



□ Prof. Dr.-Ing. Thomas Magedanz

(thomas.magedanz@fokus.fraunhofer.de)

arbeitet seit mehr als 25 Jahren im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologie zur Realisierung offener Dienstumgebungen. Seit dem Jahr 2000 leitet er das Kompetenzzentrum Next Generation Network Infrastructures (NGNI) am Fraunhofer Institut FOKUS, wo er die Entwicklung von international anerkannten Softwarewerkzeugen zur Prototypisierung innovativer Kommunikationsanwendungen leitet.



□ Ronald Steinke

(ronald.steinke@tu-berlin.de)

arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Lehrstuhl Architekturen der Vermittlungsknoten (AV) an der Technischen Universität Berlin. Bereits als studentischer Mitarbeiter arbeitete er mit an der OpenMTC-Plattform und beschäftigte sich mit den Themen M2M und IoT. Sein jetziger Schwerpunkt ist M2M-Kommunikation in modernen Netzwerken.



□ Andreas Weber

(andreas.weber@fokus.fraunhofer.de)

hat mehr als 17 Jahre internationale, technische, geschäftliche und strategische Erfahrung in der Telekommunikationsbranche und ist derzeit im Fraunhofer Institut FOKUS für die Technologie- und Marktauswertung zuständig. Zuvor hat er in Deutschland, Mexiko und den USA bei Siemens, Nokia-Siemens Networks und Huawei-Technologies im engen Kontakt mit den führenden Betreibern gearbeitet und bei der Planung, Bewertung und Einführung von neuen Technologien, Lösungen und Anwendungen mitgeholfen.



□ Alexander Willner

(alexander.willner@tu-berlin.de)

leitet seit 2012 die Forschungsgruppe Future Internet Testbeds am Lehrstuhl Architekturen der Vermittlungsknoten (AV) an der Technischen Universität Berlin. In enger Kooperation mit dem Fraunhofer Institut FOKUS arbeitet er mit seinem Team im Kontext von föderierten Infrastrukturen mit Schwerpunkt auf der semantischen Beschreibung von Ressourcen und deren Anwendung auf die Bereiche Intercloud Computing, IoT, NFV und SDN.

Das Internet der Dinge und Maschine-zu-Maschine-Kommunikation als Rückgrat für Smart Cities

Aktuell lebt mehr als die Hälfte der Erdbevölkerung in städtischen Gebieten und tausende Städte werden bis 2050 weltweit neu gegründet. Die daraus resultierenden Herausforderungen werden innerhalb sogenannter „Smart Cities“ angegangen. In diesen sollen mithilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) die Angebote einer Stadt intelligenter und damit die Lebensqualität ihrer Bewohner verbessert werden. Dabei besteht eine Smart City aus einer Vielzahl von untereinander kommunizierenden Geräten, die gemeinsam ein Internet of Things (IoT) bilden. Um den Informationsaustausch ohne menschlichen Eingriff zwischen diesen Maschinen zu ermöglichen, ist ein zentrales Nervensystem – eine Maschine-zu-Maschine-Infrastruktur (M2M) – notwendig. Die vom Fraunhofer Institut FOKUS und der Technischen Universität Berlin entworfene Plattform *Open Machine Type Communication* (OpenMTC) stellt eine standardkonforme M2M-Referenzimplementierung dar. Neben der Anwendungsdomäne Smart Cities werden bei der kontinuierlichen Weiterentwicklung auch die Bereiche der intelligenten Fabriken (Industrie 4.0) und die nächste Mobilfunkgeneration (5G) berücksichtigt. Um Forschern und Entwicklern die Möglichkeit zu geben, ihre Soft- und Hardware für diese Anwendungsbereiche gegenüber aktuellen Standards zu validieren, wird OpenMTC neben anderen Diensten in der Fraunhofer Testumgebung *FUSECO Playground* angeboten.

Smart City Motivation

Die Welt tritt in eine neue Ära, in der sowohl die wirtschaftliche wie auch die politische Bedeutung der Städte immer schneller wachsen. Bereits heute lebt mehr als die Hälfte aller Menschen in Städten. Bis zum Jahr 2050 sollen es, den Vereinten Nationen (VN) zufolge, knapp 70 Prozent der Weltbevölkerung bzw. 6,3 Milliarden Bürgerinnen und Bürger sein. Alleine in Deutschland leben heutzutage mehr als 60 Millionen Einwohner in Städten. Aus dieser zunehmenden Urbanisierung folgen große soziale, wirtschaftliche und ökologische Herausforderungen an die städtische Infrastruktur.

