



PAiCE-MONITOR

Markt, Technik, Innovation

Impressum

Herausgeber

Begleitforschung PAiCE
iit – Institut für Innovation und Technik in der
VDI / VDE Innovation + Technik GmbH
Peter Gabriel
Steinplatz 1
10623 Berlin
gabriel@iit-berlin.de
www.paice.de

Autoren

Birgit Buchholz | 030 310078-164 | buchholz@iit-berlin.de
Peter Gabriel | 030 310078-206 | gabriel@iit-berlin.de
Dr. Tom Kraus | 030 310078-5615 | kraus@iit-berlin.de
Dr. Matthias Künzel | 030 310078-286 | kuenzel@iit-berlin.de
Stephan Richter | 030 310078-5407 | srichter@iit-berlin.de
Uwe Seidel | 030 310078-181 | seidel@iit-berlin.de
Dr. Inessa Seifert | 030 310078-370 | seifert@iit-berlin.de
Dr. Steffen Wischmann | 030 310078-147 | wischmann@iit-berlin.de

Gestaltung

LoeschHundLiepold
Kommunikation GmbH
Hauptstraße 28 | 10827 Berlin
paice@hlk.de

Stand

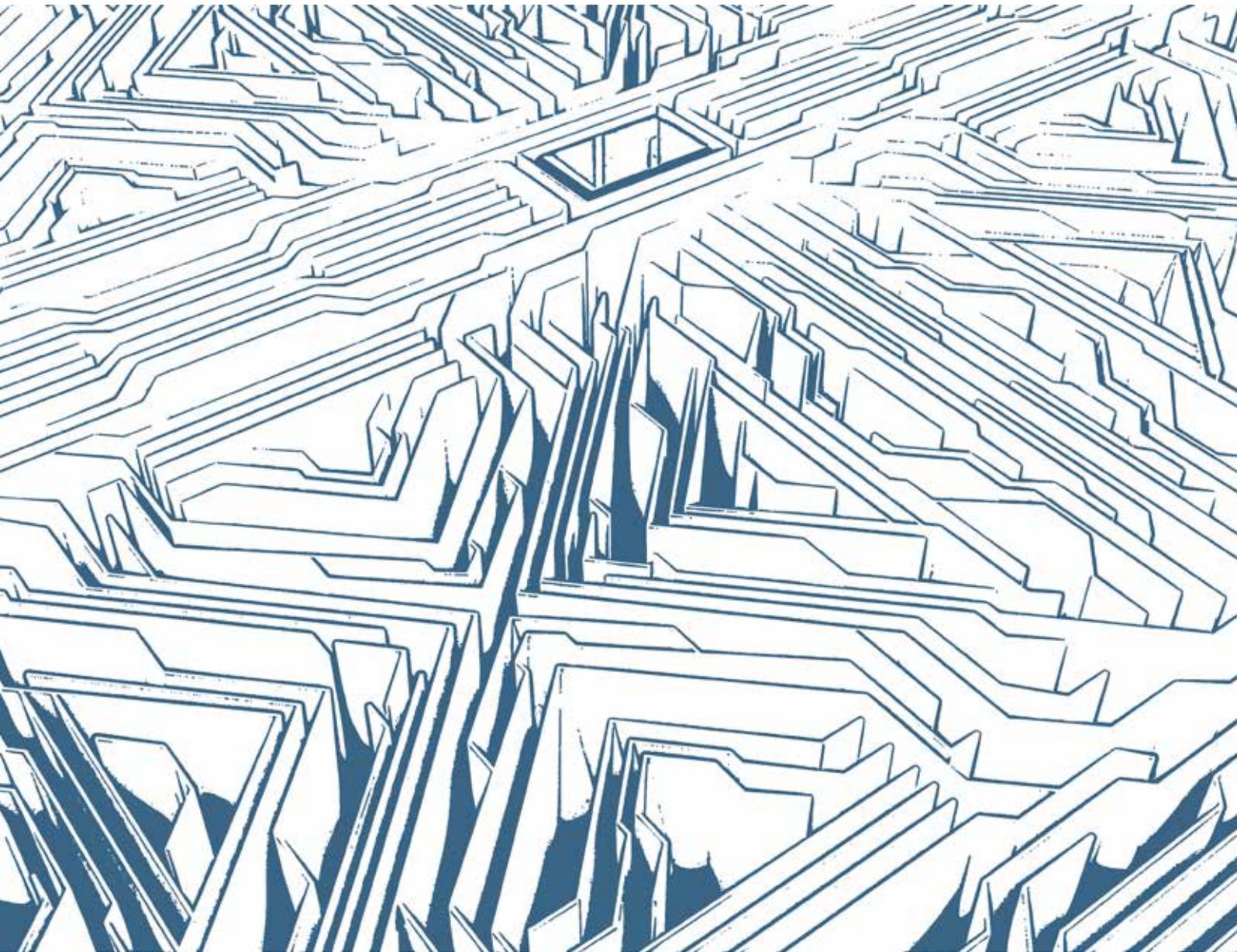
April 2018

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



PAiCE-MONITOR

Markt, Technik, Innovation

Inhalt

1 Einleitung	6
2 Cluster Robotik – Servicerobotik für Industrie, Dienstleistung und Endkunden	8
2.1 Marktanalyse	8
2.2 Start-up-Umfeld	10
2.3 Stand der Technik	12
2.4 FuE-Entwicklungen	14
2.5 Projekte des Clusters Robotik	17
BakeR – Baukastensystem für kosteneffiziente, modulare Reinigungsroboter	18
QBIK – Autonome, lernende Logistikroboter mit Greifsystem und Mensch-Maschine-Schnittstelle	20
RoboPORT – Crowd-Engineering in der Robotik: Webplattform für Ideen- und Prototypenentwicklung	22
ROBOTOP – Offene Plattform für Roboter-Anwendungen in Industrie und Service	24
SeRoNet – Plattform zur Entwicklung von Serviceroboter-Lösungen	26
3 Cluster 3D – Additive Fertigung in der Produktion	28
3.1 Marktanalyse	28
3.2 Start-up-Umfeld	30
3.3 Stand der Technik	32
3.4 FuE-Entwicklungen	34
Add2Log – Dezentrale Produktion auf Basis von additiver Fertigung und agiler Logistik	36
DigiKAM – Digitales Netzwerk für additive Fertigung	38
M3D – Mobile 3D-Erfassung für den 3D-Druck vor Ort	40
SAMPL – Sichere Plattform für Additive Fertigung/Secure Additive Manufacturing Plattform	42
4 Cluster Engineering – Disziplinen- und phasenübergreifendes Engineering für Industrie 4.0	44
4.1 Marktanalyse	44
4.2 Start-up-Umfeld	47
4.3 Stand der Technik	49
4.4 FuE-Entwicklungen	50
4.5 – Projekte des Clusters Engineering	53
DEVEKOS – Durchgängiges Engineering für sichere, verteilte und kommunizierende Mehrkomponentensysteme	54
EMuDig 4.0 – Effizienzschub in der Massivumformung durch Integration digitaler Technologien im Engineering der gesamten Wertschöpfungskette	56
INTEGRATE – Offene Plattform für kooperatives Engineering	58
VariKa – Vernetztes Produkt- und Produktions-Engineering am Beispiel variantenreicher Fahrzeugkarosserien	60

5 Cluster Logistik – Logistiknetzwerke in der Fertigung62

5.1 Marktanalyse	62
5.2 Start-up-Umfeld	63
5.3 Stand der Technik	65
5.4 FuE-Entwicklungen.	66
5.5 Projekte des Clusters Logistik	67
iSLT.NET – Unternehmensübergreifendes Netzwerk für intelligente, modulare Sonderladungsträger	68
SaSCh – Digitale Services für vernetzte Lieferketten	70

6 Cluster Kommunikation – Systemarchitekturen für die industrielle Kommunikation72

6.1 Marktanalyse	72
6.2 Start-up-Umfeld	74
6.3 Stand der Technik	77
6.4 FuE-Entwicklungen.	79
6.5 Projekt des Clusters Kommunikation.	81
IC4F – Baukasten für eine vertrauenswürdige industrielle Kommunikations- und Computing-Infrastruktur.	82

7 Begleitforschung – Systemarchitekturen für die industrielle Kommunikation.84

7.1 Aktuelles aus den Fachgruppen	84
Aktuelle Publikationen	89
Veranstaltungen	90

8 Ansprechpartner bei Projektträger und Begleitforschung91

1 Einleitung

Industrie, Forschung und Politik treiben die horizontale und vertikale Vernetzung von Produktion und Logistik mit der Leitvision „Industrie 4.0“ massiv voran. Die umfassende Digitalisierung der Prozesse in Entwicklung, Fertigung, Transport und Nutzung bietet zum einen die Chance, die Effizienz beim Einsatz von Arbeit, Ressourcen und Kapital noch einmal zu steigern. Zum anderen werden die Möglichkeiten, privaten und gewerblichen Kunden individualisierte Projekte bedarfsgerecht und zeitnah anbieten zu können, weiter ausgebaut. Damit wird die Grundlage geschaffen, die internationale Spitzenstellung des produzierenden Gewerbes in Deutschland zu halten und zu stärken.

