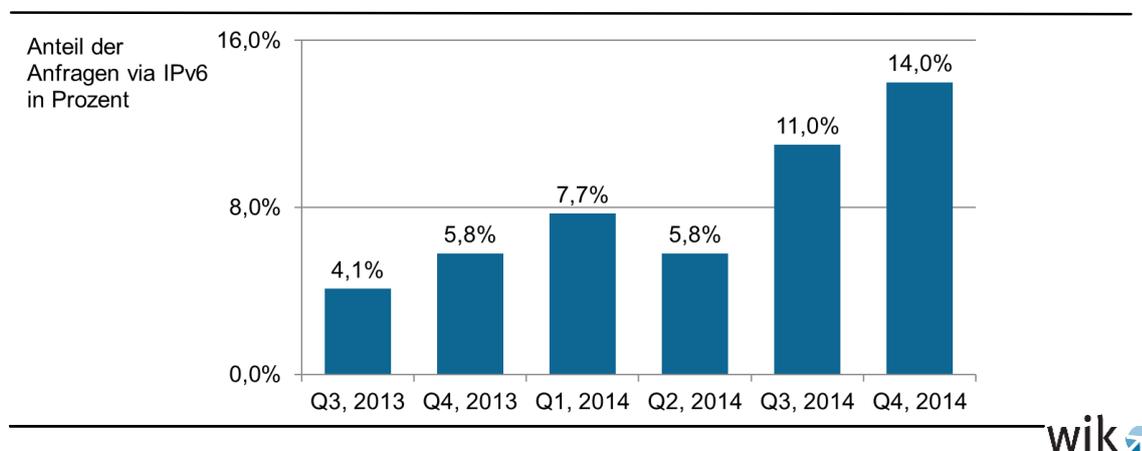
282 Vgl. Akamai Technologies (2014 a), (2014 b), (2014 c), (2014 e).

283 Vgl. Akamai Technologies (2014): Daten & Fakten; URL: http://www.akamai.de/html/about/facts_figures.html (Zugriff am: 16.01.2015).

284 Akamai Technologies (2014 e): Akamai's State of the Internet; Q2 2014 Report; September 2014; S. 16.

285 Akamai Technologies (2015 a): Akamai's State of the Internet; Q3 2014 Report; Volume 7; Number 3; Januar 2015; S. 19 und Akamai Technologies (2015 b): Akamai's State of the Internet; Q4 2014 Report; Volume 7; Number 4; März 2015; S. 15.

Abbildung 4-7: Entwicklung der Anfragen an Akamai Technologies via IPv6 in Deutschland zwischen Q3, 2013 und Q4, 2014



Quelle: WIK nach Akamai Technologies (2014 a), (2014 b), (2014 c), (2014 e), (2015 a), (2015 b)

Stand der Umstellung bei Netzbetreibern und Contentanbietern

Bezogen auf die Netzbetreiber kann unter den deutschen Anbietern basierend auf den Angaben von Akamai ein zunehmend aktiver Rollout von IPv6 beobachtet werden.²⁸⁶ In Tabelle 4-1 wird die Entwicklung des Anteils der Anfragen, die via IPv6 an Akamai gerichtet wurden, zwischen dem dritten Quartal 2013 und den zweiten Quartal 2014 dargestellt.

Tabelle 4-1: Anteil der Anfragen an Akamai Technologies via IPv6 nach deutschen Netzbetreibern zwischen Q3, 2013 und Q4, 2014

| Anteil der Anfragen an Akamai via IPv6 in Prozent | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Netzbetreiber | Q3, 2013 | Q4, 2013 | Q1, 2014 | Q2, 2014 | Q3, 2014 | Q4, 2014 |
| Kabel Deutschland | n.A. | n.A. | 30% | 34% | 34% | 35% |
| Unitymedia KabelBW | n.A. | n.A. | 19% | 22% | 26%* | 28%* |
| Deutsche Telekom AG | 5,0% | 6,8% | 9,2% | 12% | 15% | 20% |

Quelle: WIK nach Akamai Technologies (2014 a), (2014 b), (2014 c), (2014 e), (2015 a), (2015 b); *Unitymedia NRW GmbH

²⁸⁶ Nygren, Erik (2014): IPv6: Sweet Spots of Adoption; In: NetworkComputing.com; 03.03.2014; URL: <http://www.networkcomputing.com/networking/ipv6-sweet-spots-of-adoption/a/d-id/1234689> (Zugriff am: 20.11.2014).

In der Tabelle wird aber auch der unterschiedliche Stand der Umstellung zwischen den Anbietern verdeutlicht. Die OECD sieht für diese Unterschiede im Wesentlichen vier Gründe. Erstens sehen sich die Anbieter mit unterschiedlichen Kosten für die Umstellung auf IPv6 konfrontiert. Die Kosten hängen beispielsweise von der bestehenden Infrastruktur ab. Darüber hinaus stellt die OECD fest, dass die Anforderungen sowie der Nutzen einer IPV6-Umstellung für Wireline Internet Service Provider und Wireless Internet Service Provider deutlich variieren.²⁸⁷ So steigt im mobilen Bereich der Bedarf an IPv6-Adressen stärker als bei traditionellen Breitbanddiensten.

Hinzu kommt, dass mobile Geräte mehrere IP-Adressen gleichzeitig verwenden können, etwa wenn zusätzlich zu anderen Diensten Voice over LTE (VoLTE) verwendet wird. Als dritten Grund für die Unterschiede in der Umstellung zwischen den Netzbetreibern wird der Umstand gesehen, dass einzelne Anbieter möglicherweise versuchen eine dominante Rolle zu übernehmen und die Umstellung schneller voranzutreiben als andere Netzbetreiber. Die Unternehmen könnten eine solche Strategie verfolgen, um sogenannte First-Mover-Advantages zu generieren und einen de facto Standard zu setzen.

Viertens werden die Unterschiede im Engagement durch Unsicherheit erklärt. Die Unsicherheit resultiert aus den unterschiedlichen Erwartungen der Akteure über den Nutzen einer IPv6-Umstellung und die Dauer bis zur Durchdringung des Marktes.²⁸⁸

Hinsichtlich der Contentprovider kann festgestellt werden, dass große Anbieter wie Google und Facebook bereits Verbindungen über IPv6 unterstützen.²⁸⁹ Den Angaben von WorldIPLaunch.org zufolge waren jedoch mit Stand November 2014 erst etwa 14 Prozent der Alexa Top 1.000 Websites bereits über IPv6 erreichbar und bis Juni 2015 stieg dieser Wert auf rund 16 Prozent.²⁹⁰ Wie Abbildung 4-8 veranschaulicht, weisen unter den Alexa Top 10 sowohl in Deutschland als auch weltweit noch viele Contentprovider keine IPv6-Unterstützung auf.²⁹¹

²⁸⁷ OECD (2014 b); ebenda, S. 29.

²⁸⁸ OECD (2014 b); ebenda, S. 29.

²⁸⁹ OECD (2014 b); ebenda, S. 5.

²⁹⁰ WorldIPLaunch.org (2014): Percentage of Alexa Top 1000 websites currently reachable over IPv6; Stand: 21.11.2014; URL: <http://www.worldipv6launch.org/measurements/> (Zugriff am 21.11.2014 und 10.06.2015).

²⁹¹ Vgl. hierzu die Alexa Top 10 Websites Deutschland (URL: <http://www.alexa.com/topsites/countries/DE>) und global (URL: <http://www.alexa.com/topsites>) sowie zur Überprüfung des IPv6-Supports [IPv6-test.com](http://ipv6-test.com) (URL: <http://ipv6-test.com/validate.php>), Stand: 21.11.2014.

Abbildung 4-8: IPv6-Unterstützung bei den Alexa Top 10 Websites in Deutschland und weltweit

| Top 10 Websites nach Alexa in Deutschland | | | Top 10 Websites nach Alexa weltweit | | |
|---|---------------|---------------|-------------------------------------|---------------|---------------|
| Rang | Website | IPv6 Support? | Rang | Website | IPv6 Support? |
| 1 | Google.de | ✓ | 1 | Google.com | ✓ |
| 2 | Facebook.com | ✓ | 2 | Facebook.com | ✓ |
| 3 | Amazon.de | ✗ | 3 | Youtube.com | ✓ |
| 4 | Ebay.de | ✗ | 4 | Baidu.com | ✗ |
| 5 | Youtube.com | ✓ | 5 | Yahoo.com | ✗ |
| 6 | Google.com | ✓ | 6 | Amazon.com | ✗ |
| 7 | Wikipedia.org | ✓ | 7 | Wikipedia.org | ✓ |
| 8 | Web.de | ✗ | 8 | Taobao.com | ✗ |
| 9 | T-online.de | ✓ | 9 | Qq.com | ✗ |
| 10 | Bild.de | ✗ | 10 | Twitter.com | ✗ |

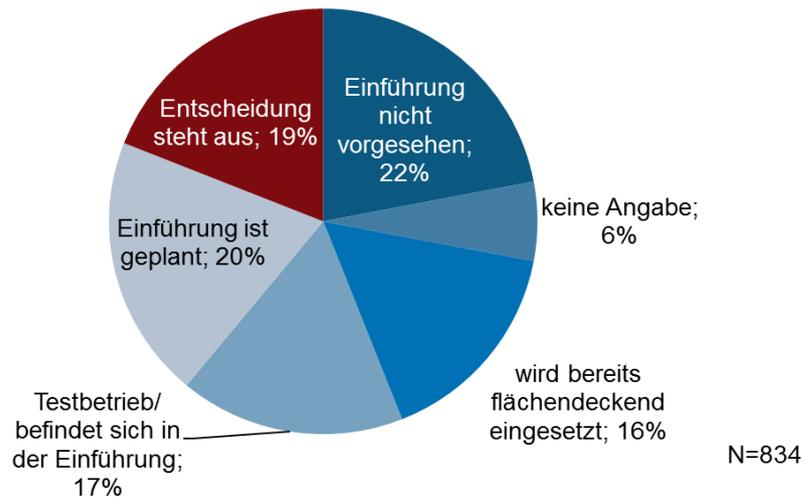
Quelle: WIK nach Alexa und IPv6-test.com (Stand: 10.06.2015)

Stand der Umstellung auf Anwenderseite

Eine Studie, bei der 834 Unternehmen befragt wurden, gibt weitere Anhaltspunkte für den aktuellen Stand der Umstellung auf IPv6 in Deutschland. Demnach sieht eine relativ große Gruppe von 41 Prozent keine Einführung von IPv6 vor oder hat noch keine Entscheidung über die Einführung getroffen (vgl. Abbildung 4-9). Etwa 16 Prozent der Unternehmen geben dagegen an, IPv6 bereits flächendeckend einzusetzen.²⁹²

²⁹² Fetzer, Peter et al. (2014): IPv6-Strategie in deutschen Unternehmen – Eine Studie der Cassini Consulting; Cassini Consulting Frankfurt GmbH (Hg.); Stand: 28.10.2014; S. 8.

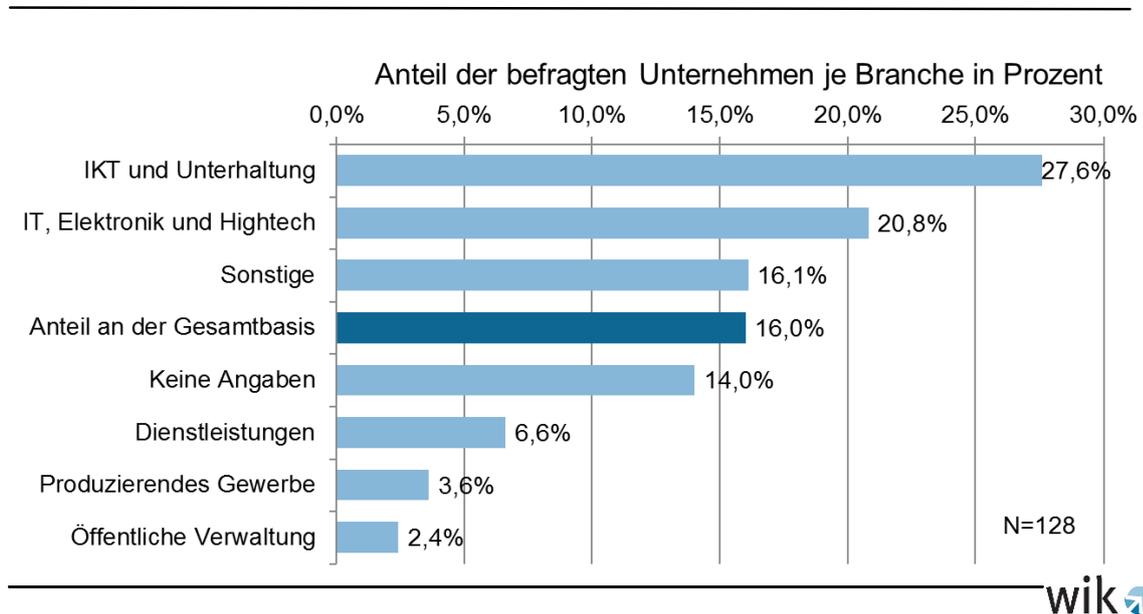
Abbildung 4-9: Stand der Einführung von IPv6 in den befragten Unternehmen in Deutschland (Anteil der Nennungen in Prozent)



Quelle: Fetzer, Peter et al. (2014)

Von den befragten 834 Unternehmen haben entsprechend der vorangegangenen Abbildung bereits 128 Unternehmen IPv6 flächendeckend eingeführt. Innerhalb der einzelnen Branchen haben knapp 28 Prozent der Unternehmen aus der IKT- und Unterhaltungsbranche schon auf das neue Internetprotokoll umgestellt, wie Abbildung 4-10 verdeutlicht. In der IT-, Elektronik- und Hightech-Branche ist mit knapp 21 Prozent der Anteil der Unternehmen, die IPv6 bereits eingeführt haben, ebenfalls höher als der Gesamtdurchschnitt von 16 Prozent. Innerhalb der öffentlichen Verwaltung ist dagegen nur ein Anteil von rund 2,4 Prozent schon zu IPv6 gewechselt und hat es flächendeckend eingeführt.

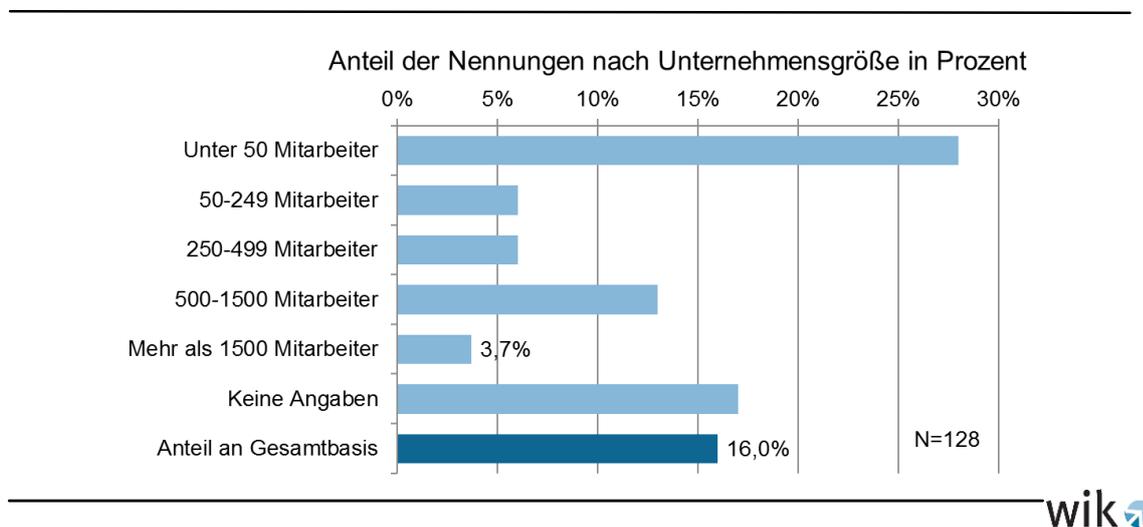
Abbildung 4-10: Anteil deutscher Unternehmen, die IPv6 bereits flächendeckend nutzen, nach Branchen in Prozent



Quelle: Fetzer, Peter et al. (2014)

Bezogen auf die Unternehmensgröße ist der Anteil der Unternehmen, die bereits auf IPv6 umgestellt haben bei kleinen Unternehmen mit weniger als 50 Mitarbeitern am höchsten. Abbildung 4-11 veranschaulicht diese Vorreiterposition. Unter den großen Unternehmen mit mehr als 1.500 Mitarbeitern sind dagegen nur etwa 3,7 Prozent auf IPv6 umgestiegen.