Was aber treibt die Menschen in die Städte? Die VN nennen Arbeit und die Möglichkeit zu investieren als Hauptgründe: Bereits heute werden 80 Prozent des weltweiten Bruttosozialprodukts (BIP) in Städten erwirtschaftet und in manchen Ländern wie Südkorea, Ungarn oder Belgien generiert eine Stadt mehr als 45 % des Landes-BIP.

Neben wirtschaftlichen Anreizen spielen auch der Zugang zu Ressourcen wie Wasser, Energie und Nahrung sowie ein großes Angebot an Dienstleistungen, Kultur und Freizeitaktivitäten eine Rolle bei der Entscheidung zum Leben in der Stadt. Aber die hohe Dichte an Menschen, der geballte Zugriff auf die vorhandenen Ressourcen und nicht kalkulierbare Risiken, wie zum Beispiel extreme Wetterverhältnisse, technische Stör-

fälle oder finanzielle Spekulationen, machen auch hochtechnisierte und -strukturierte Metropolregionen verwundbar. Für Menschen in weniger soliden Städten sind sie oft lebensbedrohlich.

Smart-City-Technologien bilden hier das Rückgrat einer Stadt. Sie tragen dazu bei, städtische Infrastrukturen etwa für Mobilität, Energie- und Gesundheitsversorgung zuverlässig zu betreiben und die Lebensqualität der Menschen in den Städten in vielerlei Hinsicht zu verbessern.

Die IKT bietet Möglichkeiten zur Verbesserung der Effizienz und Kostensenkung von aktuellen Systemen und schafft somit eine bessere und transparentere Servicequalität für die Bürger der Städte der Zukunft und bildet ein Fundament für weitere Innovationen. Bedürfnisse werden auf neuen Wegen erfüllt und Märkte werden neu definiert. Aktuelle Trends in diesem Zusammenhang sind: Mobiles Internet, Automatisierung, Internet der Dinge und Cloud-Technologien.

Neben ihrem wichtigen strategischen Einsatz spielen diese Technologien auch eine wichtige wirtschaftliche Rolle. McKinsey erwähnt Umsätze von mehreren Billionen USD pro Jahr [1] (siehe [Abbildung 1](#)).

Die notwendigen Geräte samt zugehöriger Sensoren werden billiger, kompakter, schneller und intelligenter – und zwar so sehr, dass sie untereinander autonom kommunizieren können, was u. a. auch als Internet der Dinge bzw. Internet of

Things (IoT) bekannt ist. Es handelt sich um die Verschaltung von eindeutig identifizierbaren Einheiten innerhalb einer bestehenden Internet-Infrastruktur.

Laut HP waren bis zum Ende des Jahres 2011 rund 15.000 Millionen Geräte bereits angeschlossen. Vorhersagen für das kommende Jahrzehnt sind unterschiedlich, aber alle folgen schnell wachsenden Kurven. Die optimistische Sicht liegt bei 50.000 Millionen vernetzten Geräten im Jahr 2020 (Quelle: ITU, 2011).

Der Markt von vernetzten Geräten wird neue Umsätze generieren, neue Geschäftsmodelle ermöglichen, die Effizienz steigern und die Art und Weise, wie bestehende Dienste untereinander kommunizieren, verbessern. Gemäß einer Studie der GSMA in Partnerschaft mit Machina Research könnten durch die Erschließung dieses neuen Marktes weltweit Umsätze in Höhe von 3.5 Billionen € pro Jahr generiert werden [2].

Diese Geräte bilden das zentrale, sensorielle Nervensystem der Stadt. Auf Basis von ihren Abmessungen und Informationen, zusammen mit intelligenten Kommunikationstechnologien sowie qualitativ hochwertigen Softwarearchitekturen und -systemen wird das Leben der Bürger in einer Vielzahl von Bereichen innerhalb der Städte leichter und effizienter: die Städte werden schlauer. Die erworbene Intelligenz findet in vielen Bereichen ihre Anwendung: Energie, Gesundheit, Verkehr/Logistik, Sicherheit, Smart Home, usw.