Mit dem Technologieprogramm PAiCE (Platforms | Additive Manufacturing | Imaging | Communication | Engineering) unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) innerhalb der Digitalen Agenda der Bundesregierung die Umsetzung der Leitvision „Industrie 4.0“ in die unternehmerische Praxis. In 16 Projekten arbeiten Unternehmen und Forschungseinrichtungen daran, den Einsatz innovativer digitaler Technologien in Produktion und Logistik in großen, praxisnahen Pilotprojekten zu erproben. Die über hundert Partner in den Projekten werden vom BMWi mit insgesamt 50 Mio. EUR gefördert. Zusammen mit den Eigenanteilen der Projektpartner hat PAiCE ein Volumen von über 100 Mio. EUR.

PAiCE setzt dabei die Arbeit aus den Vorläuferprogrammen Next Generation Media, AUTONOMIK und AUTONOMIK für Industrie 4.0 fort. Dort wurden Basistechnologien für die dezentrale oder sogar autonome Prozesssteuerung in der Industrie erprobt und es wurde untersucht, welche neuen Anforderungen sich daraus an Geschäftsmodelle, Arbeitsorganisation und die rechtliche Behandlung von Haftung, Zertifizierung und Datenschutz ergeben.



Die Projekte in PAiCE gehen jetzt den nächsten Schritt und beschäftigen sich mit dem Aufbau von digitalen Industriepattformen und der Kollaboration von Unternehmen über diese Plattformen. Sie tun das in fünf Clustern:

- Im Cluster **Robotik**, das aus den Projekten BakeR, QBIK, RoboPORT, ROBOTOP und SeRoNet besteht, wird an offenen Baukastensystemen für Serviceroboter in Industrie und Dienstleistungsgewerbe gearbeitet.
- Im Cluster **3D** arbeiten die Projekte Add2Log, DigiKAM, M3D und SAMPL an Plattformen für die Additive Fertigung.
- Die Projekte des Clusters **Engineering** – DEVEKOS, EMuDig 4.0, INTEGRATE und VariKa – entwickeln und erproben Konzepte für ein kooperatives Engineering.
- Das Cluster **Logistik** bilden die Projekte iSLT.NET und SaSch. Sie beschäftigen sich mit Plattformen für das Management von Logistiknetzwerken.
- Das Querschnittsprojekt IC4F repräsentiert schließlich das Cluster **Kommunikation**. Auf Basis der Arbeiten in den anderen Projekten in PAiCE entwickelt IC4F eine Kommunikations- und Computing-Architektur für Industrie 4.0.

Die PAiCE-Projekte sind in den Jahren 2016 bis 2017 gestartet. Dieser erste Fortschrittsbericht im Programm beschreibt in den Kapiteln zwei bis sechs für alle Cluster den aktuellen Stand der Projekte. Damit die Leserin/der Leser die Projekte besser in ihr jeweiliges ökonomisches und technisches Umfeld einordnen kann, beschreiben wir für jedes Cluster einleitend das Marktumfeld, die Start-up-Szene, den Stand der Technik und die Forschungslandschaft.

Im März 2017 hat auch die Begleitforschung für das Programm PAiCE ihre Arbeit aufgenommen. Die ersten Arbeiten der drei neu gegründeten Fachgruppen Kooperative Geschäftsmodelle, Recht und Vertrauenswürdige Architekturen werden in Kapitel 7 vorgestellt. Dort findet sich auch eine Übersicht zu den Veranstaltungen und den Studien der Begleitforschung in den Jahren 2017 und 2018.



2 Cluster Robotik

Servicerobotik für Industrie, Dienstleistung und Endkunden

Mobile Serviceroboter nehmen mittlerweile auch in professionellen Anwendungen eine wichtige Rolle ein. Gleich fünf Projekte des Technologieprogramms PAiCE widmen sich diesem Thema: die Plattformprojekte QBIIK, RoboPORT, ROBOTOP und SeRoNet sowie das Projekt BakeR, in dem ein Baukastensystem für Reinigungsroboter entwickelt wird.

Der Begriff „Servicerobotik“ ist gerade in Abgrenzung zur klassischen Industrierobotik weder selbsterklärend noch eindeutig abgrenzend. Er wird erheblich griffiger, wenn man zentrale Merkmale von Servicerobotern identifiziert, statt sich auf ihre variable technologische Ausstattung oder intendierten Anwendungskontexte zu konzentrieren:

1. Für die Anwendung sind keine besonderen Bedienkenntnisse erforderlich, oftmals ist eine Bedienung durch Laien möglich.
2. Die Einsatzumgebung von Servicerobotern ist gering strukturiert oder offen bzw. vollkommen unstrukturiert. Hiermit hängt in Teilen zusammen:
3. Der Einsatz von Servicerobotern erfolgt nicht in vollautomatisierter industrieller Produktion.

2.1 Marktanalyse

Die Servicerobotik ist ein Wachstumsmarkt. Der internationale Dachverband der Robotik-Industrie und Robotik-Forschungsinstitute, die „International Federation of Robotics“ (IFR), schätzt, dass zwischen 2018 und 2020 weltweit knapp 400.000 Serviceroboter im professionellen und knapp 43 Mio. Serviceroboter im Endkonsumentenbereich zum Einsatz kommen und im selben Zeitraum in den Segmenten jeweils ca. 23 Mrd. bzw. ca. 16 Mrd. EUR umgesetzt werden.¹ Die IFR geht dabei von Wachstumsraten im zweistelligen Prozentbereich in den kommenden Jahren aus.

Am Gesamtmarkt von insgesamt ca. 7 Mrd. EUR im Jahr 2017 beläuft sich der professionelle Bereich (B2B) auf einen Anteil von 62 Prozent (ca. 4,4 Mrd. EUR Umsatz, ca. 80T verkaufte Einheiten), während auf die Endkonsumenten (B2C) ein Anteil von 38 Prozent (ca. 2,6 Mrd. EUR, ca. 8,6 Mio. verkaufte Einheiten) entfällt. Auffällig hierbei ist die hundertfach höhere Stückzahl im Endkonsumentenbereich bei deutlich geringeren Gesamtumsätzen im Vergleich zum professionellen Bereich.

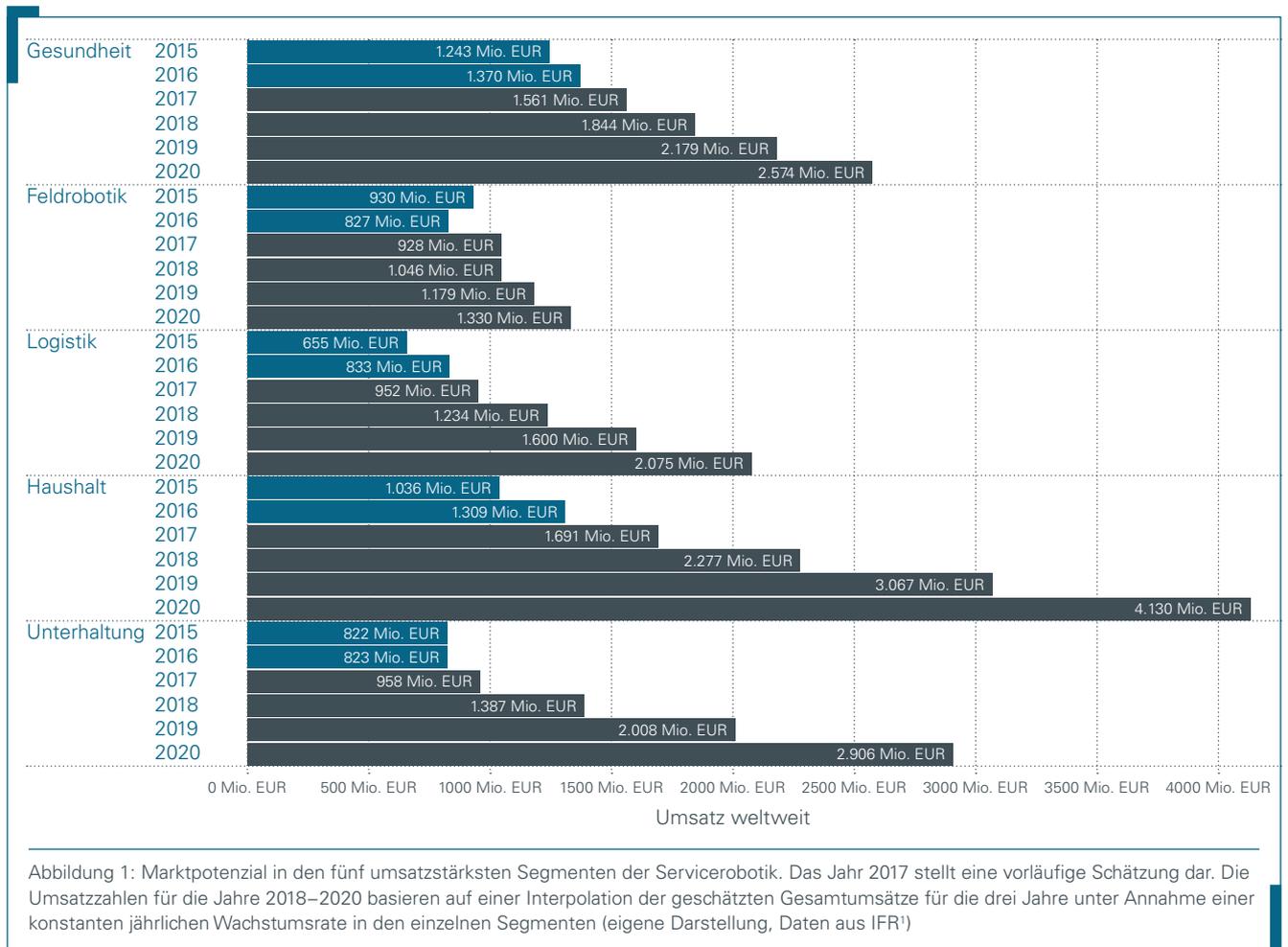
Betrachtet man die Marktabschätzungen der Servicerobotik im gesamten professionellen (zivilen²) Bereich (inkl. produzierender Industrie), kristallisieren sich drei Anwendungsgebiete heraus, die ein deutlich höheres Marktpotenzial versprechen als der Rest (siehe Abbildung 1). Die höchsten Umsätze wurden 2017 in der Medizin (Diagnostik, Chirurgie, Therapie und Rehabilitation) mit knapp 1,6 Mrd. EUR erzielt. Dominierend ist hier die robotergestützte Chirurgie (ca. 70 Prozent aller verkauften Einheiten fallen in diese Kategorie). Feldrobotik³ und Logistik zeichnen sich durch ähnlich hohe Marktanteile aus (ca. eine Mrd. EUR in 2017), wobei für die Logistik in den nächsten Jahren ein deutlich stärkeres Wachstum vorhergesagt wird. Umsatzmotor der Feldrobotik waren 2017 ganz klar Melkroboter (ca. 83 Prozent aller