Abbildung 4-11: Anteil deutscher Unternehmen, die IPv6 schon eingeführt haben nach Unternehmensgröße in Prozent



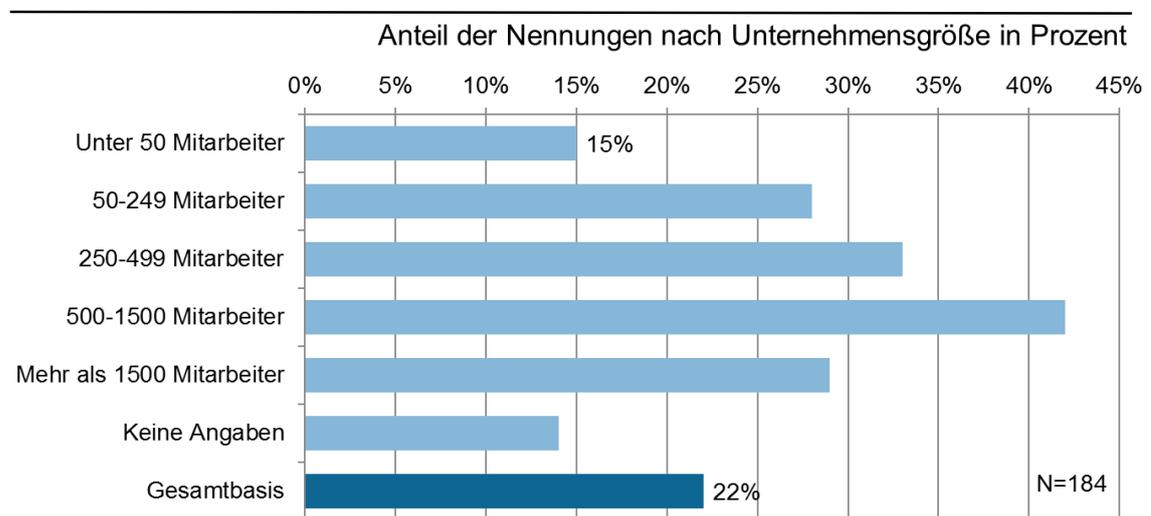
Quelle: WIK nach Fetzer, Peter et al. (2014)

Von den Unternehmen, die IPv6 bereits eingeführt haben, stimmten in der Befragung zudem über 70 Prozent mindestens teilweise zu, dass in den nächsten drei Jahren kein Unternehmen an der Einführung von IPv6 vorbei kommen würde. In der Gruppe der Unternehmen, die noch keine Entscheidung über die Einführung von IPv6 getroffen haben, stimmten dieser Aussage zwei Drittel der Unternehmen mindestens teilweise nicht zu. Hinsichtlich der Gründe geben die befragten Unternehmen, die noch keine Entscheidung über eine Einführung von IPv6 getroffen haben, am häufigsten an, dass keine Notwendigkeit gesehen wird. An zweiter Stelle folgt die Begründung, dass keine ausreichenden Vorteile in einer Einführung gesehen werden.²⁹³

184 der 834 befragten Unternehmen wollen IPv6 gar nicht einführen. Stark vertreten, verglichen mit anderen Branchen, sind die Unternehmen im produzierenden Gewerbe, im Dienstleistungsbereich und in der öffentlichen Verwaltung.²⁹⁴

Wie bereits erwähnt wurde, wiesen kleine Unternehmen den höchsten Anteil derjenigen Betriebe auf, die bereits IPv6 eingeführt haben. Im Gegensatz dazu findet sich der höchste Anteil von Unternehmen, die sich gegen IPv6 entschieden haben, bei Organisationsgrößen von 500 bis 1.500 Mitarbeitern (vgl. Abbildung 4-12).

Abbildung 4-12: Anteil deutscher Unternehmen, die sich gegen eine Einführung von IPv6 entschieden haben nach Unternehmensgröße in Prozent



Quelle: WIK nach Fetzer, Peter et al. (2014)

Wie auch bei den Unternehmen, die noch nicht über eine Einführung von IPv6 entschieden haben, begründen die Gegner einer IPv6-Einführung ihre Haltung mit der aus

²⁹³ Fetzer, Peter et al. (2014); ebenda, S. 22.

²⁹⁴ Fetzer, Peter et al. (2014); ebenda, S. 24.

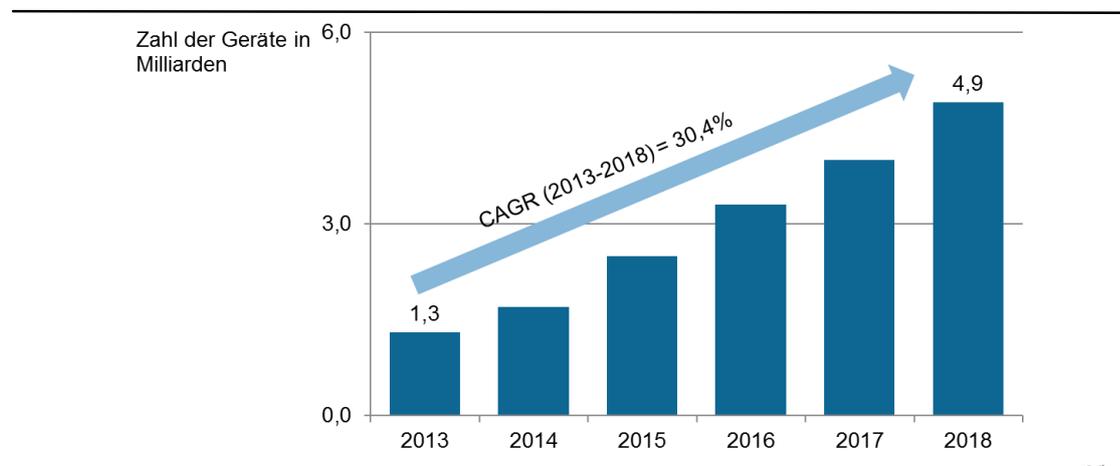
ihrer Sicht fehlenden Notwendigkeit und den mangelnden Vorteilen, die sich aus einer Einführung ergeben. An dritter Stelle steht die Begründung, dass zu hohe Risiken und zu viele Probleme mit einer Einführung verbunden sind.²⁹⁵

Entwicklung der Zahl IPv6-fähiger Geräte

Cisco hat die IPv6-Umstellung als einen der Top Global Mobile Networking Trends identifiziert. Nach Einschätzung des Unternehmens wird die Diskussion um IPv6 von der Frage, ob die Umstellung kommt, zur Frage, wie schnell sie erfolgen wird, wandern. Treiber für diese Verschiebung werden etwa in der zunehmenden Zahl der IPv6-fähigen Geräte und der Content-Verfügbarkeit und der Netzumstellung hin zu IPv6 gesehen.²⁹⁶ Dies würde eine eher angebotsgetriebene Umstellung auf IPv6 bedeuten.

Folglich sagt Cisco ein durchschnittliches jährliches Wachstum von rund 30 Prozent für IPv6-fähige Geräte zwischen 2013 und 2018 voraus (vgl. Abbildung 4-13). Von etwa 1,3 Milliarden Geräten in 2013 würde die Gerätezahl bis 2018 auf etwa 4,9 Milliarden ansteigen.

Abbildung 4-13: Entwicklung der IPv6-fähigen Geräte weltweit zwischen 2013 und 2018 in Milliarden



Quelle: WIK nach Cisco (2014)

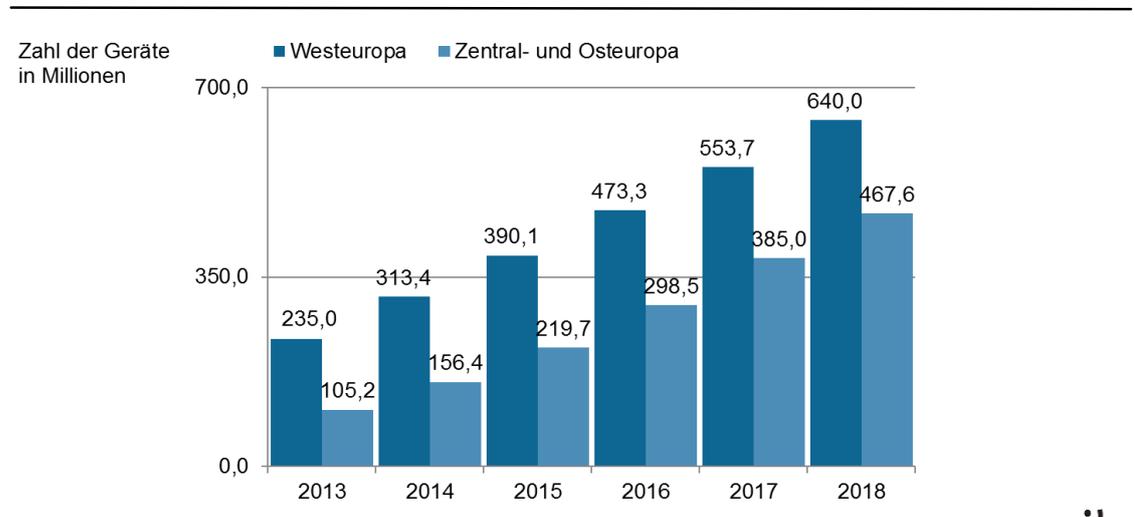
Wie Abbildung 4-14 zeigt, wird bezogen auf Zentral- und Osteuropa sogar ein durchschnittliches jährliches Wachstum von rund 35 Prozent prognostiziert. Westeuropa wird laut Cisco ein Wachstum der Gerätezahlen von durchschnittlich rund 22 Prozent pro Jahr erreichen.²⁹⁷

²⁹⁵ Fetzer, Peter et al. (2014); ebenda, S. 26.

²⁹⁶ Cisco (2014); ebenda, S. 31.

²⁹⁷ Cisco (2014); ebenda, S. 39.

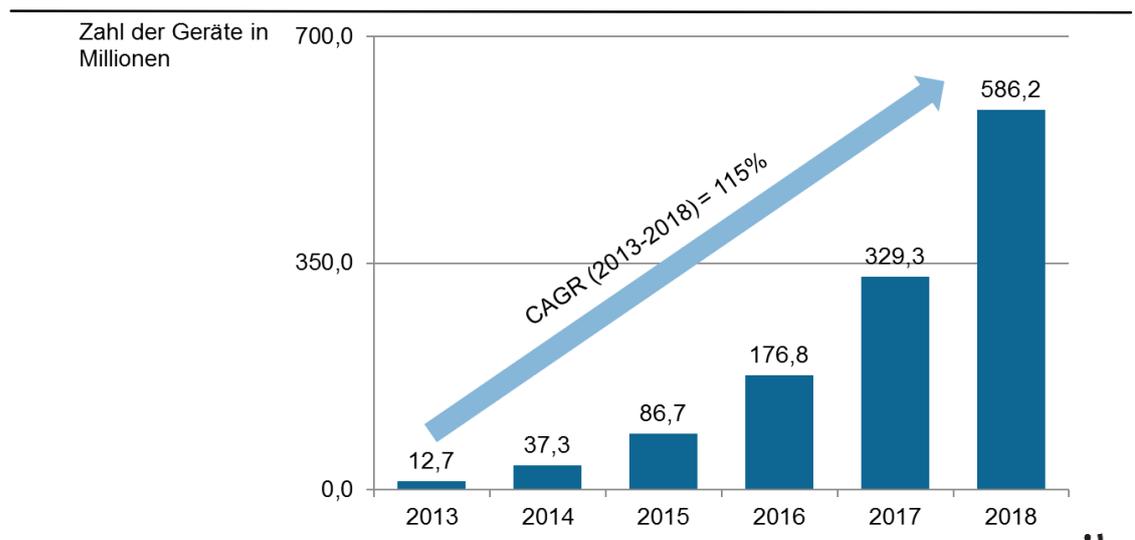
Abbildung 4-14: Entwicklung der IPv6-fähigen Geräte in Westeuropa sowie in Zentral- und Osteuropa zwischen 2013 und 2018 in Millionen



Quelle: WIK nach Cisco (2014)

Hinsichtlich der Entwicklung im Bereich M2M wird die Zahl der IPv6-fähigen Geräte von weltweit etwa 12,7 Millionen in 2013 auf rund 586 Millionen in 2018 anwachsen, was einem CAGR von rund 115 Prozent entspricht (vgl. Abbildung 4-15).²⁹⁸ Von den rund 4,9 Milliarden IPv6-fähigen Geräten in 2018 entfallen damit knapp 12 Prozent auf M2M.

Abbildung 4-15: Entwicklung der IPv6-fähigen M2M-Geräte weltweit zwischen 2013 und 2018 in Millionen



Quelle: WIK nach Cisco (2014)

²⁹⁸ Cisco (2014); ebenda, S. 39.

Es kann festgehalten werden, dass die Notwendigkeit einer Migration von IPv4 zu IPv6 noch nicht von der breiten Masse der Unternehmen mitgetragen wird. Darauf lässt auf der Anwenderseite insbesondere die vorgestellte Befragung deutscher Unternehmen schließen. Auch die detailliertere Betrachtung von Netzwerkanbietern und Contentprovidern ergibt teilweise deutliche Unterschiede zwischen dem Grad der IPv6-Umstellung und -Unterstützung.

Treiber und Hemmnisse

Im Sinne einer Zwischenbilanzierung können nach heutigem Stand als Hemmnisse der Migration an dieser Stelle folgende Faktoren identifiziert werden:

- Es fehlt ein einflussreicher Akteur, der eine Umstellung von IPv4 zu IPv6 durchsetzen kann.
- Aufgrund der Verfahren zum Parallelbetrieb von IPv4 und IPv6 wird der Druck reduziert, auf IPv6 umstellen zu müssen.
- Die Unsicherheit über die Kosten und den Nutzen einer Umstellung lassen viele Akteure abwarten.

Mit Blick auf die Treiber der Migrationsentwicklung können folgende Aspekte festgehalten werden:

- Die steigende Zahl vernetzter Geräte und Maschinen im Kontext von M2M bzw. Industrie 4.0 machen eine Umstellung auf IPv6 erforderlich, um über eine ausreichende Anzahl von IP-Adressen zu verfügen. Die Hersteller IPv6-fähiger Geräte können demnach als die treibenden Kräfte und wichtige Stakeholder der Migration gesehen werden.
- Nutzenstiftende Anwendungen im Bereich Smart Home führen ebenfalls zu einem starken Wachstum IPv6-fähiger Endgeräte. Zudem profitieren positive Entwicklungen von energieeffizienten Funktechnologien auf IPv6-Basis.

5 Treiber, Hemmnisse und Herausforderungen für M2M bzw. Industrie 4.0 in Deutschland

Herausforderungen für die breite Implementierung der M2M-Kommunikation bzw. Industrie 4.0-Anwendungen gibt es sowohl bei technischen Aspekten als auch bei betriebswirtschaftlichen und arbeitsorganisatorischen Fragen. Zu den eher technischen Aspekten gehören insbesondere die schleppende Migration zu IPv6, die Entwicklung von Standards sowie die (IT-)Sicherheit. Zu den betriebswirtschaftlichen und arbeitsorganisatorischen Herausforderungen zählen Fragen der betriebsorganisatorischen Implementierung, die Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle und die Nutzerakzeptanz.

5.1 Technische Herausforderungen

Verzögerte Umstellung auf IPv6 und mögliche Gründe

Die Verfügbarkeit der erforderlichen Infrastruktur wird von Branchenexperten teilweise als Herausforderung auf dem Weg zu Industrie 4.0 und damit M2M gesehen. Unter Infrastruktur fällt dabei nicht nur der Ausbau von Hochgeschwindigkeitsnetzen in der Fläche, sondern auch die Migration zu IPv6.²⁹⁹ Aus den für diese Studie geführten Expertengesprächen kann festgehalten werden, dass IPv6 als starker Enabler für M2M gesehen wird, obwohl die Entwicklung insgesamt eher schleppend verläuft.

Gründe für die Verzögerung sind unter anderem die Kosten der Umstellung. Dazu gehören nicht nur die Investitionen in Hard- und Software, sondern auch Learning Costs. Diese entstehen dadurch, dass der neue Standard erlernt werden muss und beispielsweise Mitarbeiter geschult werden müssen. Hinzu kommt die Unsicherheit bezüglich des Nutzens von IPv6, wie die Umfrage unter deutschen Unternehmen in Abschnitt 4.4 zeigte.³⁰⁰ Bestätigt wurde dies in den Expertengesprächen, in denen kritisch angemerkt wurde, dass die Migration zu IPv6 nicht als Herausforderung erkannt, sondern eher unterschätzt wird.