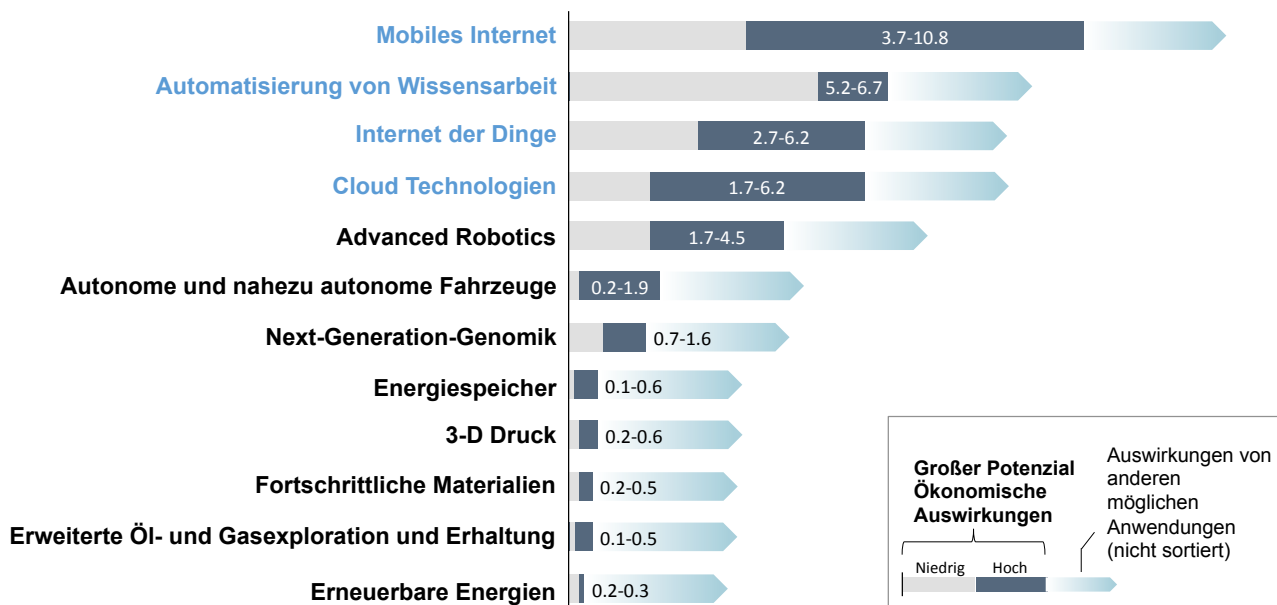


Abb. 1: Geschätzte Auswirkungen von Technologien aus spezifischen Anwendungsgebieten in Billionen USD/Jahr, 2025 (Quelle: McKinsey Global Institute Analysis, 2013[1])

Internet of Things (IoT) / Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M)

Verschiedene Standardisierungsorganisationen haben technische Arbeitsgruppen, die für die Themen Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M) und das Internet der Zukunft verantwortlich sind. Das 3rd Generation Partnership Project (3GPP) behandelt M2M-Kommunikation unter dem Begriff *Machine Type Communication* (MTC) und hat mit deren Standardisierung im Zuge der 3GPP-Spezifikation Release 10 angefangen.

In Release 11 wurden einige der vorgeschlagenen Funktionen aufgenommen, zum Beispiel die Adressierung und die Ansteuerung der Geräte. Die Internet Engineering Task Force (IETF) betreut viele der notwendigen Protokolle, die im Internet der Dinge von wichtiger Bedeutung sind. Darunter sind altbewährte Protokolle wie IP, TLS und HTTP, die weit verbreitet sind und somit die Interoperabilität gewährleisten.

Es wurden jedoch auch neuere Protokolle entwickelt, um den veränderten Bedingungen bei der M2M-Kommunikation Rechnung zu tragen, wie zum Beispiel das Constrained Application Protocol (CoAP) und Kommunikationsprotokoll IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN). Weitere wichtige Protokolle in der M2M-Kommunikation sind Nachrichtenprotokolle, wie Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP), MQ Telemetry Transport (MQTT) und Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) sowie Protokolle, die das Management der Geräte ermöglichen, wie Device Management (DM) und Lightweight (LW) M2M von Open Mobile Alliance (OMA) und TR-069 vom Broadband Forum (BBF).