¹ IFR: World Robotics 2017 – Service Robots, 2017.

² Im Verteidigungssektor wurden 2017 Umsätze in Höhe von knapp 640 Mio. EUR erzielt. Für den Zeitraum von 2015 bis 2018 werden Umsätze von knapp 3 Mrd. EUR prognostiziert (siehe Fußnote 1). Es ist allerdings anzumerken, dass die öffentlich verfügbaren Zahlen für die Ausgaben im Verteidigungsbereich nicht zwangsläufig als repräsentativ zu betrachten sind.

³ Der Bereich Feldrobotik (aus dem Englischen „field robotics“) adressiert neben der Landwirtschaft noch folgende Anwendungsgebiete: Tiefsee, Weltraum, Inspektion im Außenbereich, Forstwirtschaft und Bergbau. Feldroboter kommen oberirdisch ebenso wie unterirdisch in natürlichen, unstrukturierten, großen Außenbereichen zum Einsatz.

verkauften Einheiten in diesem Segment) und in der Logistik fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) außerhalb der Fertigung (ebenfalls ca. 83 Prozent aller verkauften Einheiten in diesem Segment). Zusammen stellen die drei spezifischen Roboterarten (Chirurgieroboter, Melkroboter, FTF) im Jahr 2017 ca. 50 Prozent aller abgesetzten Einheiten im professionellen Bereich dar.



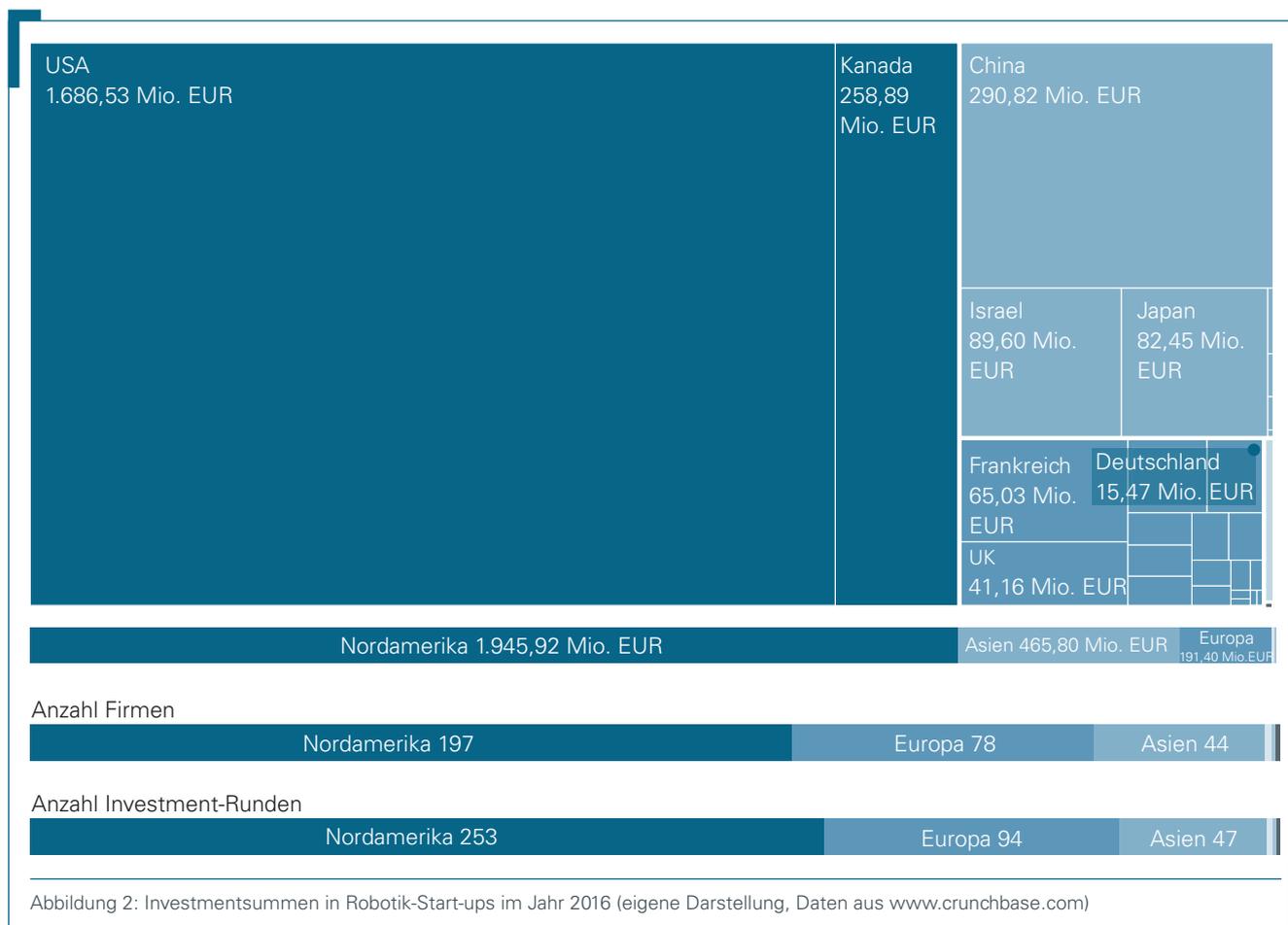
Ausgeklammert aus den bisher verfügbaren Marktanalysen in der Servicerobotik wird bislang oft die Fertigung in der Produktion. Eine verlässliche quantitative Einschätzung des Marktpotenzials für Roboter als Produktionsassistenten (manchmal auch als Co-Bots definiert) ist derzeit nicht möglich. Insbesondere für die Mensch-Roboter-Kollaboration, und da speziell beim Einsatz von Roboterarmen für die Montage oder Komponentenfertigung, existieren kaum belastbare Absatzzahlen, da sich bis dato die meisten Anwendungen noch in der Phase von Pilotprojekten oder im sehr frühen produktiven Einsatz befinden. Erste Schätzungen gehen von einem weltweiten Umsatz im Jahr 2016 von knapp 150 Mio. EUR aus und prognostizieren ein Wachstum auf 3,6 Mrd. EUR im Jahr 2023, was jährlichen Wachstumsraten von über 50 Prozent entspräche.⁴ Ganz entscheidend für die Einführung

4 www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/collaborative-robot-market-194541294.html (zuletzt abgerufen am 12.12.2017).

von Co-Bots ist eine kurze Amortisationszeit. Mittlerweile verschärft sich der Wettbewerb unter der wachsenden Anbieterzahl zunehmend und gleichzeitig sinken die Preise. So bewegen sich derzeitige Systeme auf sehr unterschiedlichem Preisniveau, zwischen 3.000 EUR (Dobot, China), 10.000 EUR (Franka, Deutschland), 28.000 EUR (Sawyer, USA), 33.000 EUR (UR10, Dänemark), 56.000 EUR (ABB, Schweiz) und 90.000 EUR (Kuka, Deutschland).