Die OECD sieht die zögerliche Umstellung unter anderem darin begründet, dass lange Zeit versucht wurde, den Einsatz von IPv4 so lange wie möglich zu sichern. Der Anreiz der Anwender, auf IPv6 umzustellen, wird zudem dadurch verringert, dass bisher der Eindruck erweckt wurde, IPv4 werde auf absehbare Zeit noch weiter unterstützt.³⁰¹ Ein weiterer Grund für die schleppende Migration kann in dem Umstand gesehen werden, dass es keinen sogenannten "day of truth" (Stichtag wie etwa der 01.01.2000) gibt.

²⁹⁹ Ferber, Stefan (2013): Jenseits von M2M – Das Internet der Dinge und Dienste in der Industrie. In: Jörg Eberspächer/ Uwe Kubach (Hg.): M2M und das Internet der Dinge – Vom Hype zur praktischen Nutzung; Münchner Kreis – Übernationale Vereinigung für Kommunikationsforschung e.V.; S. 32-45; hier: S. 44.

³⁰⁰ Fetzer, Peter et al. (2014); ebenda, S. 22.

³⁰¹ OECD (2014 b); S. 5.

Um für die Notwendigkeit und den Nutzen des Nachfolgeprotokolls zu sensibilisieren, wurden Aktionstage initiiert. So fand beispielsweise der World IPv6 Day am 8. Juni 2011 statt, der als Feldtest in Deutschland diente.³⁰² Ein anderer „Stichtag“ war der World IPv6 Launch Day am 6. Juni 2012. Dieser diente dazu, die Aufmerksamkeit für das Thema zu erhöhen. Außerdem erfolgte an diesem Tag die Umstellung auf den sogenannten Dual-Stack-Modus durch einige Websites und Onlinedienste.³⁰³

In der Vergangenheit gab es auch Versuche von Regierungen, die Nachfrage nach IPv6-Adressen durch Anreizsetzung zu steigern. So bemühten sich etwa die asiatischen Regierungen, die Akteure mit Steuervergünstigungen zu locken.³⁰⁴

Andere Regierungsinitiativen versuchten, über Stichtage für die Einführung von IPv6 in der öffentlichen Verwaltung auch die private Nachfrage nach IPv6 zu stimulieren. In den USA sollten die Bundesbehörden IPv6 bis zum Juni 2008 eingeführt haben. Obwohl diese Frist nicht von allen Behörden erreicht wurde, wird dennoch angenommen, dass dadurch die Umstellung bei privaten Dienstleistern und Zulieferern der Verwaltung angeregt wurde. Ein weiteres Beispiel für indirekte Anreize privater Unternehmen durch die Umstellung des öffentlichen Sektors auf IPv6 ist Schweden. Dort entschied die Regierung im Jahr 2011, dass alle schwedischen Behörden und Gemeinden bis 2013 auf IPv6 umgestellt haben sollen. Diese Verpflichtung ging mit einer breiten Informationskampagne einher.³⁰⁵

Singapur entschied sich dagegen für eine direktere Einflussnahme auf private Unternehmen. Hier wurden die öffentlichen Behörden durch die Infocomm Development Authority (IDA) Singapurs bei der Umstellung auf IPv6 unterstützt und es wurden Informationsmaterialien sowie eine IPv6-Plattform entwickelt. Die Plattform stellt den Kontakt zu Organisationen her, die bei der Migration zu IPv6 unterstützen können. Zusätzlich wurden große Websitebetreiber und Banken des Landes bei ihrer Umstellung auf IPv6 unterstützt, indem Teile ihrer Entwicklungsinvestitionen finanziert wurden.³⁰⁶

Die im Rahmen der vorliegenden Studie konsultierten Experten lehnen die Übertragung dieser Maßnahmen auf Deutschland aus ordnungspolitischen Gründen ab, da die Motive und politischen Systeme nicht vergleichbar seien. Darüber hinaus seien staatliche Maßnahmen zur Beschleunigung der Migration unangebracht, da die Entwicklung marktgetrieben verlaufen solle. Die Unternehmen müssten selbst die Notwendigkeit und die Vorteile einer Migration erkennen. Die Vorteile von IPv6 sollten aus sich selbst heraus überzeugen und sich marktkonform durchsetzen.

302 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2011 b): Strategiepapier zur Förderung der Einführung von IPv6 – AG2 Sonderthemenengruppe „Einführung von IPv6“; Nationaler IT-Gipfel 2011, München; November 2011; S. 7.

303 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2011 b); ebenda, S. 8 und Siemens AG (2013): IPv6 in der Automatisierungstechnik – White Paper V1.0; Januar 2013; S. 4.

304 o.V. (2004): IPv6: Gewinner verzweifelt gesucht. In: heise online; 18.01.2004; URL: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/IPv6-Gewinner-verzweifelt-gesucht-91857.html> (Zugriff am: 09.09.2014).

305 OECD (2014 b); ebenda, S. 41.

306 OECD (2014 b); ebenda, S. 41.

Übertragungstechnik und (Ruf-)Nummernressourcen

M2M-Anwendungen werden insbesondere über Mobilfunklösungen realisiert. Ob daraus folgend die Rufnummernressourcen knapp werden könnten, ist derzeit noch nicht abzusehen. Hierzu muss die Auswertung der Stellungnahmen der aktuellen Marktbefragung der BNetzA abgewartet werden.

In den für diese Studie geführten Expertengesprächen wurde mehrheitlich der Standpunkt vertreten, dass es sich bei der Frage einer eventuellen Knappheit von Rufnummernressourcen für M2M nicht um ein vordringliches Thema handelt. Bei M2M kämen verschiedene Übertragungswege und -techniken zum Einsatz und eine ausschließliche Fokussierung der verfolgten Lösungen auf den Mobilfunk sei nicht erkennbar.

Hinsichtlich der Mobilfunknetze empfiehlt die Projektgruppe M2M (Internet der Dinge) in der Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels, den Aufbau durchgängig verfügbarer, breitbandiger Mobilfunknetze, um möglichst 100 Prozent der Fläche Deutschlands abzudecken. Dem Standard LTE wird dabei als Übertragungstechnologie für M2M-Anwendungen eine hohe Bedeutung zugeschrieben.³⁰⁷ Darüber hinaus wird vorgeschlagen, für kritische M2M-Anwendungen eigene Netze bzw. Übertragungsressourcen vorzusehen. Für M2M-Anwendungen sollte dann ein bestimmtes Frequenzband reserviert werden.³⁰⁸ Die nicht hinreichende Verfügbarkeit von mobilen (und fixen) Breitbandnetzen in der Fläche wurde auch von anderen befragten Experten als ein Hemmnis für M2M-Anwendungen sowie Industrie 4.0 hervorgehoben. Der Mobilfunk werde die zentrale Übertragungstechnik für M2M sein, auch wenn daneben noch andere Übertragungstechniken existieren.

Zentrale Herausforderung für M2M sei, dass die Übertragungstechnik ausreichende Datenmengen und kurze Latenzzeiten bewältigen könne. Einige Experten verwiesen hierbei auf die Charakteristika der 5G-Technologie, welche kurze Latenzzeiten und hohe Kapazitäten ermöglicht und damit einen wichtigen Baustein für die Zukunft darstellt.

In den Expertengesprächen wurde auch deutlich, dass ohne die energieeffiziente Ausgestaltung der M2M-Module und Übertragungswege eine breitenwirksame Durchsetzung von M2M nicht zu erwarten sei. Wenn die Zahl der eingesetzten Sensoren steigt, gewinnen Technologien wie LPWAN oder die Entwicklung tragfähiger Energy-Harvesting-Lösungen an Bedeutung.

Grundsätzlich wurde von einigen der Experten darauf verwiesen, dass die Frequenzpolitik und Funknetzplanung stärker diskutiert werden müssen. Vor dem Hintergrund der sehr unterschiedlichen Anforderungen von M2M-Anwendungen müsse geklärt werden,

³⁰⁷ Nationaler IT-Gipfel (2014 b): M2M – Querschnittstechnologie für die vernetzte Gesellschaft; Arbeitsgruppe 2; Vernetzte Anwendungen und Plattformen für die digitale Gesellschaft; Projektgruppe M2M (Internet der Dinge); Oktober 2014; S. 12.

³⁰⁸ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2011 a): Machine-to-Machine-Kommunikation - eine Chance für die deutsche Industrie – AG2 Kompetenznetzwerk Machine-to-Machine-Kommunikation; Nationaler IT-Gipfel 2011; München, November 2011; S. 11.

welche M2M-Anwendung zukünftig unter welchem Regime und auf welcher Frequenz laufen sollte. Würde sich beispielsweise die breite Vernetzung von Automobilen durchsetzen, könnte diese nicht über das öffentliche Funknetz gesteuert werden.

Elektronische Standards

Die im Rahmen dieser Studie befragten Experten vertraten unterschiedliche Ansichten bezüglich des Bedarfs an elektronischen Standards. Einige Experten vertraten die Ansicht, dass es nicht der Entwicklung neuer Standards bedürfe, sondern mehr Transparenz über die bereits existierenden Standards geschaffen werden müsse. Es müsse dann in einem zweiten Schritt mehr für deren Implementierung und die Anpassung der entsprechenden Nutzungsumgebung getan werden.

Die Projektgruppe Kompetenznetzwerk Machine-to-Machine-Kommunikation der AG2 des Nationalen IT-Gipfels hat als Einschränkung für die Inbetriebnahme von M2M-Anwendungen zwei Punkte identifiziert. Erstens fehlen gemeinsame Mindeststandards der Hersteller von M2M-Komponenten für Funktionalitäten und Bedienbarkeit. Zweitens gibt es auf Seiten der Netzbetreiber, insbesondere der Mobilfunkbetreiber, kein gemeinsames Regelwerk für die Interoperabilität der M2M-Kommunikation.³⁰⁹

Darüber hinaus bemängelt die Projektgruppe, dass es hinsichtlich der Anwenderprotokolle für M2M-Lösungen keine allgemeingültigen Standards gibt. Daher sei die Dokumentation von Best Practices zur Protokollauswahl und zur Entwicklung von fehlenden Funktionen wie Beschreibungs- und Entdeckungsprotokollen notwendig.^{310 311}

Beschränkung des Herausgaberechts von SIM-Karten / Modulen

Die OECD sieht die in Deutschland geltende Beschränkung der SIM-Kartenausgabe auf Frequenzinhaber und Hersteller für Versuchszwecke als ein Hemmnis für die weitere Entwicklung von M2M an. Daher empfiehlt sie, auch Dritten die Möglichkeit der SIM-Kartenausgabe zu gewähren.³¹²

In den Gesprächen, die für diese Studie geführt wurden, unterstrichen die Experten jedoch, dass sie die Aufhebung der Beschränkung nicht für realistisch und eher für ein

³⁰⁹ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2011 a); ebenda, S. 17.

³¹⁰ Nationaler IT-Gipfel (2014 a): Ergebnisbericht 2013 – Projektgruppe M2M Initiative Deutschland; Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels (AG2); Digitale Infrastrukturen als Enabler für innovative Anwendungen; 15.03.2014; S. 15.

³¹¹ DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (2013): Die deutsche Normierungs-Roadmap Smart Home + Building – Status, Trends und Perspektiven der Smart Home + Building-Normierung; VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (Hg.); November 2013; S. 53.

Im Bereich Smart Home konkurrieren etwa die KNX Association, die ZigBee Alliance und die Smart Home Plattform QIVICON um die Durchsetzung ihres jeweiligen Standards. Diese Konkurrenz zwischen den verschiedenen Standards sieht etwa der Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) als das „[...]“ zentralste Hemmnis für eine dynamische Marktentwicklung [...].“ Die „[...]“ Gewährleistung von Interoperabilität zwischen den heute existierenden Lösungen mittels einer Brückentechnologie [...]“ sei daher von zentraler Bedeutung.

³¹² OECD (2014 a): OECD-Wirtschaftsberichte Deutschland – Zusammenfassung; Mai 2014; S. 24.

Scheingefecht halten. Dieses würde von den wesentlichen Herausforderungen ablenken.

(IT-)Sicherheit, Informationsschutz, Datenschutz

Die wirtschaftlichen Potenziale von M2M bzw. Industrie 4.0-Anwendungen können nach einhelliger Meinung der befragten Experten nur ausgeschöpft werden, wenn (grenzüberschreitend) alle Prozessketten und alle involvierten technischen Elemente und Komponenten durchgehend digitalisiert und über das Internet in ein globales Kommunikationsnetz eingebunden werden. Die vollständige digitale Integration und Vernetzung avancieren damit gewissermaßen zum entscheidenden Wesensmerkmal künftiger Industriegesellschaften bzw. Wirtschaftsformen. Ohne den Einsatz von IKT sind heute weder Wasser- noch Stromversorgung, zeitgemäße Transport- und Logistiksysteme, die Gesundheitsversorgungssysteme oder ein wettbewerbsfähiger Maschinen- und Automobilbau möglich.

Alle Konzepte der Digitalisierung basieren darauf, dass auch in einer vollständig vernetzten Welt die Funktionstauglichkeit, Verlässlichkeit und Verfügbarkeit oft lebenswichtiger Infrastruktur- und Produktionssysteme vollständig gewährleistet bleiben. Dies gilt allerdings nicht in Bezug auf den IT-Einsatz, sondern generell. Insofern gewinnt die Herstellung von Sicherheit durch die Zunahme der Vernetzung und der Komplexität erheblich an Bedeutung, der im Kontext von Industrie 4.0 in besonderer Weise Rechnung getragen werden muss.

Mit jedem Schritt in die digitalisierte Welt aber nehmen die Verletzlichkeiten und die Abhängigkeiten zu, weil immer mehr Akteure immer mehr Zugriffsmöglichkeiten auf immer mehr Maschinen, Anlagen oder sonstige technische Gegenstände im Internet-of-Things erhalten. Deshalb kommt der IT-Sicherheit – neben der Sicherheit – eine besondere Bedeutung zu.

Alle Vorstellungen zu Industrie 4.0 basieren idealtypisch auf der Erwartung, dass in einer 4.0 Welt alle erzeugten und versendeten Daten und Informationen manipulationsicher übertragen werden und ihre Integrität in Gegenständen, Datenbanken oder auf Cloud-Servern unangetastet bleibt. Schließlich basieren alle entsprechenden Überlegungen darauf, dass die in vielen 4.0-Anwendungskontexten entstehenden persönlichen Daten etwa von Arbeitnehmern oder Kunden oder Patienten im Gesundheitswesen sicher gegen unerlaubte Zugriffe Dritter geschützt sind und so den Anforderungen des Datenschutzes und seinen Anforderungen zur Wahrung der Vertraulichkeit Rechnung getragen wird.

Wie die alltägliche Berichterstattung in den Medien lehrt, halten derartige Erwartungen und Überlegungen jedoch keineswegs Stand in Bezug auf die konkret erfahrbaren Entwicklungen der letzten Jahre. Vielmehr konstatieren Experten und die einschlägigen Institutionen bereits seit geraumer Zeit einen Trend zur Professionalisierung der Internetkriminalität, deren Ausdehnung u. a. auf dem einfachen Zugang selbst zu komple-

xesten und überaus mächtigen Angriffstools basiert. Alleine die Deutsche Telekom registriert täglich bis zu einer Million Angriffe auf ihre Netz- und Serverinfrastruktur. Industrieanlagen sind jedoch nicht nur ein hochattraktives Ziel für die Internetkriminalität, sondern auch für die Konkurrenzspionage durch Wettbewerber und staatliche Dienste. Nach Angaben des Bundeskriminalamtes entsteht deutschen Unternehmen durch Konkurrenzspionage ein jährlicher Gesamtschaden von rund 4,2 Mrd. Euro und bereits jedes zweite Unternehmen wurde Opfer eines Cyberangriffs.

Das Deutsche Bundesamt für Informationstechnik (BSI) sowie das Computer Emergency Response Team (CERT) beobachten jeden Tag rund 30.000 unautorisierte Zugriffsversuche auf das Regierungsnetz. Im Mai 2015 wurde durch einen gezielten Angriff das gesamte Kommunikationsnetz (Parlakom) des Deutschen Bundestages kompromittiert und bis in die Hardware hinein mit Schadcodes infiltriert. 2013 stieg die Zahl von Angriffen auf die IT-Sicherheit von Unternehmen um nahezu 50 Prozent auf rund 43 Mio. an. Der dabei entstehende Schaden wird weltweit auf bis zu 575 Mrd. USD geschätzt. Dabei sind all jene Kosten noch nicht berücksichtigt, die dadurch entstehen, dass Anwendungen aus Furcht vor Missbrauch und potenziellen Schadwirkungen unterbleiben.