Um eine effiziente Ende-zu-Ende-Verfügbarkeit von M2M-Diensten zu gewährleisten und M2M-Standards zu entwickeln, gründete das European Telecommunications Standards Institute (ETSI) ein technisches Komitee im Jahr 2009. Zu Beginn wurden die Anforderungen definiert, die neben der Sicherheit und dem Kommunikationsmanagement auch die funktionalen Anforderungen einer horizontalen Plattform für M2M-Kommunikation betrafen. Diese Plattform sollte sicherstellen, dass die Kommunikation mit verschiedensten Sensoren und Aktuatoren in einer konsistenten Art und Weise für verschiedene Anwendungen möglich ist.

ETSI definierte dazu verschiedene Funktionsgruppen für spezielle Aufgaben wie Sicherheit oder Transport und vereinte sie in sogenannten „Service Capability Layer“ (SCL). Als Endpunkt in einem Netzwerk sind diese als Network SCL (NSCL) und auf den Geräten als Device- (DSCL) oder Gateway-SCL (GSCL) definiert. Je nachdem, ob die Verbindung mit anderen Geräten geteilt wird oder nicht.

Die Kommunikation unter den SCL's und zwischen den Anwendungen mit den SCL's findet über offene Schnittstellen statt. Ein besonderer Schwerpunkt ist die mögliche Integration des M2M-Netzwerkes mit dem mobilen Zugangsnetz.

Im Jahr 2012 wurde anschließend das oneM2M-Konsortium etabliert, welches das Ziel hatte, die Bestrebungen bei der Standardisierung weltweit zu konsolidieren. Das oneM2M-Konsortium besteht aus sieben Standardisierungsorganisationen, darunter ETSI, und hat mittlerweile mehr als 260 Partner und Mitglieder.

Die spezifizierte Architektur von oneM2M zielt, ähnlich wie die von ETSI, auf eine Trennung in zwei Bereiche ab: in Infrastruktur- und Felddomäne. Im Vergleich zum ETSI-Standard involviert oneM2M das unterliegende Netzwerk und spezifiziert dieses genauer. Auch wird das Thema der Semantik stärker angegangen. Ein ers-

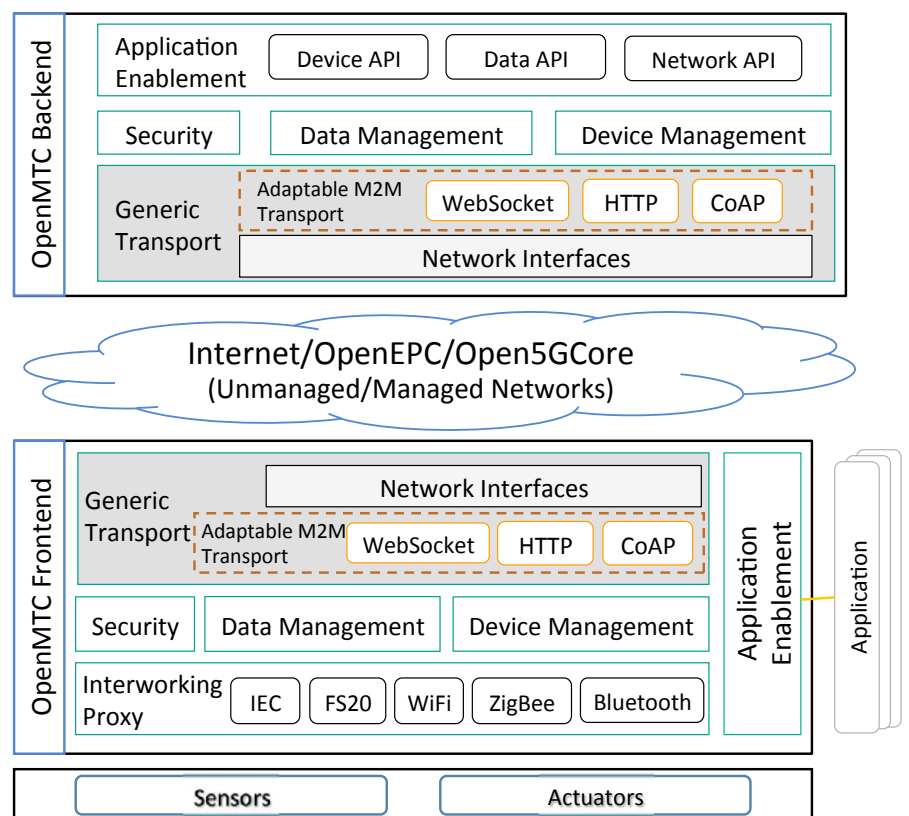
ter Release Candidate wurde im August 2014 veröffentlicht.