Im Endkonsumentenbereich dominieren zwei Roboterarten den Markt: Haushalt und Unterhaltung. Haushalt (2017: ca. 1,4 Mrd. EUR Umsatz, ca. 6 Mio. verkaufte Einheiten) wird sehr stark von Staubsaugerrobotern dominiert (96 Prozent aller verkauften Einheiten); Unterhaltung (2017: ca. 960 Mio. EUR Umsatz, ca. 2,5 Mio. verkaufte Einheiten) von Spielzeugrobotern (91 Prozent aller verkauften Einheiten). Spielzeug- und Staubsaugerroboter stellen damit ca. 95 Prozent des gesamten Endkonsumentenmarkts dar.

2.2 Start-up-Umfeld



Betrachtet man die Investments in Start-ups im Jahr 2016, zeigen sich sehr starke regionale Unterschiede (siehe Abbildung 2)⁵. Im Vergleich zu Europa fielen im asiatischen Raum die Investitionssummen knapp zweieinhalbmal und im amerikanischen Raum ca. zehnmal so hoch

⁵ Für diese und die folgenden Analysen wurde die Datenbank www.crunchbase.com verwendet, hier unter Berücksichtigung aller Einträge, die der Kategorie „robotics“ zugeordnet sind.

aus. Noch stärker treten länderspezifische Unterschiede auf. Die bekannten Investitionssummen beliefen sich in den USA auf das über Hundertfache und in China auf das knapp Zwanzigfache von Deutschland. Ähnlich wie beim Engineering (siehe Kapitel 4) gilt auch im Bereich Robotik, dass die Höhe der Einzelinvestments in China (im Schnitt ca. 24 Mio. EUR pro Runde; Fallzahl: 12) deutlich höher ausfällt als in den USA (ca. 10 Mio. EUR pro Runde, Fallzahl: 172) oder in Deutschland (ca. 1,7 Mio. EUR pro Runde, Fallzahl: 9), wengleich es insbesondere in den USA viele signifikante Ausreißer nach oben gibt (siehe Abbildung 3).⁶

Land	Start-up	Anwendungsbereich	Investment (2016)
USA	Zoox	Transport (autonomes Fahren)	215.595.250 EUR
	Velodyne LiDAR	Transport, Logistik, Sensorik	129.357.150 EUR
	Zymergen	Gesundheit, Biotechnologie	112.109.530 EUR
	Quanergy Systems	Transport, Logistik, Sensorik	77.614.290 EUR
	Carbon	Mechanical Engineering, Produktion	69.852.861 EUR
	Anki	Unterhaltung	45.275.003 EUR
	Roboteam	Feldrobotik	43.119.050 EUR
	Auris Surgical Robotics	Gesundheit	42.285.703 EUR
China	ROOBO	Haushalt, Unterhaltung	86.238.100 EUR
	Ubtech	Unterhaltung	86.238.100 EUR
	Rokid	Haushalt, Unterhaltung	43.119.050 EUR
	Zero Zero Robotics	Unterhaltung, Drohnen	19.834.763 EUR
	Flypro Aerospace Technology	Unterhaltung, Drohnen	19.834.763 EUR
	Simtoo	Unterhaltung, Drohnen	9.359.856 EUR
	A. I. Nemo	Haushalt, Unterhaltung	8.623.810 EUR
	Rockrobo	Haushalt	7.399.229 EUR
DE	Rewalk Robotics	Gesundheit	10.348.572 EUR
	Kinematics	Unterhaltung	2.500.000 EUR
	ReActive Robotics	Gesundheit	1.293.572 EUR

Abbildung 3: Die größten Finanzierungsrunden in den USA, China und Deutschland im Jahr 2016 (eigene Darstellung, Daten aus www.crunchbase.com)

In allen Regionen verteilt sich das Investment vornehmlich auf die fünf Bereiche mit dem größten Marktpotenzial: Feldrobotik, Logistik, Gesundheit, Haushalt, Unterhaltung (siehe Kapitel 2.1). Eine Ausnahme bildet der asiatische Raum (und hier insbesondere China), der sich besonders stark auf den Endkonsumentenmarkt fokussiert (Unterhaltung, Haushalt). Im Zusammenspiel mit den vergleichsweise hohen Investitionen und den (noch) geringen Produktionskosten ist zu erwarten, dass sich für ihn entscheidende Wettbewerbsvorteile in diesem Segment ergeben, die für andere Wettbewerber nur schwer aufzuholen sind.

In den USA wurden 2016 auffällig hohe Summen in autonomes Fahren, Robotik im Biotechsektor, Logistik, Unterhaltung und Feldrobotik investiert (siehe Abbildung 3). Dabei handelt es sich um die wichtigsten Marktsegmente in der Servicerobotik (siehe Kapitel 2.1) mit

⁶ Aufgrund der teilweise sehr geringen Fallzahlen der Investment-Runden mit bekannten Finanzierungsrahmen ist diese Interpretation jedoch insgesamt eher zurückhaltend zu bewerten.

Ausnahme des Haushaltsbereichs (hier dominiert der US-amerikanische Hersteller iRobot den Staubsaugerrobotermarkt und fuhr in den Jahren vor 2016 sehr hohe Investitionssummen ein).

Auch wenn die Investitionen in Start-ups in Deutschland deutlich geringer ausfallen, existieren in den professionellen Bereichen zahlreiche Start-ups mit teilweise erheblichen Investitionen (siehe Abbildung 3), der Endkonsumentenmarkt wird jedoch nur von vereinzelten Start-ups adressiert (bspw. Kinematics TinkerBots oder Babybe).

2.3 Stand der Technik

Die technischen Entwicklungen in der Servicerobotik hängen sehr stark von den verschiedenen Anwendungsgebieten ab:

Gesundheit

Neben Chirurgierobotern können Serviceroboter in allen Gebieten der Medizin (Diagnose, Therapie, anschließende Rehabilitation, Pflege und Betreuung, medizinische Ausbildung) sowie in der Unterstützung von Menschen mit Behinderungen oder mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen eingesetzt werden. So wurden bedeutende Fortschritte beim Führen von Diagnosegeräten, besonders in der Radiologie und Biopsie, erzielt. Auch in der Rehabilitation erreichen insbesondere Exoskelette mittlerweile einen hohen technischen Reifegrad und sind bereits prototypisch im Einsatz. Darüber hinaus existieren erste Systeme für die Telekommunikation bei Therapie und Pflege, die Therapie- und Rehabilitationsunterstützung, die emotionale Therapie (z. B. Autismus), als Sehhilfen, als teilautonome Rollstühle und als Assistenz für beeinträchtigte Personen (Haushalt, persönliche Hygiene, Mobilität).

Die aktuellen Herausforderungen liegen in der präzisen Steuerung der Roboter und ihrer Anpassungsfähigkeit an die individuellen Eigenschaften der Patienten. Datenschutztechnische Bedenken und mangelnde Akzeptanz verhindern eine rasche Verbreitung der Telemedizin.

Feldrobotik

Die Feldrobotik ist neben den dominanten Melkrobotern sehr breit aufgestellt und beinhaltet den Einsatz von Robotern in natürlichen, unstrukturierten, großen Außenbereichen, oberirdisch ebenso wie unterirdisch, in der Tiefsee und sogar im All. Landwirtschaft, Viehwirtschaft, Inspektion, Forstwirtschaft, Bergbau und Weltraummissionen stellen die wichtigsten Anwendungsbereiche dar.

Erste prototypische Roboter werden etwa bereits eingesetzt, um eine optimale Aussaat zu erzielen, Bewässerung und Ernte mit autonomen Fahrzeugen durchzuführen, Qualitätskontrolle durch Luftüberwachung sicherzustellen, automatische Viehfütterung zu realisieren, eine intelligente Zaunumsetzung beim Abgrasen von Viehweiden durchzuführen, Bäume teilautonom zu fällen oder zu pflanzen, Gebiete automatisch und regelmäßig mithilfe von Drohnen zu kartografieren, im Bergbau Detonationsarbeiten und eine anschließende Stabilisierung durchzuführen, Tiefsee oder Weltall zu erkunden und zu beobachten sowie Wartungsarbeiten durchzuführen.

In den kommenden Jahren sind für eine Erschließung der vollständigen Potenziale der Feldrobotik noch viele Herausforderungen zu lösen. Autonome Landwirtschaftsmaschinen zur Feldarbeit benötigen fortgeschrittene Sensordatenverarbeitung sowie deren durchgän-

gige Vernetzung. Ernteroboter müssen so weit entwickelt werden, dass die heute noch notwendige manuelle Resternternte auf ein Minimum reduziert wird. Insbesondere in der Landwirtschaft ist der Einsatz von Robotern weitestgehend saisonabhängig. Damit kommt es zu langen unproduktiven Standzeiten, die die Systeme unter Umständen nicht rentabel machen. In der Forstwirtschaft scheidet eine weitergehende Autonomisierung derzeit daran, dass schwierige Umweltbedingungen eine komplexe Navigation erforderlich machen, die nach dem heutigen Stand der Technik noch eine große Herausforderung darstellt.