Genährt wird die grundlegende Skepsis hinsichtlich der IT-Sicherheit bei M2M und Industrie 4.0 aber auch durch einschlägige Vorfälle wie den Cyber-Angriff auf ein deutsches Stahlwerk im Jahr 2014. Bei diesem Angriff wurde ein Hochofen stark beschädigt. Die Angreifer hatten durch Spear-Phishing, also durch gefälschte, an Mitarbeiter gerichtete eMails, Zugriff auf das Verwaltungsnetzwerk erhalten und waren von dort bis in die Produktionsrechner vorgedrungen. In der Folge fielen Steuerungskomponenten aus und der Hochofen konnte nicht geregelt heruntergefahren werden.³¹³

Ein weiteres Beispiel ist das Ausspähen der Authentifizierungscodes auf SIM-Karten des französisch-niederländischen Herstellers Gemalto durch Geheimdienste im Jahr 2010 und 2011. Der Marktanteil Gemaltos bei SIM-Karten für mobile Kommunikation beträgt Schätzungen zufolge 50 Prozent. Die Geheimdienste fingen die Authentifizierungscodes in dem Moment ab, als Gemalto sie an die Netzbetreiber übermittelte. Die Vorfälle wurden Anfang 2015 bekannt.³¹⁴

Diese wenigen Beispiele zeigen, dass sich IT-Sicherheit von einer Schutz- und Abwehrmaßnahme zu einem zentralen Element der staatlichen Daseinsvorsorge zu wandeln beginnt.³¹⁵ Dies gilt in besonderem Maße für M2M- und Industrie 4.0-Anwendungen, da hier von einer künftig durchgängigen, umfassenden und globalen Vernetzung von vielen oder beinahe fast allen Produkten und Prozessen in der industriellen Wertschöpfung ausgegangen werden muss und die Zahl der Angriffspunkte im

³¹³ Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2014): Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2014; November 2014; S. 31.

³¹⁴ Klimm, Leo (2015): Wie sicher sind SIM-Karten? In: Süddeutsche Zeitung; 26.02.2015.

³¹⁵ Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)(2015): Selbstbestimmt und sicher in der digitalen Welt, S. 3.

Zuge der globalen Migration ins nahezu Unüberschaubare wächst. Einige der von uns befragten Experten sind der Überzeugung, dass die vorhandenen IT-Sicherheitstools für die künftigen Herausforderungen hinreichend sind. Die Mehrheit ist jedoch zu der Einsicht gelangt, dass sich im industriellen Umfeld viele Fragen für die IT-Sicherheit anders und teilweise völlig neu bzw. anders stellen als in den bisherigen Anwendungskontexten Home bzw. Büro und daher auch vollständig neue (System-)Lösungen erforderlich werden³¹⁶:

- die Lebenszyklen vieler Maschinen und Komponenten folgen eigenen Gesetzmäßigkeiten und weisen oft eine sehr hohe Lebensdauer auf (so besitzen beispielsweise eine Elektrolok der Deutschen Bahn oder eine Kraftwerksturbine von Siemens eine Lebensdauer von über 30 Jahren),
- die Betriebssysteme der zunehmend verbreiteten Embedded Systems z. B. in NC-Werkzeugmaschinen werden selten oder kaum upgedated und veralten daher mit z. T. gravierenden Folgen für die Entstehung von Sicherheitslücken,
- Wartungsfenster etwa für Updates der Software der Steuerungskomponenten unterliegen ebenfalls oft langen zeitlichen Rhythmen. Viele Anlagen laufen rund um die Uhr, d. h., dass Wartungsintervalle nur sehr selten zur Verfügung stehen,
- es existiert im industriellen Umfeld eine extrem hohe Heterogenität an Komponenten, Lösungen und Maschinen, die den Einsatz standardisierter Lösungen häufig erschweren oder gar verunmöglichen,
- nicht alle Anlagen verfügen über standardisierte Schnittstellen, was Implikationen für die Kosten mit sich bringt
- durch die Verknüpfung von Anlagen zu Produktionsverbänden steigt die Komplexität in einem Maße an, dass adäquate Planungswerkzeuge und Erklärungsmodelle entwickelt werden müssen, um diese Komplexität und Unüberschaubarkeit beherrschen zu lernen.

Neben diesen und weiteren Aspekten weist die Projektgruppe M2M Initiative Deutschland des Nationalen IT-Gipfels zudem auf das Problem hin, dass – mit Blick auf die steigende Zahl zugreifender Akteure - häufig keine oder nur sehr schwache Authentifizierungen für Benutzerzugriffe implementiert werden.³¹⁷ Daher werden für viele Anwendungsfälle ein ausgefeiltes Rollenmanagement und eine nutzerfreundliche Systematik der Authentisierungsfunktion erforderlich.

Es ist vor diesem Hintergrund folgerichtig, nachhaltige IT-Sicherheitslösungen am Lebenszyklus von industriellen Anlagen zu orientieren und industrielle Besonderheiten wie

316 Vgl. z. B. Büllingen, Franz et al. (2008): Industriepolitische Auswirkungen von sicheren IT-Plattformen auf Basis der „Trusted Computing“ (TC) Technologie, Studie im Auftrag des BMWi, Bad Honnef, März.

317 Nationaler IT-Gipfel (2014 a): Ergebnisbericht 2013 – Projektgruppe M2M Initiative Deutschland; Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels (AG2); Digitale Infrastrukturen als Enabler für innovative Anwendungen; 15.03.2014; S. 15.

z. B. Echtzeitanforderungen oder ein konsequentes Rollenmanagement (z. B. bei häufig wechselnden Schichtarbeitern) zu berücksichtigen. Ferner spielt die Integration von IT-Sicherheitslösungen ohne Ausfallzeiten in laufende Systeme und neu vernetzte Produktionsumgebungen eine wichtige Rolle, für die bisher kaum Erfahrungen vorliegen.

Ein weiterer Punkt besteht in der Entwicklung von standardisierten und skalierbaren Lösungen etwa zur sicheren Kopplung von Prozesssteuerungssystemen, die es unter Produktionsbedingungen zu implementieren gilt. Schließlich spielen Haftungsfragen und Fragen der Mitarbeiterschulung eine zentrale Frage bei der Umsetzung und der Akzeptanz von IT-Sicherheitslösungen.³¹⁸

Und schließlich stellt sich im Kontext von (IT-)Sicherheit die Frage, auf welche Weise in künftig neu entstehenden Wertschöpfungsnetzwerken zwischen verschiedenen Kooperationspartnern aus möglicherweise unterschiedlichen Branchen und mit divergierenden Unternehmensgrößen eine Vertrauenskultur geschaffen werden kann, damit potenzielle Hürden möglicher Kooperationen so wenig wie möglich negative Einflüsse entfalten.

5.2 Betriebswirtschaftliche und arbeitsorganisatorische Herausforderungen

Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle

In Abschnitt 3 wurde bereits auf die Problematik verwiesen, dass tragfähige Geschäftsmodelle für M2M-Lösungen bislang noch weitgehend fehlen. Auch alle der im Rahmen dieser Studie befragten Experten verwiesen auf diesen Sachverhalt als ein zentrales Hemmnis für die Durchsetzung von M2M bzw. Industrie 4.0 in Deutschland.

Von zentraler Bedeutung ist es demnach, dass Geschäftsmodelle entwickelt werden, die kurzfristig einen geldwerten Nutzen generieren und deren Logik leicht kommuniziert und nachgeahmt werden kann. Erst wenn derartige Geschäftsmodelle entwickelt worden sind, werden sie von den Unternehmen aufgegriffen und umgesetzt. Derzeit fehlt es laut der befragten Experten jedoch noch an überzeugenden Anwendungsfällen und Use Cases.

Nutzerakzeptanz

Um Industrie 4.0 und M2M in Deutschland erfolgreich zu etablieren, ist es unerlässlich, dass die Anwender die neuen Technologien akzeptieren. Durch die Digitalisierung der Arbeitswelt ergeben sich jedoch Veränderungen mit nahezu durchgehend disruptivem Charakter, die die Nutzerakzeptanz vor erhebliche Herausforderungen stellen werden.

³¹⁸ Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)(2015): ebenda, S. 14f. Das BMBF plant vor diesem Hintergrund, von 2015-2020 über 180 Mio. Euro für ein Forschungsrahmenprogramm zur Förderung der IT-Sicherheit bereitzustellen.

Einigkeit herrscht unter Experten darüber, dass die Etablierung von Industrie 4.0 und der Einsatz von M2M-Lösungen Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation haben wird. Uneinig ist man sich aber über den Grad der Umwälzungen. Die Meinungen reichen von der Ansicht, dass es mehr positive als negative Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation geben wird, bis hin zu einem Szenario einer nahezu menschenleeren Fabrik.

Experten, die von einer optimistischen Sicht auf die Veränderungen ausgehen, unterstreichen, dass trotz der zunehmenden Bedeutung von M2M und Robotern in der Produktion, der Mensch nach wie vor die Entscheidungen fällen wird.³¹⁹ Dadurch werden allerdings auch grundlegende Fragen der Arbeitsorganisation und der erforderlichen Qualifizierungsstrategien gestellt. Insgesamt sehen die Experten nicht die menschenleere Fabrik voraus, sondern im Gegenteil, eine kurzfristig steigende Nachfrage nach Fachkräften und eine gestiegene Produktivität, Arbeitszufriedenheit und mehr Entscheidungsspielräume.³²⁰

Weniger Zuversichtlich hinsichtlich der Umwälzungen in der Arbeitswelt sind die Ergebnisse einer Studie von Roland Berger, wonach neue Jobmöglichkeiten in der Fabrik der Zukunft beispielsweise in den Steuerungs- und Rechenzentren liegen, aber wohl nicht mehr innerhalb der Fabrik selbst.³²¹ Daher werden auch hier Fragen der Arbeitsorganisation und der Ausbildung gestellt.

Weitaus drastischer spricht der Direktor des Center for Digital Business des Massachusetts Institute of Technology (MIT), Andrew McAfee, von einer „tektonische[n] Verschiebung in der Arbeitswelt“. Die Geschwindigkeit, mit der die Umwälzungen stattfinden, nehme zu. Dies sei jedoch erst der Anfang – die eigentlichen Folgen würden wohl erst in fünf bis zehn Jahren vollständig realisiert werden.³²²

Wohl am plakativsten hinsichtlich der Auswirkungen vom Internet der Dinge und Industrie 4.0 auf die Arbeitsorganisation ist ein Zitat von Warren G. Bennis: „The factory of the future will have only two employees, a man and a dog. The man will be there to feed the dog and the dog will be there to keep the man from touching the equipment.“³²³

Nachdem lange die Annahme galt, Automatisierung werde insbesondere die sogenannten Blue Collar Jobs betreffen, werden an dieser These zunehmend Zweifel laut. Erik Brynjolfsson und Andrew McAfee vom MIT stellen etwa fest, dass das sogenannte zweite Maschinenzeitalter begonnen hat.³²⁴ Dieses bewerten sie zwar grundsätzlich

319 Spath, Dieter (Hrsg.) (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0; Fraunhofer - Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO; Fraunhofer Verlag; S. 130.

320 Spath, Dieter (Hrsg.) (2013); ebenda, S. 130.

321 Blanchet, Max et al. (2014): Think Act – Industry 4.0 – The new industrial revolution – How Europe will succeed; Roland Berger Strategy Consultants GmbH (Hg.); März 2014; S. 15.

322 Schulz, Thomas (2013): Maschinen verdrängen Menschen; In: SPIEGEL ONLINE; 29.04.2013; URL: <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/silicon-valley-reporter-maschinen-verdraengen-menschen-a-896711.html> (Zugriff am: 23.09.2014).

323 Schultz, Evan (2013): Run connected; In: Jörg Eberspächer/ Uwe Kubach (Hg.): M2M und das Internet der Dinge – Vom Hype zur praktischen Nutzung; Münchner Kreis – Übernationale Vereinigung für Kommunikationsforschung e.V.; S. 12-31; hier: S. 13.

324 Bernau, Varinia (2015): Die Roboter kommen; In: Süddeutsche Zeitung; 21.02.2015.

positiv, warnen jedoch auch davor, die Herausforderungen zu unterschätzen.³²⁵ Dieses Maschinenzeitalter werde von nur zwei Gruppen von Angestellten geprägt sein: Einer Gruppe, die die Computer programmiere und steuere sowie einer zweiten Gruppe, denen die Computer Arbeitsanweisungen geben werden.³²⁶ Laut McAfee gibt es immer mehr Tätigkeiten, in denen Maschinen präziser und schneller sind als Menschen, weil sie effektiver und günstiger arbeiten.³²⁷ Sicher vor der Automatisierung seien nur Berufsgruppen, von denen ein hohes Maß an Kreativität verlangt werde, wie Künstler und Architekten, sowie Tätigkeiten wie Kellnern, da hier eine Ausführung durch Roboter von Kunden nicht akzeptiert werde.³²⁸

2013 ergab eine Studie, dass etwa 47 Prozent der Beschäftigung in den USA durch die Computerisierung gefährdet seien. Die Jobs in dieser Hochrisikogruppe könnten bereits innerhalb von ein bis zwei Dekaden durch Automatisierung wegfallen.³²⁹ Im Rahmen der Studie wurde für 702 Berufe die Wahrscheinlichkeit einer Computerisierung betrachtet.³³⁰

Die Nutzerakzeptanz kann nicht nur durch die Sorge um sich wandelnde Anforderungen an die Arbeitsorganisation gehemmt werden. Auch die mangelnde Kenntnis über die Details, die sich hinter Schlagworten wie „Industrie 4.0“ verbergen, kann einer ausreichenden Akzeptanz im Wege stehen. Eine Erhebung des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) zeigt beispielweise, dass viele Unternehmen mit einem zentralen Element der vierten industriellen Revolution, CPS, noch nichts anfangen können. Nur 16 Prozent der Befragten konnten angeben, den Begriff CPS und seine Bedeutung zu kennen, wohingegen rund 60 Prozent mit dem Begriff nichts verbinden konnten.³³¹

Um langfristig die Nutzerakzeptanz zu steigern, empfiehlt die Projektgruppe M2M (Internet der Dinge) in der Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels die Aus- und Weiterbildung zu fördern. So sollten beispielsweise Projekte von Universitäten und Hochschulen finanziell unterstützt werden. Darüber hinaus sollten Maßnahmen an Schulen gefördert werden, die frühzeitig das Interesse an M2M-Systemen und den damit verbundenen Kenntnissen wecken.³³²

325 Brynjolfsson, Erik/ Andrew McAfee (2014): *The Second Machine Age – Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*; First Edition; W. W. Norton & Company, Inc.; New York; S. 10f.

326 Braunberger, Gerald (2014): *Digitale Revolution – Die Macht der Maschinen*; In: FAZ.net; 27.04.2014; URL: <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/menschen-wirtschaft/digitale-revolution-macht-der-maschinen-12910372.html> (Zugriff am: 27.02.2015).

327 Schulz, Thomas (2013): *Maschinen verdrängen Menschen*; In: SPIEGEL ONLINE; 29.04.2013; URL: <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/silicon-valley-reporter-maschinen-verdraengen-menschen-a-896711.html> (Zugriff am: 23.09.2014).

328 Bernau, Varinia (2015): *Die Roboter kommen*; In: *Süddeutsche Zeitung*; 21.02.2015.

329 Frey, Carl Benedikt/ Michael A. Osborne (2013): *The future of employment: How susceptible are jobs to computerization?*; 17. September 2013; S. 44.

330 Frey, Carl Benedikt/ Michael A. Osborne (2013); ebenda, S. 1.

331 Spath, Dieter (Hrsg.) (2013); ebenda, S. 114.

332 Nationaler IT-Gipfel (2014 b); ebenda, S. 14.

Andere Quellen kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Demnach mangelt es an Ausbildungsgängen, die ingenieurwissenschaftliches Know-how mit IT, Logistik und Fertigung verbinden. Darüber hinaus konzentrieren sich – nach einhelliger Meinung aller befragten Experten – die Unternehmen bislang noch zu sehr auf die technologischen Aspekte von Industrie 4.0 und zu wenig auf die neuen Anforderungen im Bereich neuer Geschäftsmodelle, in der Arbeitsorganisation und bei den Qualifizierungsstrategien. Dies zeigt sich darin, dass einer Umfrage mit 500 Unternehmensvertretern in Deutschland zufolge nur jedes vierte Unternehmen Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen vor dem Hintergrund von Industrie 4.0 plant.³³³

Maßnahmen und Projekte zur Aus- und Weiterbildung steigern nicht nur die Nutzerakzeptanz, sie sind auch notwendig, um zu verhindern, dass ein Teil der aktuellen und zukünftigen Beschäftigten den Anschluss an die Entwicklung verliert.

333 Treichl, Carolin (2015): Studie: Industrie 4.0 in Deutschland scheitert am Faktor Mensch; Pressemitteilung; 03. März 2015; Computer Sciences Corporation (CSC); URL: http://www.csc.com/de/press_releases/118621-studie_industrie_4_0_in_deutschland_scheitert_am_faktor_mensch (Zugriff am: 09.03.2015).