Fraunhofer OpenMTC als Referenzimplementierung

Die OpenMTC-Plattform [3] ist eine prototypische Implementation der oben genannten Standards, die vom Fraunhofer Institut FOKUS und der Technischen Universität Berlin entwickelt wurde. OpenMTC ist als horizontale Verbindungsschicht entworfen worden, um mehrere vertikale Anwendungsdomänen zu unterstützen.

Beispiele sind das Transportwesen, Versorgungsunternehmen, die Autoindustrie oder das Gesundheitswesen. Die Plattform kann unabhängig oder als Teil einer gemeinsamen Infrastruktur genutzt werden. In der aktuellen Fassung ist OpenMTC kompatibel zu den ETSI-M2M-Spezifikationen Release 2 (siehe [4]) und wird in der nächsten Version den OneM2M-Standard [5] unterstützen.

OpenMTC unterstützt eine Client/Serverbasierte REST-Architektur mit einem hierarchisch angelegten Ressourcenbaum und ermöglicht die Nutzung des Publish-Subscribe-Mechanismus. Wie in [Abbildung 2](#) zu erkennen ist, beinhaltet OpenMTC einen generischen Transportteil (GT), der die Interaktion zwischen dem



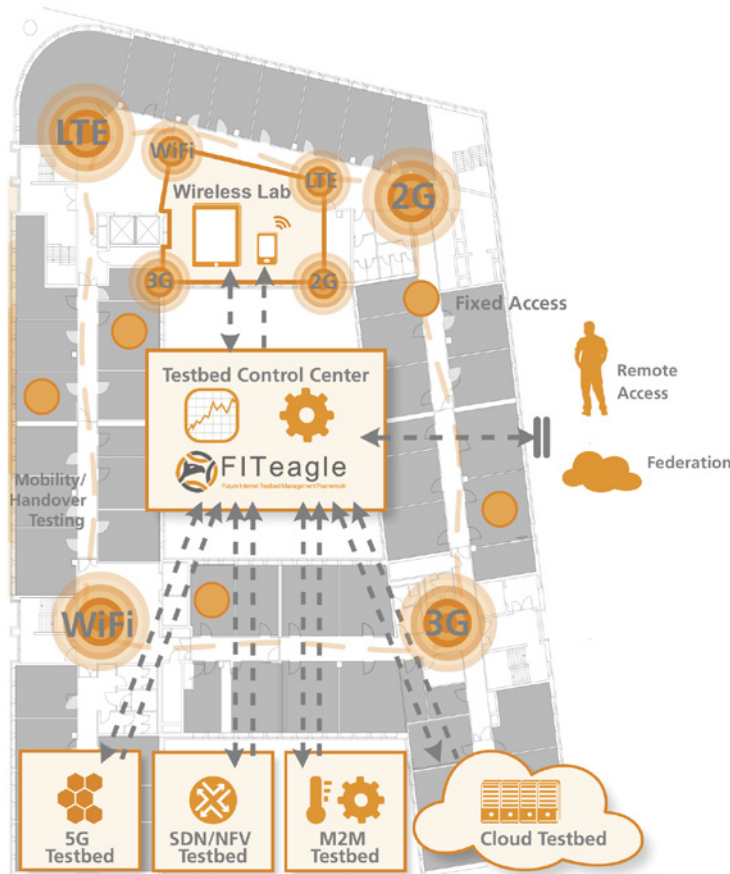


Abb. 3: Fraunhofer FUSECO Playground

Frontend und dem Backend verwaltet.