Logistik

Die größten Fortschritte in den letzten Jahren wurden in der Logistik erzielt. Gerade in Lagerhäusern ist der Einsatz von FTF mittlerweile weit verbreitet und konnte sich gut am Markt etablieren. Erste Roboter kommen mittlerweile auch außerhalb von Lagerhallen zum Einsatz, zum Beispiel in Häfen, Flughäfen, Postzentren, Krankenhäusern und Büros. Auch erste autonome Kuriersysteme im öffentlichen Raum werden bereits getestet.

Außerhalb von Lagerhallen teilen sich autonome Logistiksysteme sehr häufig Arbeitsbereiche mit dem Menschen. Die Gewährleistung der Sicherheit in der Mensch-Roboter-Interaktion bei gleichzeitig hoher Effizienz stellt eine sehr große Herausforderung dar – das derzeitige Standardverhalten der Roboter ist sehr langsames Navigieren bis zum vollständigen Stopp. Außerdem benötigen Logistikroboter in der Regel immer noch relativ ebene Flächen und können sehr schlecht mit Hindernissen (Treppen etc.) umgehen, daher wird sich in naher Zukunft der Einsatz vor allem auf solche Flächen ohne Barrieren, wie etwa Lagerhallen, Supermärkte oder Krankenhäuser, fokussieren.

Haushalt

Der Staubsaugerroboter dominiert das Haushaltssegment. Daneben werden weitere Einsatzmöglichkeiten für Roboter im Haushalt erprobt, etwa als Haushaltshilfe und Assistent im Alltag (besonders auch als Hilfe für ältere und beeinträchtigte Personen), zur Übernahme weiterer Reinigungsarbeiten (Bodenreinigung, Fensterreinigung, Rasenmähen, Poolreinigung) oder Überwachung (Haus, Kinder, ältere/beeinträchtigte Personen, Haustiere). Dabei handelt es sich aktuell um Prototypen bzw. Nischenprodukte.

Zu den zentralen Herausforderungen gehört, dass private Haushalte selten barrierefrei sind (Türen, Treppen, Türschwellen) und viele Einsatzbereiche daher technologisch noch nicht erschlossen werden können. Bei der Reinigung kommt hinzu, dass Reinigungsroboter mehr Zeit benötigen und ein weniger gutes Ergebnis erzielen als dies bei der manuellen Reinigung der Fall wäre. Dementsprechend müssen die Roboter häufiger eingesetzt werden und manuelles Nacharbeiten ist immer noch notwendig. Darüber hinaus werden Fragen der Haftung zunehmend relevant, etwa bei der Fensterreinigung (potenziell gefährlich für Menschen beim Außeneinsatz durch mögliche Abstürze der Roboter). Auch das autonome Navigieren und „Handeln“ in komplexen, sich häufig ändernden Umgebungen wie einem typischen Haushalt, bereitet Robotern immer noch Schwierigkeiten. Die Kommunikation und Interaktion mit dem Menschen war bislang zu technisch gestaltet und oft nicht intuitiv genug. Die neuesten, sehr vielversprechenden Entwicklungen der Sprachsysteme lassen hier jedoch kurzfristig hohe Einsatzpotenziale erwarten.

Unterhaltung

Abseits des offensichtlichen und derzeit dominierenden Einsatzes von Robotern als Spielzeugroboter ergeben sich weitere Anwendungsgebiete, die bisher von Nischenprodukten

oder Prototypen bespielt werden. So können einfache Roboter mit nur wenigen Bewegungsfreiheitsgraden bei Freizeitgestaltung, Unterhaltung und privater Bildung in Kombination mit Multimedia-Services als Schnittstelle zur Cloud dienen. Im Unterschied zu Tablets und ähnlichen mobilen Endgeräten können sie als physische Informations- und Multimedia-Tools mit mindestens einem autonomen Bewegungsfreiheitsgrad sowohl im eigenen Zuhause als auch in Bildungseinrichtungen und anderen öffentlichen Gebäuden eingesetzt werden. Auch für die private Bildung, etwa zum Erlernen von Sprachen oder Programmierkenntnissen, eignen sich Roboter durchaus.

Der Endkonsumentenmarkt im Segment der Unterhaltung ist davon geprägt, sehr preissensitiv zu sein. Komplexere Produkte mit entsprechend hohen Preisen werden im Privatgebrauch daher nur wenig angenommen. Inwieweit entsprechend vereinfachte Systeme noch in der Lage sind, die oben erwähnten Anwendungen adäquat auszuführen, ohne den Endkonsumenten aufgrund mangelnder Fähigkeiten zu überfordern, ist derzeit nicht absehbar.

2.4 FuE-Entwicklungen

In allen Regionen der Welt werden derzeit Robotikinitiativen gestartet und gefördert (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Ausgewählte internationale Initiativen mit direktem Robotikbezug (eigene Darstellung)

Region	Programm/Initiative	Laufzeit	Fördervolumen (in Euro)
China	Made in China 2025	seit 2016	2,7 Mrd.
Japan	New Robot Strategy Robot Revolution Initiative	seit 2014	26 Mio.
Südkorea	KIRIA – Korea Institute for Robot Industry Advancement	seit 2010	34 Mio. p. a.
Südkorea	Second Basic Plan for Intelligent Robot Development	2014–2018	2,2 Mrd.
UK	RAS 2020 – Robotics and Autonomous Systems	seit 2014	217 Mio.
USA	NRI-2.0 National Robotics Initiative 2.0: Ubiquitous Collaborative Robots	2017–2021	25–38 Mio. p. a.
EU	Smart Robots for Smart Regions	seit 2017	500 Mio.
EU	IoF2020: Internet of Food and Farm 2020	seit 2017	30 Mio.
EU	SPARC	2014–2020	700 Mio.
EU	I4MS – ICT Innovation for Manufacturing SMEs	seit 2013	110 Mio.

Auf europäischer Ebene wurde das bisher größte Budget für Robotik-Projekte von der EU-Kommission bereitgestellt. Das umfangreichste Programm ist die Public-Private-Partnership SPARC. Mit einem Gesamtfördervolumen von 700 Mio. EUR und einem angestrebten zusätzlichen Industriebeitrag von 2,1 Mrd. EUR für den Zeitraum 2014 bis 2020 handelt es sich nach eigenen Angaben um das größte zivile Robotik-Programm der Welt.

SPARC setzt sich für eine Stärkung der europäischen Robotik-Industrie ein sowie für die Nutzung europäischer Roboter in Fabriken, an Land, in der Luft und unter Wasser, in der Agrarwirtschaft, im Gesundheitssektor und in vielen anderen Bereichen mit ökonomischem und sozialem Einfluss. Als öffentlich-private Partnerschaft zwischen EU-Kommission, europäischer Industrie und akademischer Welt soll SPARC Wachstum und Stärkung der Robotik-Industrie sowie der Wertschöpfungskette fördern, von der Forschung bis zur Fertigung.

Allein im Jahr 2017 wurden im Rahmen des EU-Forschungsprogramms Horizont 2020 17 Robotik-Projekte gestartet (siehe Tabelle 2). Die Projekte bedienen entweder direkt oder über ihre angestrebten Use Cases alle wichtigen Marktsegmente (siehe Kapitel 2.1). Besonders stark gefördert werden im professionellen Bereich die Segmente mit hohen Wachstumsprognosen Logistik und Gesundheit. Der Konsumentenbereich ist erwartungsgemäß deutlich unterrepräsentiert, da im Rahmen der Förderung in der Regel nur Gebiete von

Tabelle 2: In 2017 gestartete, unter Horizont 2020 geförderte Robotik-Projekte und ihre adressierten Anwendungsbereiche (eigene Darstellung, Daten aus www.cordis.europa.eu/)

	Feldrobotik	Logistik	Gesundheit	Haushalt	Unterhaltung	Andere	Partner aus D
An.Dy Advancing Anticipatory Behaviors in Dyadic Human-Robot Collaboration			■			Produktion	3
Badger: RoBot for Autonomous unDerGround trenchless opERations, mapping and navigation	■						1
Co4Robots: Achieving Complex Collaborative Missions via Decentralized Control and Coordination of Interacting Robots		■	■	■		Produktion	1
CYBERLEGs Plus Plus: The CYBERnetic LowEr-Limb CoGnitive Ortho-prosthesis Plus Plus			■				0
Dreams4Cars: Dream-like simulation abilities for automated cars		■					2
HEPHAESTUS: Highly automatEd PHysical Achievements and PerformancES using cable roboTs Unique Systems	■					Bauwesen	2
ILIAD: Intra-Logistics with Integrated Automatic Deployment: safe and scalable fleets in shared spaces		■					2
IMAGINE: Robots Understanding Their Actions by Imagining Their Effects						Recycling	3
MoveCare: Multiple-actOrs Virtual Empathic CARgiver for the Elder			■	■			0
MULTIDRONE: MULTIpLe DRONE platform for media production	■					Filmindustrie	1
REELER: Responsible Ethical Learning with Robotics						ELSI	1
REFILLS: Robotics Enabling Fully-Integrated Logistics Lines for Supermarkets		■					3
RobMoSys: Composable Models and Software for Robotics Systems		■	■	■	■	Produktion, Robotik-Plattformen	4
ROSIN: ROS-Industrial quality-assured robot software components		■				Produktion, Robotik-Plattformen	2
ROPOD: Ultra-flat, ultra-flexible, cost-effective robotic pods for handling legacy in logistics		■					3
SMARTsurg: SMart weAble Robotic Teleoperated Surgery			■				0
VERSATILE: Innovative robotic applications for highly reconfigurable production lines – VERSATILE						Produktion	0

hohem öffentlichen Interesse berücksichtigt werden können. An ca. 80 Prozent aller Projekte sind deutsche Partner beteiligt, mehrheitlich mit mehr als einem Partner.