6 Schlussfolgerungen

Insgesamt zeigt sich, dass nur aus wenigen der im vorangegangenen Kapitel aufgezeigten Herausforderungen im Bereich der Nummerierung ein konkreter Handlungsbedarf für Entscheider aus Politik und Regulierung ergibt. Viele Entwicklungen sind noch im Fluss und haben in den seltensten Fällen bereits so konkrete Ausprägungen angenommen, dass sich politische Entscheider mit den möglichen Konsequenzen zeitnah auseinandersetzen müssen. Aus der Analyse und den Expertengesprächen folgt, dass es für die Migration zu IPv6, den Umgang mit (Ruf-)Nummernressourcen und die Regelung des Herausgaberechts für SIM-Karten am aktuellen Rand keinen direkten Handlungsbedarf gibt.

Umstellung auf IPv6

Staatliche oder regulatorische Eingriffe zur Beschleunigung der Migration von IPv4 nach IPv6, wie sie etwa in asiatischen Ländern angewandt wurden, kommen für Deutschland insbesondere aus ordnungspolitischen Gründen kaum in Betracht. Vielmehr gilt es, die Entwicklungen im Markt abzuwarten. Die Legitimation staatlicher Eingriffe würde schwer fallen, da die positiven wirtschaftlichen Effekte auf den Standort durch die Einführung von IPv6 kaum quantifiziert werden können.

Vielmehr ist es eine Frage des Marktes, die Geschwindigkeit der Migration von IPv4 zu IPv6 zu bestimmen. Aus Sicht der befragten Experten müssen die Unternehmen selbst die Notwendigkeit und die Vorteile von IPv6 erkennen und dementsprechend in die Anpassung investieren.

Als Unterstützung dieses Prozesses werden von einigen Experten jedoch flankierende Maßnahmen vorgeschlagen. Eine dieser Maßnahmen besteht in der Anpassung von Vergaberichtlinien öffentlicher Ausschreibungen für Hardware, um sicherzustellen, dass diese definitiv IPv6-fähig ist. Weitere Maßnahmen beziehen sich auf die Aus- und Weiterbildung, um über die Vorteile und Risiken von IPv6 aufzuklären.

Einige der befragten Experten vertreten jedoch die Ansicht, dass bereits so viele Aktivitäten zur Aufklärung über IPv6 durchgeführt worden sind, dass die relevanten Zielgruppen „übersättigt“ sind. Andere Experten hingegen weisen darauf hin, dass weiterhin aufgeklärt werden muss, da IPv6 erst durch die laufende Diskussion rund um M2M sowie Industrie 4.0 in vielen Branchen in den nächsten Jahren zu einem Thema wird.

Frequenzpolitik und Funknetzplanung

Zuletzt ergab sich in den Expertengesprächen, dass ein Diskussionsbedarf zu der Frage gesehen wird, auf welchen Frequenzen und unter welchem Regime M2M-Anwendungen insbesondere für kritische Anwendungen (etwa bei den Infrastrukturen) laufen sollen. Da die Anforderungen an die technischen Lösungen über die verschiede-

nen M2M-Anwendungen sehr stark variieren können, ist dies eine Frage, die differenziert über die verschiedenen Segmente und Anwendungen diskutiert werden sollte.

Handlungsbedarf bei (Ruf-)Nummernressourcen

Die eventuelle Knappheit von (Ruf-)Nummernressourcen ist – in der zusammenfassenden Einschätzung der Experten - kein vordringliches Thema für die breite Implementierung von M2M-Anwendungen. Insofern wird derzeit auch kein Handlungsbedarf gesehen. Sollte es tatsächlich zu einer Knappheit kommen, würden andere Lösungen entwickelt.

Herausgaberecht von SIM-Karten

Die Erweiterung des Herausgaberechts von SIM-Karten wurde in den Gesprächen nicht als vordringliche Herausforderung für die M2M-Kommunikation sowie Industrie 4.0 identifiziert. Vielmehr wurde davor gewarnt, eine Debatte zu beginnen, die von den wesentlichen Herausforderungen wie insbesondere der Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle ablenken könnte.

Dass es tatsächlich zu einer Ausweitung des Herausgaberechts kommen könnte, scheint vielen Experten nicht realistisch. Sollte das bisherige System in Frage gestellt werden, wird mit erheblichem Widerstand von Seiten der Netzbetreiber gerechnet.

Aus der Analyse und den Expertengesprächen haben sich aber auch Diskussionsbedarfe herauskristallisiert, die ggf. mittel- oder längerfristig zu konkreten Schritten führen könnten.

Breitbandinfrastrukturen

Ausfallsichere und flächendeckende Breitbandnetze bilden eine zentrale technische Basis. Die Vergabe neuer Frequenzen aus der Digitalen Dividende (800 / 700 MHz) trägt dazu bei, in der Fläche Engpässe zu reduzieren.

M2MKommunikation und Industrie

Aus den meisten der Herausforderungen für die M2M-Kommunikation sowie Industrie 4.0 in Deutschland hingegen können umfangreiche Diskussions- und Handlungsbedarfe abgeleitet werden, welche auch in konkrete Schritte münden müssen.

Branchenübergreifende Standards, Referenzarchitekturen, Test Beds, Softwareentwicklungen

Um die Durchsetzung von M2M-Kommunikation im Rahmen von Industrie 4.0 zu fördern, sollten branchenübergreifende Standards für die Vernetzung und die Implementierung von Systemlösungen geschaffen bzw. durchgesetzt werden. Es wird künftig um

eine immer engere horizontale und vertikale Verzahnung von Maschinen, Organisationen und Betrieben zu hochflexiblen Wertschöpfungsnetzwerken gehen.

An die Stelle klassischer Unternehmungen werden zunehmend interaktive Geschäftsmodelle treten, bei denen eine Vielzahl unterschiedlicher Zulieferer und Hersteller ad-hoc oder dauerhaft industrielle Produktionsnetze bilden werden. Gerade für solche Entwicklungsszenarien einer kollaborativen Zusammenarbeit sind die breite Verfügbarkeit und Anwendung einheitlicher Standards und Schnittstellen unverzichtbar. In einer Befragung von Industrieunternehmen aus dem Jahr 2013 wird der Standardisierung die höchste Bedeutung für Industrie 4.0 zugeschrieben.³³⁴ Die Unternehmen wünschen sich zur Unterstützung ihrer eigenen Umsetzungsaktivitäten themenzentrierte Seminare sowie Informationsmedien zur kontinuierlichen Information (Newsletter). Insbesondere sehen sie die Notwendigkeit, im Rahmen von Gesprächen eine gemeinsame Sichtweise und ein branchenübergreifendes Verständnis davon zu entwickeln, was das sozio-technische Projekt Industrie 4.0 ist bzw. sein soll.

Um diese Standards und Schnittstellen zu entwickeln und zu beschreiben sowie deren Implementierung zu testen, sind Referenzarchitekturen erforderlich, die diese unter Laborbedingungen ausprobieren können. Gleichzeitig bilden diese Referenzarchitekturen den erforderlichen technischen und organisatorischen Rahmen, als sog. Test Beds Lösungen modellhafte Lösungen, Standards oder Schnittstellen außerhalb des Produktionsalltags zu erproben und auf ihre Praxistauglichkeit hin zu testen.³³⁵

Einige Experten schlagen vor diesem Hintergrund ein Schnittstellenmanagement vor, um eine gemeinsame „Sprache“ über die Branchen hinweg zu entwickeln. Darüber hinaus müssen die Standards nicht nur über Branchen hinweg, sondern auch grenzüberschreitend harmonisiert werden. Anwendungen wie z. B. das vernetzte Fahren in der internationalen Logistik erfordern die Interoperabilität der Systeme auch über Ländergrenzen hinweg. Dies gilt ganz allgemein für alle Branchen und Unternehmen, die auch internationale Märkte mit ihren Produkten und Dienstleistungen adressieren.

Schließlich wird ein großer Diskussions- und Handlungsbedarf im Bereich der Software-Entwicklung gesehen, in dem Deutschland Nachholbedarf z. B. gegenüber den USA attestiert wird. Dies gilt zum einen für die Entwicklung von Software bzw. Softwarewerkzeugen, um das hochkomplexe Zusammenspiel der vielen Komponenten, Maschinen, Anlagen und Akteure modellieren zu können (Simulationen, Planungsmodelle).

Zum zweiten wird ein beträchtliches Optimierungspotenzial im Bereich der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen (Usability) gesehen. Zum dritten schließlich erfordert der stark wachsende Einsatz von Miniaturprogrammen z. B. in Embedded Systems eine ebenso stark wachsende Entwicklergemeinschaft, die die heterogenen Anforderungen der Akteure mit kreativen und effizienten Lösungen bedienen kann.

³³⁴ Vgl. Plattform Industrie 4.0: (Hg.) (o.J.), ebenda, S. 29.

³³⁵ Vgl. Plattform Industrie 4.0: (Hg.) (o.J.), ebenda, S. 6.

Generierung von Vertrauen durch (IT-)Sicherheit und standardisierte Kooperationsprozesse

Die wirtschaftlichen Potenziale von M2M bzw. Industrie 4.0-Anwendungen können nur ausgeschöpft werden, wenn alle Prozessketten und alle involvierten technischen Elemente und Komponenten durchgehend digitalisiert und über das Internet in ein globales Kommunikationsnetz eingebunden werden. Die vollständige digitale Integration und Vernetzung avancieren damit gewissermaßen zum entscheidenden Wesensmerkmal künftiger Industriegesellschaften bzw. fortschreitender Wirtschaftsformen und erfordern ein erweitertes Verständnis für eine „Gesamtsicherheit“.

Alle Konzepte der Digitalisierung von Unternehmensprozessen basieren darauf, dass auch in einer vollständig vernetzten Welt 4.0 die Funktionstauglichkeit, Verlässlichkeit und Verfügbarkeit oft lebenswichtiger Infrastruktur- und Produktionssysteme vollständig gewährleistet bleiben. Mit jedem Schritt zur Vertiefung der Digitalisierung aber nehmen zwangsläufig die Verletzlichkeiten und die Abhängigkeiten zu. Immer mehr Akteure erhalten immer mehr Zugriffsmöglichkeiten auf immermehr Maschinen, Anlagen oder sonstige technische Gegenstände im Internet-of-Things. Dieser Entwicklung muss grundsätzlich durch ein systemisches Denken in großen Zusammenhängen, das über die monostrukturelle Produktionslogik heutiger Unternehmen weit hinausgeht, Rechnung getragen werden.

Die Digitalisierungskonzepte basieren ferner auf der Erwartung, dass in einer 4.0 Welt alle erzeugten und versendeten Daten manipulationssicher übertragen werden und ihre Integrität in Gegenständen, Datenbanken oder auf Cloud-Servern unangetastet bleibt. Schließlich basieren alle entsprechenden Überlegungen darauf, dass die in vielen 4.0-Anwendungskontexten entstehenden persönlichen Daten etwa von Arbeitnehmern oder Kunden oder Patienten im Gesundheitswesen sicher gegen unerlaubte Zugriffe Dritter geschützt sind und so den Anforderungen des Datenschutzes Rechnung getragen wird.

Das Vertrauen in M2M-Kommunikation und Industrie 4.0 könnte aus der Sicht der Experten im Wesentlichen über mehrere Wege gefördert werden. Zunächst sollten Maßnahmen ergriffen werden, um die Skepsis hinsichtlich IT- und Informationssicherheit zu reduzieren und die Awareness gesteigert werden. Durch die exponentielle Erhöhung von Angriffspunkten und involvierten Akteure werden neue integrierte Sicherheitsarchitekturen und Rollenkonzepte für die sichere und nutzerfreundliche Authentisierung notwendig. Die Entwicklung und Stärkung von Ansätzen im Bereich Security by Design sind daher eine zweite entscheidende Maßnahme. Ein weitere besteht darin, durch die steigende Zahl miteinander interagierender Akteure bei industriellen Prozessen Lösungen für ein Rollenmanagement und eine sichere Authentifizierung zu entwickeln. Ansät-

ze aus dem Bereich Trusted Computing sollten ebenfalls in die Entwicklung künftiger Lösungen einbezogen werden.³³⁶

Ein institutioneller Ansatz könnte beispielsweise in der Etablierung eines M2M-CERT bestehen, das sich ausschließlich auf den Bereich der industriellen Prozesse konzentriert. Offene Fragen entstehen auch durch die Unsicherheit vieler Unternehmen bei Fragen des Dateneigentums und Data Sharing im Kontext von kollaborativen Prozessen. Die Teilung von Daten (Data Sharing) zwischen Geschäftspartnern, die sporadisch oder dauerhaft zur Herstellung eines bestimmten Produkts oder einer Dienstleistung eine Kooperation verabreden, wird eines der zentralen Themen von M2M sowie Industrie 4.0 überhaupt sein. Daher bedarf es weitgehender Überlegungen zu neuen Kooperationsmodellen (Community Building), die es erlauben, branchenübergreifend und unabhängig von Größenklassen der Unternehmen schnell Vertrauen auszubauen. Beispielhaft könnte hier die Entwicklung bzw. Einführung von Musterverträgen sein, die es erlauben würden, dass gerade auch kleine und mittlere Unternehmen leichter in Kooperationsbeziehungen eintreten können.

Neben Maßnahmen für IT-Sicherheit und Datenschutz fördert auch die Aus- und Weiterbildung die Nutzerakzeptanz und damit das Vertrauen in die neue Entwicklung. Die von Experten geforderten Projekte an Schulen, Fachhochschulen und Universitäten, die frühzeitig das Interesse an M2M-Systemen und den damit verbundenen Kenntnissen wecken sollen, stellen einen wichtigen Schritt dar, den insbesondere auch die Verbände, die Institutionen der regionalen Wirtschaftsförderung, aber auch die IHKn sowie HWKn mitgehen sollten.

Entwicklung von neuen Wertschöpfungsnetzen und Geschäftsmodellen

Von Seiten der Unternehmen ist es erforderlich, dass diese sich deutlich stärker als bisher mit der Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle befassen. Dabei geht es insbesondere darum, dass den Unternehmen der betriebswirtschaftliche Wert von erhobenen Daten bewusst wird und welche neuen Dienstleistungen daraus entstehen können.³³⁷ Die Entwicklung und branchenübergreifende Verbreitung kooperativer Geschäftsmodelle sind das zentrale Ziel aller Bemühungen rund um M2M sowie Industrie 4.0 und sollte mit gezielten Maßnahmen wie z. B. Zukunftswerkstätten unterstützt werden.

Arbeitsorganisation und Gestaltung

Allen Akteuren ist bewusst, dass die quantitativen und qualitativen Veränderungen der Arbeit 4.0 gravierend sein werden und dass die Smart Factory der Zukunft neue Organisations- und Gestaltungsmodelle erforderlich machen wird, um den erhöhten Kom-

³³⁶ Vgl. Büllingen, Franz, et al. (2008): Industriepolitische Auswirkungen von sicheren IT-Plattformen auf Basis der „Trusted Computing“ Technologie (TC), Studie im Auftrag des BMWi, Bad Honnef, März.

³³⁷ Vgl. Büllingen, Franz (2014): Digitalisierung, Vernetzung, Mobilisierung: Herausforderungen für mittelständische Unternehmen durch Industrie 4.0, in: WIK-Newsletter 95 – Juni 2014, S. 5-7.

plexitäts-, Abstraktions- und Problemlösungsanforderungen gerecht zu werden.³³⁸ Die Potenziale und subjektiven Fähigkeiten und Kompetenzen der Beschäftigten werden wesentlich stärker als bisher abgerufen werden.