Auch ist eine Verbindung zu den Zugangsnetzen über eine Integration mit den Frameworks Open5GCore [8] und OpenSDNCore [9] möglich. Der GT beinhaltet ein anpassbares M2M-Transportmodul (AM2MT), das integrierbare Transportprotokolle wie HTTP und CoAP bereitstellt.

Die OpenMTC-Plattform bietet Anwendungen ein Store-and-Forward-Feature (SAF). Dadurch ist es Anwendungen möglich, Nachrichten zu priorisieren. Das Gateway kann anschließend diese Nachrichten entsprechend verarbeiten und bestimmte Pakete aggregieren. Um die Integration von verschiedensten Sensoren und Aktuatoren zu gewährleisten, werden verschiedene Interworking Proxys (IP) benutzt, die als Protokolladapter dienen.

Diese IPs vermitteln zwischen Geräten und der M2M-Plattform. Sie sind jeweils für spezielle Technologien verantwortlich, wie zum Beispiel FS20, ZigBee, KNX, usw. Dazu werden alle Komponenten dieser Technologie in das System abgebildet, um die Interaktion mit diesen Geräten zu ermöglichen. Um die Entwicklung von M2M-Applikation zu erleichtern, bietet die OpenMTC-Plattform eine API, die be-

stimmte Funktionen abstrahiert. Somit wird die Komplexität vor dem Entwickler verborgen. Für die Repräsentation der Daten werden die Formate XML und JSON unterstützt.

OpenMTC wird aktuell in europäischen Forschungsprojekten, wie beispielsweise FI-STAR [10] oder TRES-CIMO [11] verwendet. Darüber hinaus stellt es eine Referenzimplementierung des FIWARE [12] Gateway Device Management Generic Enablers (GDM GE) dar. Außerdem findet es Verwendung in industriellen Projekten, vorrangig im Bereich von Smart Energy in Bürogebäuden.

Im TRES-CIMO-Projekt geht es um Testbeds für zuverlässige M2M-Kommunikation im Kontext der Smart City. Einerseits sollen experimentelle Testbeds für das Experimentieren aufgebaut werden, andererseits werden zwei Versuchsanlagen errichtet. Eine Versuchsanlage befindet sich in Spanien und befasst sich mit dem Messen der Umweltdaten und dem Transport in nicht immer verfügbaren Netzen. Die andere wird in Südafrika aufgebaut und soll untersuchen, wie sich das Teilen der Kontrolle von Haushaltsgeräten mit dem Versorgungsunternehmer auf die Stabilität des Stromnetzes auswirkt.

OpenMTC im Fraunhofer FUSECO Playground

Zur Evaluierung zukünftiger Smart-City-Anwendungen wird die M2M-Referenzimplementierung OpenMTC (as a Service) im Fraunhofer Future Seamless Communication (FUSECO) Playground [7] zur Verfügung gestellt. Die Testumgebung eröffnet Forschern und Entwicklern die Möglichkeit, Machbarkeitsstudien für das Internet der Zukunft umzusetzen, die unter anderem für die Bereiche eHealth, Logistik, Industrie 4.0, Automotive, Smart Grid/Home/Metering und die nächste Mobilfunkgeneration (5G) relevant sind.

Abbildung 3 stellt eine schematische Übersicht der vorhandenen Testbeds und Technologien dar. Es werden verschiedene Umgebungen angeboten, die für die Städte der Zukunft eine Rolle spielen werden und OpenMTC als grundlegende Kommunikationsplattform nutzen. Das schließt sowohl physikalische als auch virtualisierte Umgebungen für unterschiedliche Netzwerktechnologien (DSL/WLAN/2G/3G/4G-LTE/LTE-A/5G), Sensornetzwerke und cloudbasierte Umgebungen für Software Defined Networking (SDN) und Network Function Virtualization (NFV) ein.

Der Zugriff auf die Technologien des FUSECO Playground ist entweder bei interessierten Forschern und Entwicklern vor Ort möglich oder erfolgt extern. Um Letzteres zu ermöglichen, sind die einzelnen Testbeds Teil der großen Europäischen Initiativen Future Internet Research and Experimentation (FIRE [6]) bzw. des Future Internet Private Public Partnership (FI-PPP [13]). Der Zugriff auf die virtuellen Instanzen erfolgt hierbei entweder über die von dem System FITeagle [14] oder über die im Rahmen von FIWARE [12] entwickelten Schnittstellen.