Im Zentrum der Robotik-orientierten PAiCE-Projekte (siehe Projektpräsentationen in den folgenden Kapiteln 2.5–2.8) steht die Schaffung von Plattformen für Servicerobotik-Lösungen in den verschiedenen relevanten Anwendungsgebieten. Hintergrund dieser Bemühungen ist, dass für die Erschließung eines Massenmarktes vor allem Anschaffungskosten und der Integrationsaufwand deutlich gesenkt und (intelligente) Fähigkeiten stärker auf die Nachfrage durch die Nutzer ausgerichtet werden müssen.⁷ Insbesondere durch die vereinfachte Wiederverwendung von Softwarekomponenten können Kosteneinsparungen bei der Systemintegration realisiert werden, also in dem Bereich, der heute noch den größten Anteil an der Investition von Servicerobotik-Lösungen im professionellen Bereich ausmacht. Servicerobotik-Plattformen, die eine stärker arbeitsteilige Entwicklung von Servicerobotern ermöglichen, eröffnen das Potenzial, innovative Ideen auf Basis bereits bestehender und wiederverwendbarer Lösungen, verfügbarer Standardkomponenten und Dienstleistungsangebote schneller und kostengünstiger zu realisieren. In PAiCE werden diese Ansätze besonders stark von drei Projekten verfolgt (RoboPORT, ROBOTOP und SeRoNet). In dem Kontext sind zwei der oben erwähnten EU-Projekte besonders hervorzuheben: ROSIN und RobMoSys.

Das im Januar 2017 gestartete Projekt RobMoSys⁸ hat zum Ziel, durch die Verwendung modellgetriebener Methoden und Werkzeuge und deren Anwendung auf bereits existierende Technologien eine Integration der unterschiedlichen Robotik-Komponenten zu gewährleisten und bereits entwickelte Tools für den weiteren Einsatz zu verbessern. Dabei setzt das Konsortium unter anderem auf das von der Hochschule Ulm vorangetriebene Open-Source-Framework SmartSoft.⁹ Die Hälfte der insgesamt 8 Mio. EUR für die Förderung des RobMoSys-Projekts werden durch Open-Calls im Rahmen von Wettbewerben der Robotik-Community zur Verfügung gestellt, um das geplante Ökosystem mit konkreten Anwendungsbeispielen aus unterschiedlichen Domänen auszubauen.¹⁰

Das ebenfalls Anfang 2017 gestartete Projekt ROSIN¹¹ hat sich zum Ziel gesetzt, die Verfügbarkeit und Qualität von Softwarekomponenten für die Robotik zu verbessern. Dabei setzt das Projekt vor allem auf die Weiterentwicklung des bestehenden Robot Operating System ROS und dessen auf Fabrikautomation spezialisierten Ableger ROS-Industrial¹². Analog zum RobMoSys-Projekt werden auch in ROSIN mehr als 3 Mio. EUR (ca. 50 Prozent der Gesamtfördersumme) für sogenannte Focused Technical Projects der Robotik-Community bereitgestellt, um spezifische Servicerobotik-Applikationen auf Basis von ROS-Industrial zu entwickeln.¹³

Zentral für die Entstehung eines effizienten und leicht zugänglichen Servicerobotik-Angebots ist die Abstimmung zwischen den verschiedenen Initiativen auf standardisierte Bausteine. Dies betrifft insbesondere die maschineninterpretierbare Beschreibung von funktionalen und nichtfunktionalen Eigenschaften der Hardware- und Softwarekomponenten, die Interoperabilität der verschiedenen Komponenten und die Integration verschiedener Schnittstellen

7 BMWi: PAiCE – Digitale Technologien für die Wirtschaft. Platforms | Additive Manufacturing | Imaging | Communication | Engineering. Förderprogramm für digitale Innovationen in industriellen Wertschöpfungsprozessen, 2017.

8 www.robmosys.eu/ (zuletzt abgerufen am 20.12.2017).

9 www.servicerobotik-ulm.de/drupal/?q=node/19 (zuletzt abgerufen am 20.12.2017).

10 www.robmosys.eu/open-calls/ (zuletzt abgerufen am 20.12.2017).

11 www.rosin-project.eu/ (zuletzt abgerufen am 20.12.2017).

12 www.rosindustrial.org/ (zuletzt abgerufen am 20.12.2017).

13 www.rosin-project.eu/ftps (zuletzt abgerufen am 20.12.2017).

sowie Kommunikationsprotokolle. Nur die Standardisierung ermöglicht die Realisierung der effizienten Entwicklung neuer und die Wiederverwendung bestehender Bausteine. Im Rahmen von PAiCE stimmen sich die einzelnen Projekte dazu kontinuierlich ab. Einzelne Projektpartner aus den PAiCE-Projekten sind außerdem integraler Bestandteil der beiden oben erwähnten zentralen EU-Projekte RobMoSys und ROSIN.

2.5 Projekte des Clusters Robotik

Der Fortschritt der Förderprojekte BakeR, QBIK, RoboPORT, ROBOTOP und SeRoNet seit Beginn des Technologieprogramms PAiCE wird auf den folgenden Seiten dargestellt.

BakeR



Baukastensystem für kosteneffiziente, modulare Reinigungsroboter

Kurzsteckbrief

Übergeordnetes Ziel des Projekts BakeR ist die Entwicklung eines universell einsetzbaren Serviceroboters, der durch wiederverwendbare Software- und Hardwaremodule auf individuelle Arbeitsgänge angepasst werden kann. Im Rahmen des Projekts soll dafür exemplarisch eine mobile Roboterplattform entwickelt werden, die mit verschiedenen Modulen zur automatisierten Reinigung ausgestattet wird. Der daraus entstehende Prototyp eines Roboters, der die benötigten Module je nach Ort und Putzvorgang auswählen und aufnehmen kann, soll in der Büroreinigung getestet werden.

www.baker-projekt.de

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Gemeinsam mit Experten der Reinigungsbranche wurde das geplante Einsatzszenario des mobilen Reinigungsroboters im Detail ausgearbeitet. Das Szenario sieht folgenden Ablauf vor: Das Reinigungspersonal startet den Roboter am Abend und kümmert sich selbst nur um die Arbeitsgänge, die der Roboter nicht ausführen kann (beispielsweise die Reinigung der Büromöbeloberflächen, Fensterbänke etc.). Der Roboter arbeitet über Nacht und übernimmt dabei die Bodenreinigung (Staubsaugen in Büros anhand der erkannten Verschmutzungen, Nassreinigung in Fluren etc. vollflächig) sowie die Entleerung von Papierkörben in entsprechende Sammelbehälter. Das Personal muss am Morgen nur noch die Sammelbehälter, den Staubsaugerbeutel und Abwasserbehälter des Roboters entleeren sowie Reinigungsflüssigkeit nachfüllen.

Das Hardwarekonzept wurde von Beginn an auf einen möglichst modularen Aufbau ausgerichtet. Es wurde ein erstes integriertes Gesamtkonzept des Roboters entwickelt (siehe Abbildung 7). Um die einzelnen Komponenten des Reinigungsroboters möglichst früh im Praxiseinsatz testen zu können, wurde bereits Anfang 2017 eine erste einfache Testplattform eines mobilen Roboters aufgebaut. Die Integration des Nassreinigungssystems i-Mop der Firma Kenter in die mobile Plattform ermöglichte erste Tests der Reinigungsleistung. Daraufhin wurde die Position und Ansteuerung der Reinigungsbürsten überarbeitet. Außerdem wurde deren Anpressdruck erhöht. Es hat sich gezeigt, dass sich die konzipierte Steckverbindung zur Energie- und Datenübertragung zwischen den Modulen bewährt.

Anschließend wurde eine überarbeitete Version des integrierten Nassreinigungsroboters aufgebaut, die nach weiteren Optimierungen im Frühjahr 2018 für erste Praxistests eingesetzt wird. Dieses Modell beinhaltet bereits die Möglichkeit, das aktuell verbaute Nassreinigungsmodul gegen ein anderes, etwa für die Trockenreinigung geeignetes Modul zu tauschen. Das Modul für die Trockenreinigung basiert auf einem handelsüblichen Akku-Staubsauger, der eigentlich auf dem Rücken getragen wird und hier für die Integration in den Roboter angepasst wurde. Zusätzlich wurde eine Aktorik entwickelt, die es ermöglicht, den Bürstenkopf des Saugers vor und zurück zu schwenken, wodurch auch schwer zugängliche Bereiche wie Bodenflächen unter Tischen gut erreichbar werden. Ein weiteres Schlüsselement der modularen Roboterhardware ist der Roboterarm, der vorerst als separates System aufgebaut wurde. Er soll für das Öffnen von Türen, das Verrücken von Hindernissen wie Stühlen und das Entleeren von Papierkörben eingesetzt werden. Die ausgewählte Aktorik beinhaltet eine Linearachse und einen Gelenkarm mit vier Freiheitsgraden sowie einen speziell für das ausgewählte Anwendungsfeld entwickelten Greifer.