Die Rollenveränderung der Arbeit erfordert sozio-technische Gestaltungskonzepte, Qualifizierungs- und Referenzmaßnahmen, um das große Spannungsverhältnis, das Industrie 4.0 in sich trägt, aufzulösen und in eine Win-Win-Situation zu überführen. Auch hierfür wird es zu einer Vielzahl von Referenzprojekten in verschiedenen Branchen bedürfen, um die Akzeptabilität neuer Arbeitsformen und die Akzeptanz der Beschäftigten zu gewährleisten. Denn über die Entwicklung der qualitativen Aspekte der Arbeit entscheiden nicht die Technik oder organisatorische Sachzwänge, sondern Investoren und Manager, die eine Smart Factory modellieren und realisieren.³³⁹

Zum anderen sind Überlegungen anzustellen, auf welche Weise die Aufgaben- und Kompetenzprofile weiterzuentwickeln und spezifische Lerninhalte in die Entwicklung neuer Curricula mit Blick auf Alter, Bildungsgrad, Erfahrungshintergrund oder kulturelle Zugehörigkeit zu integrieren sind. Auch hier wird es experimenteller, arbeitsplatznaher Modellvorhaben und Weiterbildungskonzepte bedürfen, um individuelle Kompetenz mit den Anforderungen der neuen Produktionsumgebungen einer Smart Factory in Einklang zu bringen.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die befragten Experten sind sich weitgehend einig, dass viele der gegenwärtigen gesetzlichen Regelungen unzureichend sind. Die Weiterentwicklung des bestehenden Rechtsrahmens mit Blick auf Haftungsfragen, Data Sharing, personenbezogene Daten, Compliance-Aspekte oder Handelsbeschränkungen muss daher innovationsfördernd (Musterverträge) fortentwickelt werden. Für viele Unternehmen werden sich die Fragen nach rechtssicheren Vorgehensweisen z. B. im Umgang mit personenbezogenen Daten insbesondere dann stellen, wenn etwa Produktionsnetzwerke grenzüberschreitend organisiert werden und dabei z. B. Cloud Computing-Dienste genutzt werden. Dies kann dazu führen, dass Unternehmen sich an Netzwerken nicht beteiligen, weil sie befürchten, mit bestehenden gesetzlichen Regelungen in Konflikt zu geraten.

Zudem werden zunehmend auch Daten von Kunden in den Produktions- und Dienstleistungsprozess eingebunden, was die Anforderungen an ein sicheres Management persönlicher Daten und des Datenschutzes steigern wird. Schließlich weist die Plattform Industrie 4.0 in diesem Zusammenhang zu Recht darauf hin, dass viele Produkte Komponenten wie z. B. eine starke Kryptografie enthalten, für die als sog. Dual-Use-Güter Handelsbeschränkungen bzw. Exportrestriktionen existieren. Diese Form von Rechtsunsicherheiten kann jedoch nicht von einem Unternehmen und auch nicht fallbezogen beantwortet werden, sondern muss vielmehr durch nationale Veränderungen des

³³⁸ Vgl. hierzu auch: Plattform Industrie 4.0: (Hg.) (o.J.), ebenda, S. 57.

³³⁹ Plattform Industrie 4.0: (Hg.) (o.J.), ebenda.

Rechtsrahmens für alle Akteure nachvollziehbar und leicht handhabbar angegangen werden.³⁴⁰

Ressourceneffizienz

Rund um M2M sowie Industrie 4.0 spielen alle Fragen der Ressourcenproduktivität und des effizienten Einsatzes von Rohstoffen eine zentrale Rolle. Experten sehen in der Möglichkeit zur Einsparung einen entscheidenden Incentive, dass Unternehmen sich stärker M2M- bzw. 4.0-Themen zuwenden. Dies gilt z. B. in besonderem Maße für den Umgang mit Energie.

Der Verbrauch elektrischer Energie in industriellen Produktionsprozessen hatte 2011 deutschlandweit einen Anteil von 46 Prozent am Gesamtverbrauch. Nach dem Vorbild der intelligenten Energienetze können Industrial Smart Grids bei technischen Systemen dabei helfen, die Anlagenleistung und Effizienz kontinuierlich zu analysieren, zu verbessern und einen möglichst optimalen Arbeitspunkt anzustreben. Um ein solches Regelwerk zu realisieren, ist eine intelligente Vernetzung der Verbraucher, Erzeuger und Energiespeicher von zentraler Bedeutung. So kann für einen gleichmäßigeren Energieverbrauch durch ein aktives Lastmanagement in Prozessechtzeit gesorgt werden. Hierdurch werden Energiekosten eingespart und gleichzeitig die Lebensdauer der in der Produktion eingesetzten elektronischen Geräte verlängert.³⁴¹

Über die Reduktion des Energieverbrauchs hinaus geht es bei der Steigerung der Ressourcenproduktivität und der Ressourceneffizienz ganz generell aber auch um den effizienten Einsatz von Roh-, Hilfs-, und Betriebsstoffen, um den schonenden Einsatz menschlicher Arbeitskräfte sowie um den Einsatz finanzieller Mittel für den Betrieb und Ersatzinvestitionen.³⁴²

³⁴⁰ Plattform Industrie 4.0: (Hg.) (o.J.), ebenda, S. 64.

³⁴¹ Vgl. Jasperneite, Jürgen/ Bretschneider, Peter (2013): Industrial Smart Grids; In: Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB)(Hg.): visIT [Industrie 4.0], S. 8-10.

³⁴² Plattform Industrie 4.0: (Hg.) (o.J.), ebenda, S. 66f.

7 Literatur

- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2012): agendaCPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems; acatech Studie; Eva Geisberger/Manfred Boy (Hg.); März 2012.
- AG2 „Vernetzte Anwendungen und Plattformen für die Digitale Gesellschaft“ des Nationalen IT-Gipfels (2014): Glossar der AG2 – Vernetzte Anwendungen und Plattformen für die Digitale Gesellschaft; 14.10.2014; URL: <https://it-gipfelglossar.hpi-web.de/#pg-1295-0> (Zugriff am: 24.10.2014).
- agiplan/ Fraunhofer IML/ ZENIT (2015): Erschließen der Potenziale der Anwendungen von Industrie 4.0 im Mittelstand, Studie im Auftrag des BMWi, Mülheim a. d. Ruhr.
- Akamai Technologies (2014 d): Akamai's State of the Internet; 3rd Quarter, 2013 Report; Volume 6; Number 3; Januar 2014.
- Akamai Technologies (2014 c): Akamai's State of the Internet; Q4 2013 Report; Volume 6; Number 4; April 2014.
- Akamai Technologies (2014 b): Akamai's State of the Internet; Q1 2014; Volume 7; Number 1; Juni 2014.
- Akamai Technologies (2014): Press Release – ARD und ZDF nutzten zur Fußball-WM für Live- und On-Demand-Streaming die Media-Delivery-Lösungen von Akamai; 16. Juli 2014; URL: <http://www.akamai.com/html/about/press/releases/2014/-press-071614-de.html> (Zugriff am: 16.01.2015).
- Akamai Technologies (2014 a): Akamai's State of the Internet; Q2 2014 Report; September 2014.
- Akamai Technologies (2015 a): Akamai's State of the Internet; Q3 2014 Report; Volume 7; Number 3; Januar 2015.
- Akamai Technologies (2015 b): Akamai's State of the Internet; Q4 2014 Report; Volume 7; Number 4; März 2015.
- American Registry for Internet Numbers (ARIN) (2014): Inter-RIR and Specified Transfers of Internet Number Resources; As of October 2014; URL: <https://www.arin.net/knowledge/statistics/transfers.html> (Zugriff am: 21.11.2014).
- Bauer, Harald/ Mark Patel/ Jan Veira (2014): The Internet of Things - Sizing up the opportunity; McKinsey & Company; Dezember 2014.

- Bauer, Wilhelm et al. (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland; Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) und Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (Hg.); 2014.
- Behrmann, Jan/ Kai Stilke (2014): Der Nutzen von M2M-Lösungen für den Mittelstand; M2M Concepts; exceet Secure Solutions AG (Hg.); 06.11.2014.
- Bendel, Oliver (o.J.): Industrie 4.0; In: Gabler Wirtschaftslexikon; URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/industrie-4-0.html> (Zugriff am: 10.10.2014).
- Bernau, Varinia (2015): Die Roboter kommen; In: Süddeutsche Zeitung; 21.02.2015.
- Beuth, Patrick (2012): Der Tag, der das Internet nicht verändert; In: ZEIT ONLINE; 06.06.2012; URL: <http://www.zeit.de/digital/internet/2012-06/ipv6-launch-day> (Zugriff am: 09.09.2014).
- Blanchet, Max et al. (2014): Think Act – Industry 4.0 – The new industrial revolution – How Europe will succeed; Roland Berger Strategy Consultants GmbH (Hg.); März 2014.
- Bloching, Björn/ Luck, Lars/ Ramge, Thomas (2015): Smart Data – Datenstrategien, die Kunden wirklich wollen und Unternehmen wirklich nützen, München.
- Boeddinghaus, Wilhelm/ Christoph Meinel/ Harald Sack (2011): Einführung von IPv6 in Unternehmensnetzen – Ein Leitfaden; Technische Berichte Nr. 52 des Hasso-Plattner-Instituts für Softwaresystemtechnik an der Universität Potsdam; Universitätsverlag Potsdam; 2011.
- Borchers, Detlef (2014): 8. IT-Gipfel der Bundesregierung – Deutschland ist Industrie 4.0; In: heise online; 21.10.2014; URL: http://www.heise.de/newsticker/meldung/8-IT-Gipfel-der-Bundesregierung-Deutschland-ist-Industrie-4-0-2429131.html?wt_mc=rss.ho.beitrag.atom (Zugriff am: 21.10.2014).
- Braunberger, Gerald (2014): Digitale Revolution – Die Macht der Maschinen; In: FAZ.net; 27.04.2014; URL: <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/menschenwirtschaft/digitale-revolution-macht-der-maschinen-12910372.html> (Zugriff am: 27.02.2015).
- Brynjolfsson, Erik/ Andrew McAfee (2014): The Second Machine Age – Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies; First Edition; W. W. Norton & Company, Inc.; New York.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (2012): Leitfaden für eine sichere IPv6-Netzwerkarchitektur (ISi-L-IPv6) – BSI-Leitlinien zur Internet-

Sicherheit (ISi-L); Version 1.1; URL: https://www.bsi.bund.de/Shared-Docs/Downloads/DE/BSI/Internetsicherheit/isi_lana_leitfaden_IPv6_pdf.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff am: 19.01.2015).

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2014): Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2014; November 2014.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2015): Selbstbestimmt und sicher in der digitalen Welt.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2014): Horizont 2020 im Blick – Informationen zum neuen EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation; 2. Auflage; Februar 2014.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2014 a): Die neue Hightech-Strategie – Innovationen für Deutschland; August 2014.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2014 b): Zukunftsprojekt Industrie 4.0; 18.08.2014; URL: <http://www.bmbf.de/de/9072.php> (Zugriff am: 10.10.2014).

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2013): Zukunftsbild „Industrie 4.0“; Hightech-Strategie.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2014): Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand – Impulse für Innovation; Februar 2014.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2012): Machine-to-Machine-Kommunikation – Eine Chance für die deutsche Industrie; M2M Initiative Deutschland; Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels (AG2); Digitale Infrastrukturen als Enabler für innovative Anwendungen; Nationaler IT-Gipfel 2012; Essen, 12.11.2012.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2011 a): Machine-to-Machine-Kommunikation - eine Chance für die deutsche Industrie – AG2 Kompetenznetzwerk Machine-to-Machine-Kommunikation; Nationaler IT-Gipfel 2011; München, November 2011.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2011 b): Strategiepapier zur Förderung der Einführung von IPv6 – AG2 Sonderthemengruppe “Einführung von IPv6”; Nationaler IT-Gipfel 2011, München; November 2011.

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2015): Jahresbericht 2014 – Netze ausbauen. Zukunft sichern. Infrastrukturausbau in Deutschland; 01. April 2015.

- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 c): Mitteilung Nr. 942/2014 – Fristverlängerung für Stellungnahmen zur Marktbefragung zu einem zukünftigen Nummernplan für Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer (International Mobile Subscriber Identity, IMSI); In: Amtsblatt der Bundesnetzagentur
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 d): Nummerierungskonzept 2014; Referat 117; Grundsatzfragen der Nummerierung; Bonn, 10.12.2014.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 b): Mitteilung Nr. 819/2014 – Marktbefragung zu einem zukünftigen Nummernplan für Internationale Kennungen für Mobile Teilnehmer (International Mobile Subscriber Identity, IMSI); In: Amtsblatt der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen; Amtsblatt 15/2014; S. 2342-2344.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2014 a): Jahresbericht 2013 – Starke Netze im Fokus. Verbraucherschutz im Blick; 31. März 2014.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2013): Nummerierung in der Telekommunikation; 01.02.2013; URL: http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Technik/Standardisierung/Nummerierung/nummerierung-node.html (Zugriff am: 15.09.2014).
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2012): Jahresbericht 2011; 08. März 2012.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (o.J.): Auswertung der Stellungnahmen zur Anhörung „Auswirkungen der Entwicklungen bei Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation auf die Nummerierung“.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2011 a): Mitteilung Nr. 139/2011 – Anhörung zur Thematik „Auswirkungen der Entwicklungen bei der Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation auf die Nummerierung“; In: Amtsblatt der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen; Amtsblatt 5/2011; S. 893-894.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2011 b): Regeln für die Zuteilung von Internationalen Kennungen für Mobile Teilnehmer; Veröffentlicht im Amtsblatt der Regulierungsbehörde für Tele-

kommunikation und Post Nr. 23/2000 v. 06.12.2000, geändert mit Vfg 11/2002, Amtsblatt 7/2002 und mit Vfg 55/2003, Amtsblatt 24/2003; Stand: 08.07.2011.

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) (2015): Industrie 4.0 erstmals unter den Top-Themen des Jahres; Presseinformation; 22.01.2015; URL: http://www.bitkom.org/de/presse/8477_81266.aspx (Zugriff am: 22.01.2015).

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) (2014): 10 Millionen nutzen Smart-Home-Anwendungen; Presseinformation; 18.12.2014; URL: http://www.bitkom.org/de/presse/81149_81077.aspx (Zugriff am: 21.01.2015).

Busse, Caspar (2014): "Deutschland kann weltweit führend werden" – Interview mit Cisco-Chef John Chambers; In: Süddeutsche Zeitung; 01.10.2014.

Büllingen, Franz (2015): App-Economy – Katalysator für Mobile Commerce und Mobile Business im Mittelstand; In: Newsletter Mittelstand-Digital, Ausgabe 10, Mai 2015, S. 1-4.

Büllingen, Franz (2014): Digitalisierung, Vernetzung, Mobilisierung: Herausforderungen für mittelständische Unternehmen durch Industrie 4.0, in: WIK-Newsletter 95 – Juni 2014, S. 5-7.

Büllingen, Franz (2014): Mobile Business als Strategie zur Ausschöpfung betrieblicher Effizienzreserven, in: WIK-Newsletter 97 – Dezember 2014, S. 8-10.

Büllingen, Franz (2011): IT-Sicherheit als Enabler für Cloud Services; in: WIK-Newsletter Nr. 83, Juni 2011, S. 5 -7.

Büllingen, Franz (2011): Anforderungen an die Infrastruktur – Wieviel Bandbreite benötigt Cloud Computing? In: WIK-Newsletter Nr. 84, September, S. 7-9.

Büllingen, Franz (2010): Cloud Computing – Beginn der Industrialisierung und Automatisierung der IT, in: WIK-Newsletter Nr. 81, Dezember, S. 5 -7.

Büllingen, Franz (2010): Green IT: Konvergenz von IKT- und Energiesektor als (neues) innovationspolitisches Handlungsfeld, in: WIK-Newsletter Nr. 79, Juni, S. 10-12.

Büllingen, Franz (2008): Industriepolitische Auswirkungen von sicheren IT-Plattformen auf Basis der „Trusted Computing“ (TC) Technologie (zus. mit P. Stamm u. a.), Studie im Auftrag des BMWI, Bad Honnef, März.

Cisco Systems (o.J.): The Internet of Everything; URL: <http://www.cisco.com/web/about/ac79/innov/loE.html> (Zugriff am 09.10.2014).

Cisco (2014): Cisco Visual Networking Index – Global Mobile Data Traffic Forecast Update – White Paper; 5. Februar 2014.

Cisco 6Lab Website (2014): Global IPv6 Adoption; URL: <http://6lab.cisco.com/index.php> (Zugriff am 13.10.2014).

Computer Science Corporation (CSC) (2015): CSC-Studie „Industrie 4.0“ – Ländervergleich DACH – Ergebnisse; 14. Januar 2015.

Czyz, Jakub et al. (2014): Measuring IPv6 Adoption; University of Michigan; International Computer Science Institute; Arbor Networks, Inc.; Verisign Labs; URL: <http://www.icir.org/mallman/pubs/CAZ+14/CAZ+14.pdf> (Zugriff am: 19.01.2015).

Deutsche Telekom AG (2014): Alleskönner M2M; URL: <https://www.telekom.com/medien/medienmappen/m2m-kommunikation/190176> (Zugriff am: 25.09.2014).

Deutsche Telekom AG (2014): Strype – Telekom-Lösung sichert Eigentum mit innovativem Klebestreifen; 10.09.2014; URL: <http://www.telekom.com/medien/medienmappen/m2m-kommunikation/250140> (Zugriff am: 23.10.2014).

Deutsche TV-Plattform e.V. (2014): Kompendium Vernetzung – Eine Bestandsaufnahme der Deutschen TV-Plattform; August 2014.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (2013): Die deutsche Normierungs-Roadmap Smart Home + Building – Status, Trends und Perspektiven der Smart Home + Building-Normierung; VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (Hg.); November 2013.