Ausblick

Weitere typische Einsatzgebiete für M2M-Plattformen, die OpenMTC abdeckt, sind die Bereiche Smart Home/Building und eHealth. In kommerziellen Gebäuden kann die Energieaufnahme gemessen und das Benutzerverhalten analysiert werden. Mit diesen Daten können anschließend intelligente Entscheidungen getroffen werden, um den Stromverbrauch signifikant zu senken.

Um jedoch in kritischen Infrastrukturen, wie zum Beispiel im Stromnetz oder in automatisierten Fabriken, auf M2M zu setzen, bedarf es einer robusten Kommunikationstechnik. Auch die fünfte Genera-

tion im Mobilfunk (5G), die im Kernnetz verstärkt auf SDN setzt, stellt hohe Anforderungen an die Flexibilität und Latenz.

Da hier insbesondere das Internet der Dinge unterstützt werden soll, wird OpenMTC derzeit mit den Frameworks Open5GCore und OpenSDNCore kombiniert. Durch den elementaren Einsatz von Edge-cloud-Konzepten werden dabei die Verarbeitung großer Datenmengen sowie die darauf aufbauende Steuerung möglichst in der Nähe der angeschlossenen Maschinen/Antennensysteme erfolgen und dynamisch konfiguriert.

Diese Integration erlaubt somit die prototypische Umsetzung solcher Szenarien im Industrie-4.0-Kontext, der aktuell in Deutschland große Relevanz erlangt. Fraunhofer FOKUS erprobt dabei mit namhaften internationalen Netzbetreibern und Herstellern die praktische Umsetzung von Industrie-4.0- Anwendungsszenarien. Einige davon wurden jüngst auf dem internationalen FOKUS FUSECO Forum [15] demonstriert. ■

Referenzen

- [1] Manyika, J., Chui M., Bughin J., Dobbs R., Bisson P., Marrs, A., “Disruptive technologies: Advances that will transform life, business and the global economy”, McKinsey Global Institute, Mai 2013.
- [2] GSMA, “The mobile Economy 2014”, Online: <http://gsmamobileeconomy.com>
- [3] Corici, M., Coskun, H., Elmangoush, A., Kurniawan, A., Mao, T., Magedanz, T., & Wahle, S. (2012). OpenMTC: Prototyping Machine Type communication in carrier grade operator networks. In Globecom Workshops (GC Wkshps) (pp. 1735–1740). IEEE. Online: <http://www.openmtc.org>
- [4] ETSI TS 102 690 v2.1.1, “Machine-to-Machine communications (M2M); Functional architecture,” 2013. Online: <http://etsi.org>
- [5] oneM2M-TS-0001 -V0.8.0, “oneM2M Functional Architecture Baseline.” 2014. Online: <http://onem2m.org>
- [6] Gavras, A. Karila, S. Fdida, M. May, and M. Potts, “Future Internet Research and Experimentation: The FIRE Initiative,” SIGCOMM Comput. Commun. Rev., vol. 37, no. 3, pp. 89–92, 2007. Online: <http://ict-fire.eu>
- [7] Fraunhofer Future Seamless Communication Technologies (FUSECO) Playground. Online: <http://www.fuseco-playground.org>
- [8] Fraunhofer Open5GCore – The Next Mobile Core Network Testbed Platform. Online: <http://www.open5gcore.net>
- [9] Fraunhofer OpenSDNCore – Research & Testbed for the carrier-grade NFV/SDN environment. Online: <http://www.opensdncore.org>
- [10] FI-PPP FI-STAR – Future Internet Social and Technological Alignment Research. Online: <http://fi-star.eu>
- [11] FIRE TRESCIMO – Testbeds for Reliable Smart City Machine to Machine Communication. Online: <http://trespico.eu>
- [12] FIWARE – Core Platform of the Future Internet. Online: <http://fiware.org>
- [13] FI-PPP – Future Internet Public Private Partnership. Online: <http://fi-ppp.eu>
- [14] FITeagle – Future Internet Testbed Experimentation and Management Framework. Online: <http://fiteagle.org>
- [15] FOKUS FUSECO Forum. Online: <http://www.fuseco-forum.org>