Die eigens entwickelte Steuerungssoftware ermöglicht die Segmentierung von Grundrissen in einzelne Räume. Dies ist Voraussetzung für die Berechnung der optimalen Reinigungsreihenfolge sowie zur Generierung von systematischen Fahrmustern für die Inspektion oder flächige Reinigung einzelner Räume. Etablierte Navigationsverfahren wurden an die neue Roboterhardware sowie an die vorgesehenen Bewegungsmuster angepasst. Als Grundlage für die ersten Praxistests wurde eine einfache Zustandsmaschine für die Nassreinigung umgesetzt. Bei der Softwareentwicklung steht ebenso wie bei der Hardware eine modulare Gesamtstruktur im Vordergrund. Die verschiedenen Softwarekomponenten, etwa zur Navigation, Schmutzerkennung oder Objektmanipulation, sowie deren Zusammenspiel und Schnittstellen werden unter Berücksichtigung von durchgängiger Plug-and-Play-Funktionalität entwickelt.



Abbildung 7: Illustration des BakeR-Reinigungsroboters (Quelle: BakeR)

Konsortium

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (Konsortialführer), Dussmann Service Deutschland GmbH, KENTER Bodenreinigungsmaschinen Vertriebs- und Service GmbH, MetraLabs GmbH Neue Technologien und Systeme, AMTEC Robotics Consult (Unterauftragnehmer)

Ansprechpartner

Birgit Graf, Fraunhofer IPA
birgit.graf@ipa.fraunhofer.de

QBIIK



Autonomer, lernender Logistikroboter mit Greifsystem und Mensch-Maschine-Schnittstelle

Kurzsteckbrief

Im Projekt QBIIK werden die Vorteile der autonomen Technologien mit den Fähigkeiten des Menschen kombiniert. Ziel ist die Entwicklung eines lernfähigen autonomen Kommissionierungssystems. Dabei handelt es sich um ein dezentral gesteuertes Fahrzeug mit Greifroboter. Das Fahrzeug orientiert sich selbst im Raum, navigiert autonom zum Ziel und greift nach der benötigten Ware. Über eine Mensch-Maschine-Schnittstelle besteht die Möglichkeit, ferngesteuerte Unterstützung vom Menschen per Virtual-Reality-Benutzerschnittstelle anzufordern.

www.qbiik.de

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Im Förderprojekt QBIIK wurde 2017 die Konstruktion des Gesamtdemonstrators durchgeführt. Als Ergebnis kann ein Fahrzeug präsentiert werden, das grundsätzlich fähig ist, autonom zu agieren und dabei mobile Regale zum Transport nutzen kann. Die sogenannten Fächerwagen kommen beispielsweise in Logistikzentren des Konsortialpartners Audi zum Einsatz. Als praktischer Anwendungsfall dient die Versorgung eines Supermarkts. Das Fahrzeug kann die Wagen selbstständig an den gewünschten Ort im Supermarkt bringen. Dort angekommen, können mit dem Robotergreifer Kleinladungsträger aus dem Fächerwagen entnommen und mithilfe des Drehtisches im Durchlaufregal abgelegt werden. Die Konstruktionsphase wurde von der Bär Automation GmbH ausgeführt und befasste sich bislang mit den Baugruppen der Roboterkonsole, Drehtisch, Laserscanner, Batteriemodul, Kopplung und Robotergreifer. Der Konstruktionsentwurf des Demonstrators ist als Rendering in nebenstehender Abbildung dargestellt.

Um den gesamten Demonstrator sicher betreiben zu können, hat die Still GmbH im Rahmen des Forschungsprojektes eine Risikoanalyse durchgeführt. Dabei wurden 116 Gefahren erkannt und entsprechende Maßnahmen zur Vermeidung definiert und dokumentiert. Zum Beispiel werden Kollisionen des vergleichsweise schnell fahrenden Fahrzeugs, aber auch des Roboters, mit Mitarbeitern oder Gegenständen durch einen virtuellen „Schutzzaun“ verhindert. Die Sensoren am Demonstrator erfassen die Umgebung und können so den Sicherheitspuffer bestimmen.

Am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wurde die Integration der Sensoren in den Greifer geplant. Dabei handelt es sich hauptsächlich um eine Stereokamera sowie taktile Näherungssensoren mit kapazitivem Wirkprinzip. Die Näherungssensoren können Position und Abstand von Objekten in der Nähe erkennen und sogar Berührungen orts aufgelöst an die Steuerung melden. Des Weiteren wurden Objekterkennung, Steuerungsschnittstellen sowie die Kontrolle per Fernsteuerung des Roboters über Virtuelle Realität bereits am realen Roboter erprobt.

Die Fernsteuerung des Roboters soll auch in einen verkleinerten Demonstrator integriert werden, welcher mit einem Panda-Roboter des Herstellers Franka Emika aufgebaut wird. Der Demonstrator wird die Steuerung des Roboters mit einer Fernbedienung, das visuelle Feedback über das Stereokamerasystem sowie das haptische Feedback über die taktilen Näherungssensoren illustrieren. Er soll sowohl auf der automatica (19.06.2018–22.06.2018) als auch auf dem Innovationstag des KIT (27.06.2018) ausgestellt werden.



Illustration des QBIK-Roboters mit Fächerwagen (Quelle: QBIK)

Konsortium

Bär Automation GmbH (Konsortialführer), quattro GmbH,
Karlsruher Institut für Technologie, Still GmbH

Ansprechpartner

Jonathan Dziedzitz, Karlsruher Institut für Technologie
jonathan.dziedzitz@kit.edu

RoboPORT

Crowd-Engineering in der Robotik: Webplattform für Ideen- und Prototypenentwicklung



Kurzsteckbrief

Im Projekt RoboPORT wird eine Plattform entwickelt, auf der verschiedene Akteure gemeinsam Komponenten für Servicerobotik-Anwendungen entwickeln und realisieren. Der in der Softwareentwicklung bereits weit verbreitete Community-Ansatz hat das Potenzial, auch die Entwicklung von Robotik-Hardware zu reformieren. Auf der Plattform werden zahlreiche kollaborative Entwicklerwerkzeuge, eine Bibliothek für Open-Source-Robotik sowie Wissens- und Projektmanagement-Tools bereitgestellt.

www.roboport.eu

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Im Rahmen des RoboPORT-Projekts wurde bereits eine projektinterne Open-Innovation-Software eingerichtet, die dafür eingesetzt wird, mit potenziellen Anwendern die Anforderungen an die zukünftige Entwicklungsplattform zu diskutieren. Parallel werden Prozesse und Workflows existierender Open-Innovation-Plattformen analysiert und hinsichtlich ihrer Eignung zur Unterstützung des verteilten Entwicklungsprozesses untersucht.