Dopheide, Dominik (2015): Post vom Roboter; Unternehmen aus dem Münsterland drehen kräftig an der Erfolgsschraube, weil sie IT-Technologie mit dem Maschinenbau verbinden; in: Wirtschaftsspiegel – Das Magazin der IHK Nord Westfalen; Ausgabe 2, 2015; S. 16-18.

Drath, Rainer/ Alexander Horch (2014): Industry 4.0 - Hit or Hype? in: IEEE Industrial Electronics Magazine; Juni 2014; S. 56-58.

eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2015 a): eco Report – M2M Future Trends 2015; URL: https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/eco-m2m-future-trends-2015_final.pdf (Zugriff am: 19.02.2015).

eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. (2015 b): „Fangt einfach an!“; In: eco News 18.02.2015; URL: <https://www.eco.de/2015/news/fangt-einfach-an.html> (Zugriff am: 19.02.2015).

- Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) (2010): Numbering and Addressing in Machine-to-Machine (M2M) Communications; ECC Report 153; Luxembourg, November 2010.
- Ericsson AB (o.J.): Thinking Ahead; URL: <http://www.ericsson.com/thinkingahead> (Zugriff am 09.10.2014).
- Ericsson AB (2013 a): Networked Society Essentials; Booklet.
- Ericsson AB (2013 b): IPv6 – Meeting the Challenge of Connecting Everyone and Everything - Ericsson White Paper; Februar 2013.
- Ermert, Monika (2014): Gaunereien um verbliebene IPv4-Adressblöcke; in: heise.de; 08.11.2014; URL: <http://www.heise.de/netze/meldung/Gaunereien-um-verbliebene-IPv4-Adressbloecke-2444838.html> (Zugriff am: 21.11.2014).
- European Telecommunications Standards Institute (ETSI) (2010): ETSI TS 102 671 – V9.0.0 (2010-04); Technical Specification; Smart Cards; Machine to Machine UICC; Physical and locical characteristics; Release 9; URL: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102671/09.00.00_60/ts_102671v090000p.pdf (Zugriff am: 03.02.2015).
- European Telecommunications Standards Institute (ETSI) (2013): ETSI TS 103 383; V 12.0.0 (2013-02); Smart Cards; Embedded UICC; Requirements Specification; Release 12; Februar 2013.
- Europäische Kommission (2014): Kommission ruft zu sofortigem Handeln für ein Wiedererstarren der europäischen Industrie auf; Pressemitteilung vom 22.01.2014; URL: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-42_de.htm (Zugriff am: 23.09.2014).
- Fetzer, Peter et al. (2014): IPv6-Strategie in deutschen Unternehmen – Eine Studie der Cassini Consulting; Cassini Consulting Frankfurt GmbH (Hg.); Stand: 28.10.2014.
- Ferber, Stefan (2013): Jenseits von M2M – Das Internet der Dinge und Dienste in der Industrie; in: Jörg Eberspächer/ Uwe Kubach (Hg.): M2M und das Internet der Dinge – Vom Hype zur praktischen Nutzung; Münchner Kreis – Übernationale Vereinigung für Kommunikationsforschung e.V.; S. 32-45.
- Fleisch, Elgar et al. (2014): Geschäftsmodelle im Internet der Dinge - Bosch IoT Lab Whitepaper; Bosch Internet of Things and Services Lab an der Hochschule St. Gallen; August 2014.

Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB) (2014): Smartwatch jetzt auch für die Produktion; Lemgo; 13. 10.2014; URL: <http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/50420/> (Zugriff am: 24.10.2014).

Frey, Carl Benedikt/ Osborne, Michael A. (2013): The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?; 17. September 2013.

Fuest, Benedikt (2014): iPad – Apple-SIM ist der Albtraum aller Mobilfunkkonzerne; in: DIE WELT; 17.04.2014; URL: <http://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article133405569/Apple-SIM-ist-der-Albtraum-aller-Mobilfunkkonzerne.html> (Zugriff am: 21.10.2014).

Garter (2014): Gartner's Hype Cycle for Emerging Technologies Maps the Journey to Digital Business; Press Release; 11.08.2014; URL: <http://www.gartner.com/newsroom/id/2819918> (Zugriff am: 10.10.2014).

Geissbauer, Reinhard et al. (2014): Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution; PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC) (Hg.); Oktober 2014.

General Electric (GE) (2013): Industrial Internet – Eine europäische Perspektive – Neue Horizonte für „Minds and Machines“; Juni 2013.

Google (o.J.): IPv6 Statistics; Siehe „IPv6 Adoption“ und „Per-country IPv6 Adoption“; URL: <http://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html#tab=per-country-ipv6-adoption> (Zugriff am: 07.11.2014 und 12.06.2015).

Göbel, Oliver Markus (2015): Global SIM bringt weltweit Erfolg; in: Telefonica Blog; 07.01.2015; URL: <https://blog.telefonica.de/2015/01/individuelle-m2m-loesungen-von-telefonica-global-sim-bringt-weltweit-erfolg/> (Zugriff am: 04.02.2015).

Groupe Speciale Mobile Association (GSMA) (2013): Embedded SIM Remote Provisioning Architecture; Version 1.1; 17.12.2013.

Groupe Speciale Mobile Association (GSMA) (2014): Benefits Analysis of GSMA Embedded SIM Specification on the Mobile Enabled M2M Industry; Researched and published by Beecham Research Ltd.; September 2014.

Hagen, Silvia (2009): IPv6 – Grundlagen – Funktionalität – Integration; Sunny Edition; 2. Auflage; Dezember 2009; Maur, Schweiz.

Hägler, Max (2015): Gesammelt, aber nicht genutzt; in: Süddeutsche Zeitung; 19.02.2015.

Harbor Research (2013): Smart Devices & Services; How CDMA Technology is driving the connected age; White Paper; 2013.

- Holtkamp, Bernhard/ Springer, Ulrich/ Steinbuß, Sebastian (2014): Cloud Computing und Cyber-Physical Systems – Nordrhein-Westfalen auf dem Weg zum digitalen Industrieland; Clustermanagement IKT.NRW (Hg.); Wuppertal, April 2014.
- Howard, Lee (2014): IPv4 Market Transfer Prices; In: WLeeCoyote.com; 13.11.2014; URL: <http://www.wleecoyote.com/blog/transferprices.htm> (Zugriff am 21.11.2014).
- Howard, Lee (2014): Updated Look at IPv4 Market Transfers; in: WLeeCoyote.com; 21.05.2014; URL: <http://www.wleecoyote.com/blog/transferdemand.htm> (Zugriff am 21.11.2014).
- Höller, Jan et al. (2014): From Machine-to-Machine to the Internet of Things – Introduction to a New Age of Intelligence; Jordan Hill, GBR; Academic Press, 2014.
- Huston, Geoff (o.J.): IPv4 Address Report; This report generated at 07-Nov-2014 08:08 UTC; URL: <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/index.html> (Zugriff am: 07.11.2014).
- InterConnect Communications (2012): Ofcom – MC/111 Internet Protocol Version 6 Deployment Study; Final Report.
- Internet Assigned Numbers Authority (IANA) (2014): Number Resources; URL: <https://www.iana.org/numbers> (Zugriff am: 13.11.2014).
- Internet Engineering Task Force (IETF) (2001): Request for Comments (RFC) 3194 - The Host-Density Ratio for Address Assignment Efficiency: An update on the H ratio; November 2001; <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3194.txt.pdf> (Zugriff am: 16.01.2015).
- Internet Engineering Task Force (IETF) (2007): Request for Comments (RFC) 4966 - Reasons to Move the Network Address Translator - Protocol Translator (NAT-PT) to Historic Status; July 2007; URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4966.txt> (Zugriff am: 27.11.2014).
- Internet of Things Expert Group (IoT-EG) (2012): Internet of Things Expert Group – Sub-Group on Identification; 10th meeting of the Internet of Things Expert Group; November 14th, 2012; URL: <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.-cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=7600&no=6> (Zugriff am: 27.10.2014).
- IPv4 Market Group (2014): IPv4 Market Group Reviews 2013 Year in Trading, Predicts Trends for 2014; Press Release; In: Marketwired.com; 29.01.2014; URL: <http://www.marketwired.com/press-release/ipv4-market-group-reviews-2013-year-in-trading-predicts-trends-for-2014-1873805.htm> (Zugriff am: 21.11.2014).
- IPv6 Forum (2013): IPv6 Ready Logo Program – Whitepaper; November 2013; URL: https://www.ipv6ready.org/docs/IPv6_Ready_Logo_White_Paper_Final.pdf (Zugriff am: 19.01.2015).

- IPv6-Portal.de (o.J.): Betriebssysteme; URL: <http://www.ipv6-portal.de/-informationen/kompatibilitaet/betriebssysteme.html> (Zugriff am: 14.11.2014).
- Jasperneite, Jürgen/ Bretschneider, Peter (2013): Industrial Smart Grids, in: Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB)(Hg.): VISIT [Industrie 4.0], S. 8-10.
- Kagermann, Henning et al. (2011): Industrie 4.0 - Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution; In: VDI Nachrichten; Ausgabe 13; 1. April 2011; URL: <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution> (Zugriff am: 10.10.2014).
- Kleinz, Thorsten (2011): Vorratsdaten - Das Internet-Protokoll 6 verändert die Spielregeln; in: ZEIT ONLINE; 20.01.2011; URL: <http://www.zeit.de/digital/datenschutz/2011-01/ipv6-vorratsdaten#> (Zugriff am: 10.09.2014).
- KPMG AG (2014): KPMG-Umfrage: Deutsche Unternehmen fürchten bei „Industrie 4.0“ den Anschluss zu verlieren; Pressemitteilung vom 10.06.2014; URL: <http://www.kpmg.com/de/de/bibliothek/presse/seiten/deutsche-nternehmen-fuerchten-bei-industrie-4-0-anschluss-zu-verlieren.aspx> (Zugriff am : 23.09.2014).
- Krämer, Christian (2013): Umsetzung von M2M – Geschäftsmodelle im Rollout; De-tecon Consulting; Eco-M2M-Kongress Köln; 21.11.2013.
- Kubach, Uwe (2013): Machine-2-Machine and the Internet of Things; SAP AG; URL: http://icc2013.ieee-icc.org/5.M2M_ICC_2013-06-11.pdf (Zugriff am: 05.03.2015).
- Lee, Paul/ Steward, Duncan/ Calugar-Pop, Cornelia (2015): Technology, Media & Telecommunications (TMT) Predictions 2015; Deloitte.
- Lucidi, Stefano/ Stumpf, Ulrich (2014): Implikationen der Internationalisierung von Telekommunikationsnetzen und Diensten für die Nummernverwaltung; WIK Diskussionsbeitrag Nr. 393; Dezember 2014; Bad Honnef.
- MacDonald, Scott/ Rockley, Whitney (2014): The Industrial Internet of Things Report; McRock Capital.
- Miele & Cie. KG (o.J.): Miele@home – Kommunikationsfähige Miele Hausgeräte; URL: http://www.miele-primus.de/media/shop/home/_prospekte/aktionsprospekte/Miele_Home.pdf (Zugriff am: 16.01.2015).
- M2M World Alliance (2014): Telefonica to provide M2M connectivity for Tesla electric vehicles across major European markets; 02.04.2014; URL: http://www.m2mworldalliance.com/pdf/web/viewer.html?file=%2Fimages%2FM2M_Alliance_Apr22014rev4.pdf (Zugriff am: 03.02.2015).

- Nationaler IT-Gipfel (2014 a): Ergebnisbericht 2013 – Projektgruppe M2M Initiative Deutschland; Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT-Gipfels (AG2); Digitale Infrastrukturen als Enabler für innovative Anwendungen; 15.03.2014.
- Nationaler IT-Gipfel (2014 b): M2M – Querschnittstechnologie für die vernetzte Gesellschaft; Arbeitsgruppe 2; Vernetzte Anwendungen und Plattformen für die digitale Gesellschaft; Projektgruppe M2M (Internet der Dinge); Oktober 2014.
- National Telecommunications & Information Administration (NTIA) (2014): NTIA Announces Intent to Transition Key Internet Domain Name Functions; Pressemitteilung vom 14.03.2014; URL: <http://www.ntia.doc.gov/press-release/2014/ntia-announces-intent-transition-key-internet-domain-name-functions> (Zugriff am: 10.09.2014).
- Nygren, Erik (2014): IPv6 - Sweet Spots of Adoption; In: NetworkComputing.com; 03.03.2014; URL: <http://www.networkcomputing.com/networking/ipv6-sweet-spots-of-adoption/a/d-id/1234689> (Zugriff am: 20.11.2014).
- OECD (2014 a): OECD-Wirtschaftsberichte Deutschland – Zusammenfassung; Mai 2014.
- OECD (2014 b): The Economics of Transition to Internet Protocol version 6 (IPv6); OECD Digital Economy Papers; No. 244; OECD Publishing; URL: <http://dx.doi.org/10.1787/5jxt46d07bhc-en> (Zugriff am: 07.11.2014).
- o.V. (2004): IPv6: Gewinner verzweifelt gesucht; in: heise online; 18.01.2004; URL: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/IPv6-Gewinner-verzweifelt-gesucht-91857.html> (Zugriff am: 09.09.2014).
- o.V. (2007 a): Green revolutionary – Bob Lane’s management philosophy has helped an American firm to reap a record harvest; In: The Economist; 04.04.2007; URL: <http://www.economist.com/node/8956493> (Zugriff am: 26.02.2015).
- o.V. (2007 b): Gesetzliche Regulierung für Migration zu IPv6 angeregt; in: heise Netze; 17.10.2007; URL: <http://www.heise.de/netze/meldung/Gesetzliche-Regulierung-fuer-Migration-zu-IPv6-angeregt-186269.html> (Zugriff am: 10.09.2014).
- o.V. (2014): Fliegender Anbieterwechsel – Apple bietet eigene Multi-SIM-Karte für neue iPads an; in: heise online; 17.10.2014; URL: http://www.heise.de/newsticker/meldung/Fliegender-Anbieterwechsel-Apple-bietet-eigene-Multi-SIM-Karte-fuer-neue-iPads-an-2426905.html?wt_mc=rss.ho.beitrag.atom (Zugriff am: 20.10.2014).
- o.V. (2014): iPad Air 2 - Neue SIM-Karten - Apple macht Mobilfunkbranche verrückt; in: Handelsblatt; 17.10.2014; URL: <http://www.handelsblatt.com/technologie/it-tk/it->

internet/ipad-air-2-neue-sim-karten-apple-macht-mobilfunkbranche-verrueckt/10855048.html (Zugriff am: 20.10.2014).

o.V. (2015): Industrie 4.0- Bosch will Standards vorantreiben; in: heise online; 15.02.2015; URL: http://www.heise.de/newsticker/meldung/Industrie-4-0-Bosch-will-Standards-vorantreiben-2549645.html?wt_mc=rss.ho.beitrag.atom (Zugriff am: 17.02.2015).

Plattform Industrie 4.0 (o. J.): Plattform Industrie 4.0, o. O.

Plattform Industrie 4.0 (2013): Tendenzumfrage der Plattform zu Industrie 4.0; Ergebnisse Januar – Februar 2013; Verteilung über BITKOM, VDMA und ZVEI vom 10.02.2013 - 15.02.2013.

Plattform Industrie 4.0 (2013): Was Industrie 4.0 (für uns) ist; in: Blog; Veröffentlicht am 05.07.2013; URL: <http://www.plattform-i40.de/blog/was-industrie-40-f%C3%BCr-uns-ist> (Zugriff am: 09.10.2014).

Porter, Michael E./ Heppelmann, James E. (2014): How Smart, Connected Products Are Transforming Competition; Spotlight on Managing the Internet of Things; Harvard Business Review; November 2014.

Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0; Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft; April 2013.

Ramisch, Fritz (2014): Apple SIM ausgebremst – US-Mobilfunker erschweren Einsatz programmierbarer SIM-Karte; in: mobilbranche.de; 27.10.2014; URL: <http://mobilbranche.de/2014/10/apple-sim-us> (Zugriff am: 28.10.2014).

Riedesel, Conrad (2014): M2M für alle – Wie der Endkundenmarkt die Branche verändert; In: NET; 10/14; S. 29-30.

RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (o.J.): IPv4 CIDR Chart; URL: <http://www.ripe.net/lir-services/training/material/LIR-Training-Course/LIR-Training-Handbook-Appendices/CIDR-Chart-IPv4.pdf> (Zugriff am: 19.01.2015).

RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2013 a): RIPE NCC Charging Scheme 2014; Document ID: ripe-591; Mai 2013.

RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2013 b): IPv6 Address Allocation and Assignment Policy; Document ID: ripe-589; Mai 2013.

- RIPE Network Coordination Centre (RIPE NCC) (2014): Understanding IP Addressing; 4. Januar 2011, Last updated 22. April 2014; URL: <http://www.ripe.net/internet-coordination/press-centre/understanding-ip-addressing> (Zugriff am: 19.01.2015).
- Schleipen, Miriam (2014): Glossar Industrie 4.0 des Fachausschuss VDI/ VDE-GMA 7.21 „Industrie 4.0“; Definiert durch Fachausschuss VDI/ VDE-GMA 7.21 „Industrie 4.0“ u.a. unter Leitung von Dr.-Ing. Miriam Schleipen, Fraunhofer IOSB; Stand: 03.09.2014.
- Schlund, Sebastian/ Hämmerle, Moritz/ Strölin, Tobias (2014): Industrie 4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung – Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern werden; Ingenics AG (Hg.).
- Schreiber, Manuel (2011): IPv6-Internetadressen - Start ins grenzenlose Web – Sind meine Geräte IPv6-ready?; In: FOCUS Online; URL: http://www.focus.de/digital/computer/chip-exklusiv/tid-22548/ipv6-internetadressen-sind-meine-geraete-ipv6-ready_aid_633656.html (Zugriff am: 19.01.2015).
- Schulz, Thomas (2013): Maschinen verdrängen Menschen; In: SPIEGEL ONLINE; 29.04.2013; URL: <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/silicon-valley-reporter-maschinen-verdraengen-menschen-a-896711.html> (Zugriff am: 23.09.2014).
- Schultz, Evan (2013): Run connected; In: Jörg Eberspächer/ Uwe Kubach (Hg.): M2M und das Internet der Dinge – Vom Hype zur praktischen Nutzung; Münchner Kreis – Übernationale Vereinigung für Kommunikationsforschung e.V.; S. 12-31.
- Seidel, Axel/ Pivac, Ante (2014): Wirtschaftsstandort NRW 2030; Aktivieren – Stärken – Ausbauen; Prognos AG (Hg.).
- Sentker, Andreas (2014): Ernten via Satellit – Wie die moderne Landwirtschaft versucht, die Erträge zu steigern und gleichzeitig die Böden zu schonen; in: ZEIT ONLINE; 23.01.2014; URL: <http://www.zeit.de/2014/04/landwirtschaft-technisierung-nachhaltigkeit/komplettansicht> (Zugriff am: 02.02.2015).
- Siemens AG (2013): IPv6 in der Automatisierungstechnik – White Paper V1.0; Januar 2013.
- Spath, Dieter (Hg.) (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0; Fraunhofer - Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO; Fraunhofer Verlag.
- Stamm, Peter/ Büllingen, Franz (2014): Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitratiger Datenübertragung, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 391, Bad Honnef.

- Sterling, Bruce (2014): Web Semantics - Some synonyms for the Internet of Things; in: WIRED.com; 20.02.2014; URL: <http://www.wired.com/2014/02/web-semantics-synonyms-internet-things/> (Zugriff am: 09.10.2014).
- Treichl, Carolin (2015): Studie: Industrie 4.0 in Deutschland scheitert am Faktor Mensch; Pressemitteilung; 03. März 2015; Computer Sciences Corporation (CSC); URL: http://www.csc.com/de/press_releases/118621-studie_industrie_4_0_in_deutschland_scheitert_am_faktor_mensch (Zugriff am: 09.03.2015).
- Verizon (2015): State of the market – The Internet of Things 2015; Discover how IoT is transforming business results.
- VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (2013): VDE: Das Smart Home wird 2025 Standard – Technologieverband sieht für Deutschland globalen Markt mit hohem Wachstumspotenzial; Pressemitteilung; 19/2013; 5. März 2013; URL: <http://www.vde.com/de/Verband/Pressecenter/Presse-meldungen/Fach-und-Wirtschaftspresse/2013/Seiten/19-2013.aspx> (Zugriff am 29.09.2014).
- Wahle, Sebastian (2013): Standardisierte M2M-Plattformen als Schnittstelle zum Nervensystem der Smart City; Fraunhofer FOKUS; Fachkonferenz Münchner Kreis „M2M und das Internet der Dinge – vom Hype zur praktischen Nutzung“, München, 06.05.2013.
- Wan, Jiafu et al. (2013): From Machine-to-Machine Communications towards Cyber-Physical Systems; In: ComSIS, Vol. 10, No: 3; Juni 2013; S. 1105-1128.
- Wietfeld, Christian (2013): Kommunikationsnetze für Cyber Physical Systems – Nordrhein-Westfalen auf dem Weg zum digitalen Industrieland; Clustermanagement IKT.NRW (Hg.); Wuppertal, November 2013.
- Wimmers, Sara (2014): Serviceprovider: SIM-Karten für den M2M-Einsatz; in: Funkschau.de; 13.10.2014; URL: <http://www.funkschau.de/mobile-solutions/artikel/113505/> (Zugriff am: 04.02.2015).
- Wolff, Ingo/ Schulze, Siegfried (2013): Industrie 4.0 – Cyber Physical Systems in der Produktion – Nordrhein-Westfalen auf dem Weg zum digitalen Industrieland; Clustermanagement IKT.NRW (Hg.); Wuppertal, November 2013.
- Zehentmeier, Wolfgang (2014): Mit IPv6 geht nichts - Xbox One kann kein modernes Internetprotokoll; in: BR.de; 24.01.2014; URL: <http://www.br.de/themen/ratgeber/inhalt/computer/xbox-one-ipv6-teredo-100.html> (Zugriff am: 20.11.2014).

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

- Nr. 322: Christian Wernick unter Mitarbeit von Dieter Elixmann:
Unternehmensperformance führender TK-Anbieter in Europa, August 2009
- Nr. 323: Werner Neu, Gabriele Kulenkampff:
Long-Run Incremental Cost und Preissetzung im TK-Bereich - unter besonderer Berücksichtigung des technischen Wandels, August 2009
- Nr. 324: Gabriele Kulenkampff:
IP-Interconnection – Vorleistungsdefinition im Spannungsfeld zwischen PSTN, Internet und NGN, November 2009
- Nr. 325: Juan Rendon, Thomas Plückebaum, Stephan Jay:
LRIC cost approaches for differentiated QoS in broadband networks, November 2009
- Nr. 326: Kenneth R. Carter
with contributions of Christian Wernick, Ralf Schäfer, J. Scott Marcus:
Next Generation Spectrum Regulation for Europe: Price-Guided Radio Policy, November 2009
- Nr. 327: Gernot Müller:
Ableitung eines Inputpreisindex für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, November 2009
- Nr. 328: Anne Stetter, Sonia Strube Martins:
Der Markt für IPTV: Dienstverfügbarkeit, Marktstruktur, Zugangsfragen, Dezember 2009
- Nr. 329: J. Scott Marcus, Lorenz Nett, Ulrich Stumpf, Christian Wernick:
Wettbewerbliche Implikationen der On-net/Off-net Preisdifferenzierung, Dezember 2009
- Nr. 330: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Stephan Jay:
"Breitband/Bandbreite für alle": Kosten und Finanzierung einer nationalen Infrastruktur, Dezember 2009
- Nr. 331: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm, Martin Zauner:
Preisstrategien von Incumbents und Wettbewerbern im Briefmarkt, Dezember 2009
- Nr. 332: Stephan Jay, Dragan Ilic, Thomas Plückebaum:
Optionen des Netzzugangs bei Next Generation Access, Dezember 2009
- Nr. 333: Christian Growitsch, Marcus Stronzik, Rabindra Nepal:
Integration des deutschen Gasgroßhandelsmarktes, Februar 2010
- Nr. 334: Ulrich Stumpf:
Die Abgrenzung subnationaler Märkte als regulatorischer Ansatz, März 2010
- Nr. 335: Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Dragan Ilic:
Der Einfluss von Next Generation Access auf die Kosten der Sprachterminierung, März 2010
- Nr. 336: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Martin Zauner:
Netzzugang und Zustellwettbewerb im Briefmarkt, März 2010
- Nr. 337: Christian Growitsch, Felix Höffler, Matthias Wissner:
Marktmachtanalyse für den deutschen Regelenergiemarkt, April 2010
- Nr. 338: Ralf G. Schäfer unter Mitarbeit von Volker Köllmann:
Regulierung von Auskunfts- und Mehrwertdiensten im internationalen Vergleich, April 2010
- Nr. 339: Christian Growitsch, Christine Müller, Marcus Stronzik
Anreizregulierung und Netzinvestitionen, April 2010
- Nr. 340: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Rolf Schwab:
Das VNB-Geschäftsmodell in einer sich wandelnden Marktumgebung: Herausforderungen und Chancen, April 2010

- Nr. 341: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Schölermann:
Die Entwicklung von Hybridpost: Marktentwicklungen, Geschäftsmodelle und regulatorische Fragestellungen, August 2010
- Nr. 342: Karl-Heinz Neumann:
Structural models for NBN deployment, September 2010
- Nr. 343: Christine Müller:
Versorgungsqualität in der leitungsgebundenen Gasversorgung, September 2010
- Nr. 344: Roman Inderst, Jürgen Kühling, Karl-Heinz Neumann, Martin Peitz:
Investitionen, Wettbewerb und Netzzugang bei NGA, September 2010
- Nr. 345: Christian Growitsch, J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Auswirkungen niedrigerer Mobilterminierungsentgelte auf Endkundenpreise und Nachfrage, September 2010
- Nr. 346: Antonia Niederprüm, Veronika Söntgerath, Sonja Thiele, Martin Zauner:
Post-Filialnetze im Branchenvergleich, September 2010
- Nr. 347: Peter Stamm:
Aktuelle Entwicklungen und Strategien der Kabelbranche, September 2010
- Nr. 348: Gernot Müller:
Abgrenzung von Eisenbahnverkehrsmärkten – Ökonomische Grundlagen und Umsetzung in die Regulierungspraxis, November 2010
- Nr. 349: Christine Müller, Christian Growitsch, Matthias Wissner:
Regulierung und Investitionsanreize in der ökonomischen Theorie, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Dezember 2010
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 351: Peter Stamm, Anne Stetter unter Mitarbeit von Mario Erwig:
Bedeutung und Beitrag alternativer Funklösungen für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen, Februar 2011
- Nr. 352: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann:
Nationale Breitbandstrategien und Implikationen für Wettbewerbspolitik und Regulierung, März 2011
- Nr. 353: Christine Müller:
New regulatory approaches towards investments: a revision of international experiences, IRIN working paper for working package: Advancing incentive regulation with respect to smart grids, April 2011
- Nr. 354: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:
Elektronische Zustellung: Produkte, Geschäftsmodelle und Rückwirkungen auf den Briefmarkt, Juni 2011
- Nr. 355: Christin Gries, J. Scott Marcus:
Die Bedeutung von Bitstrom auf dem deutschen TK-Markt, Juni 2011
- Nr. 356: Kenneth R. Carter, Dieter Elixmann, J. Scott Marcus:
Unternehmensstrategische und regulatorische Aspekte von Kooperationen beim NGA-Breitbandausbau, Juni 2011
- Nr. 357: Marcus Stronzik:
Zusammenhang zwischen Anreizregulierung und Eigenkapitalverzinsung, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Juli 2011
- Nr. 358: Anna Maria Doose, Alessandro Monti, Ralf G. Schäfer:
Mittelfristige Marktpotenziale im Kontext der Nachfrage nach hochbitratigen Breitbandanschlüssen in Deutschland, September 2011

- Nr. 359: Stephan Jay, Karl-Heinz Neumann, Thomas Plückebaum
unter Mitarbeit von Konrad Zoz:
Implikationen eines flächendeckenden Glasfaserausbaus und sein Subventionsbedarf, Oktober 2011
- Nr. 360: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Neue Verfahren für Frequenzauktionen: Konzeptionelle Ansätze und internationale Erfahrungen, November 2011
- Nr. 361: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Martin Zauner:
Qualitätsfaktoren in der Post-Entgeltregulierung, November 2011
- Nr. 362: Gernot Müller:
Die Bedeutung von Liberalisierungs- und Regulierungsstrategien für die Entwicklung des Eisenbahnpersonenfernverkehrs in Deutschland, Großbritannien und Schweden, Dezember 2011
- Nr. 363: Wolfgang Kiesewetter:
Die Empfehlungspraxis der EU-Kommission im Lichte einer zunehmenden Differenzierung nationaler Besonderheiten in den Wettbewerbsbedingungen unter besonderer Berücksichtigung der Relevante-Märkte-Empfehlung, Dezember 2011
- Nr. 364: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:
Vom Smart Grid zum Smart Market – Chancen einer plattformbasierten Interaktion, Januar 2012
- Nr. 365: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm, Anne Stetter:
Analyse der Kabelbranche und ihrer Migrationsstrategien auf dem Weg in die NGA-Welt, Februar 2012
- Nr. 366: Dieter Elixmann, Christin-Isabel Gries, J. Scott Marcus:
Netzneutralität im Mobilfunk, März 2012
- Nr. 367: Nicole Angenendt, Christine Müller, Marcus Stronzik:
Elektromobilität in Europa: Ökonomische, rechtliche und regulatorische Behandlung von zu errichtender Infrastruktur im internationalen Vergleich, Juni 2012
- Nr. 368: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele, Martin Zauner:
Kostenstandards in der Ex-Post-Preiskontrolle im Postmarkt, Juni 2012
- Nr. 369: Ulrich Stumpf, Stefano Lucidi:
Regulatorische Ansätze zur Vermeidung wettbewerbswidriger Wirkungen von Triple-Play-Produkten, Juni 2012
- Nr. 370: Matthias Wissner:
Marktmacht auf dem Primär- und Sekundär-Regelenergiemarkt, Juli 2012
- Nr. 371: Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:
Prognosemodelle zur Nachfrage von Briefdienstleistungen, Dezember 2012
- Nr. 372: Thomas Plückebaum, Matthias Wissner:
Bandbreitenbedarf für Intelligente Stromnetze, 2013
- Nr. 373: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:
Der Netzbetreiber an der Schnittstelle von Markt und Regulierung, 2013
- Nr. 374: Thomas Plückebaum:
VDSL Vectoring, Bonding und Phantoming: Technisches Konzept, marktliche und regulatorische Implikationen, Januar 2013
- Nr. 375: Gernot Müller, Martin Zauner:
Einzelwagenverkehr als Kernelement eisenbahnbezogener Güterverkehrskonzepte?, Dezember 2012
- Nr. 376: Christin-Isabel Gries, Imme Philbeck:
Marktentwicklungen im Bereich Content Delivery Networks, April 2013
- Nr. 377: Alessandro Monti, Ralf Schäfer, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Kundenbindungsansätze im deutschen TK-Markt im Lichte der Regulierung, Februar 2013
- Nr. 378: Tseveen Gantumur:
Empirische Erkenntnisse zur Breitbandförderung in Deutschland, Juni 2013
- Nr. 379: Marcus Stronzik:
Investitions- und Innovationsanreize: Ein Vergleich zwischen Revenue Cap

- und Yardstick Competition, September 2013
- Nr. 380: Dragan Ilic, Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Peter Stamm:
Migrationsoptionen für Breitbandkabelnetze und ihr Investitionsbedarf, August 2013
- Nr. 381: Matthias Wissner:
Regulierungsbedürftigkeit des Fernwärmesektors, Oktober 2013
- Nr. 382: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:
Netzugang im Briefmarkt, Oktober 2013
- Nr. 383: Andrea Liebe, Christine Müller:
Energiegenossenschaften im Zeichen der Energiewende, Januar 2014
- Nr. 384: Christan M. Bender, Marcus Stronzik:
Verfahren zur Ermittlung des sektoralen Produktivitätsfortschritts - Internationale Erfahrungen und Implikationen für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, März 2014
- Nr. 385: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm:
Die Marktentwicklung für Cloud-Dienste - mögliche Anforderungen an die Netzinfrastruktur, April 2014
- Nr. 386: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Smart Metering Gas, März 2014
- Nr. 387: René Arnold, Sebastian Tenbrock:
Bestimmungsgründe der FTTP-Nachfrage, August 2014
- Nr. 388: Lorenz Nett, Stephan Jay:
Entwicklung dynamischer Marktszenarien und Wettbewerbskonstellationen zwischen Glasfasernetzen, Kupfernetzen und Kabelnetzen in Deutschland, September 2014
- Nr. 389: Stephan Schmitt:
Energieeffizienz und Netzregulierung, November 2014
- Nr. 390: Stephan Jay, Thomas Plückebaum:
Kostensenkungspotenziale für Glasfaseranschlussnetze durch Mitverlegung mit Stromnetzen, September 2014
- Nr. 391: Peter Stamm, Franz Büllingen:
Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitrativer 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

ISSN 1865-8997