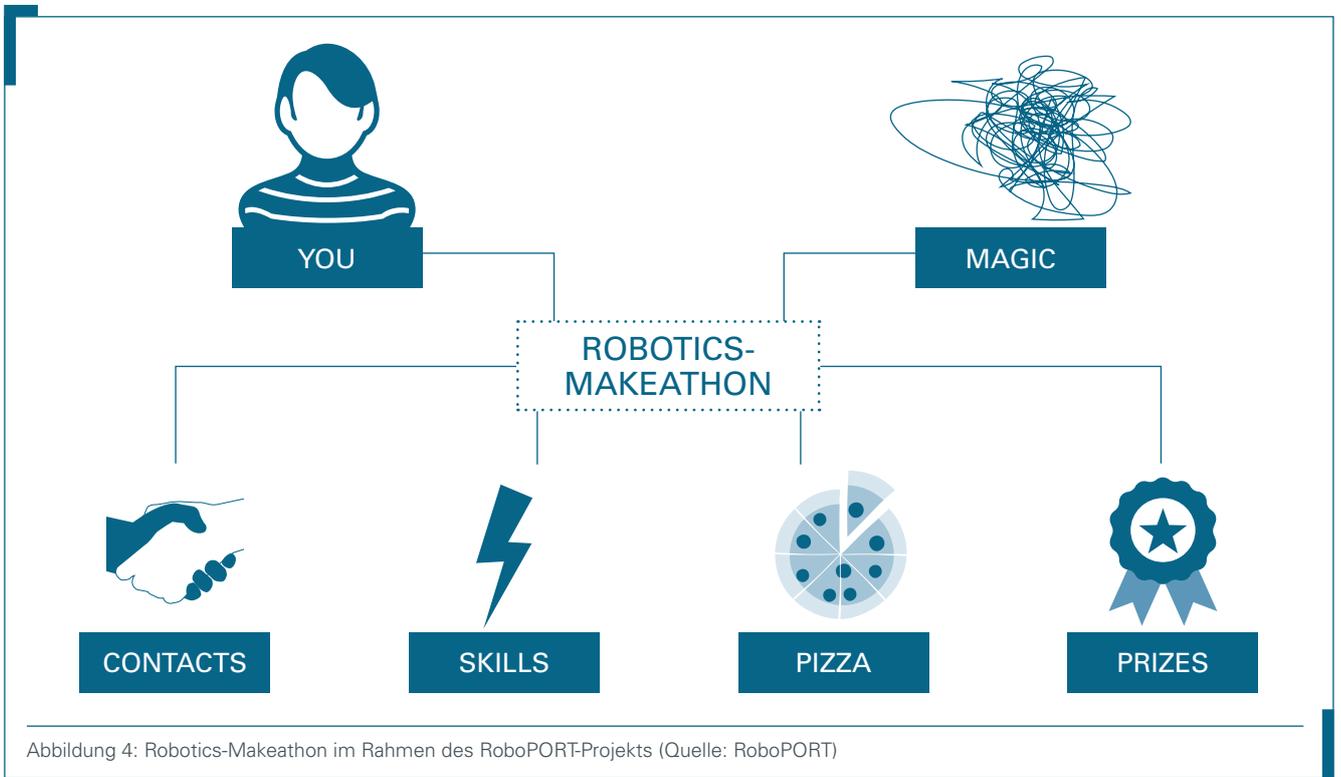
Der Schwerpunkt der derzeitigen Aktivitäten liegt auf der Ausarbeitung konkreter Konzepte für wesentliche Plattformfunktionalitäten: Mit welchen Tools können welche Entwicklungsschritte und Workflows abgebildet werden, um einen durchgängigen und verteilten Entwicklungsprozess zu ermöglichen? Dafür werden frühzeitig Mock-ups der Plattform erstellt und potenzielle Anwender als Early Adopters von Anfang an in die Konzeption und Umsetzung der Plattform mit eingebunden.

Mehrere Pilot-Use-Cases für RoboPORT werden zurzeit näher definiert und deren Anforderungen an agile und verteilte Entwicklungsprozesse in einer Community für Serviceroboter analysiert. Die Pilot-Use-Cases für RoboPORT umfassen dabei unterschiedliche Bereiche der Servicerobotik: von der Haushalts-Servicerobotik (Mykie von BSH) über mobile Plattformen (Rob@Work3 vom Fraunhofer IPA) bis hin zu humanoiden Robotersystemen (Roboy der TU München).

Die RoboPORT-Plattform soll der Anlaufpunkt für neue Robotik-Entwicklungen in der Servicerobotik werden und viele bisher unabhängige Stakeholder und Anwender zu einer Community vernetzen. Daher hat das Konsortium frühzeitig mit dem Aufbau einer Community begonnen und unterstützend dazu zwei jährlich stattfindende Veranstaltungsformate geschaffen, die 2018 bereits in die zweite Runde gehen. Unter dem Motto „Co-Creation, Crowd-Engineering und verteilte Entwicklung für Unternehmen“ wurden dabei in ersten Gesprächen mit Unternehmen folgende Herausforderungen und Chancen diskutiert, die insbesondere für kleinere Unternehmen interessant sind: Wie lassen sich externe Ressourcen

in die eigene Produktentwicklung integrieren und wie lassen sich offene Entwicklungsprozesse sowohl koordinieren als auch sinnvoll nutzen? RoboPORT bietet hier mit der Plattform im Bereich Servicerobotik bereits Lösungen in der Entwicklung und berät die Unternehmen auch vor Ort.

Am 28. und 29.11.2018 findet im Rahmen der Morgenstadt-Werkstatt der Smart-City-Robotics-Makeathon statt. Alle Roboterenthusiasten und -entwickler sind dazu eingeladen, gemeinsam nach Open-Innovation-Methoden innovative Robotik-Anwendungen zu entwerfen und mit 3D-Druckverfahren prototypisch herzustellen (siehe Abbildung 4).



Konsortium

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (Konsortialführung), BSH Hausgeräte GmbH, General Interfaces GmbH, innosabi GmbH, Universität Stuttgart

Ansprechpartner

Maik Siewe, Fraunhofer IPA
 maik.siewe@ipa.fraunhofer.de

ROBOTOP

Offene Plattform für Roboter-Anwendungen in Industrie und Service



Kurzsteckbrief

Im Projekt ROBOTOP wird eine offene Plattform entwickelt, um den Massenmarkt für Roboter in Service-, Logistik- und Fertigungsanwendungen zu erschließen. Auf der Plattform lassen sich intelligent standardisierte und wiederverwendbare Hardware- und Peripherie-Komponenten zu individuellen Servicerobotik-Lösungen kombinieren. Vor der eigentlichen Installation können die Lösungen durch 3D-Simulationen auf ihre Passfähigkeit untersucht werden. So können die notwendigen Aufwände für Angebots- und Engineering-Entwicklungen sowie die Kosten für die Planung und Gestaltung von industriellen Robotik-Lösungen deutlich reduziert werden.

www.robotop-konfigurator.de

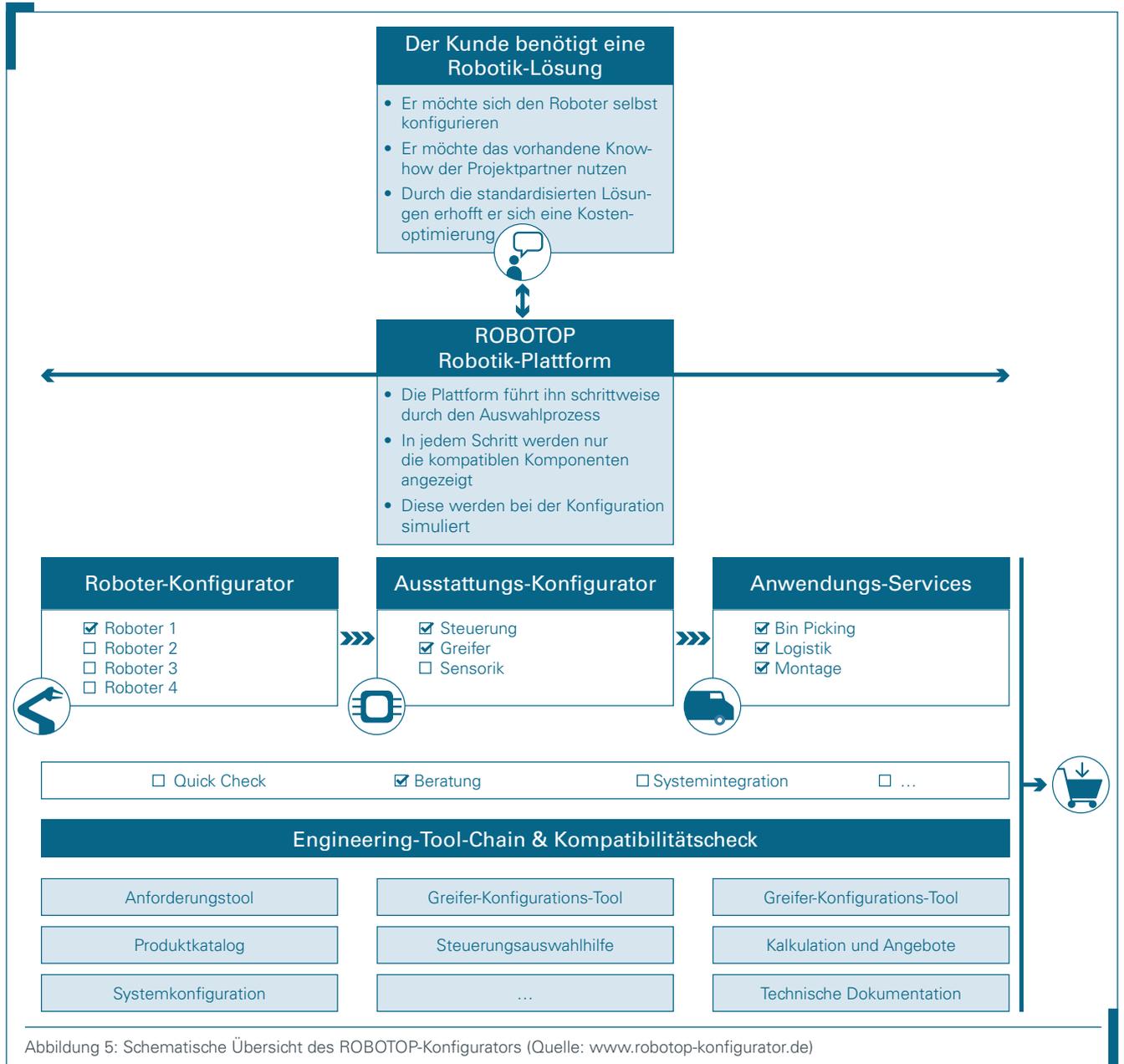
Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Im Rahmen des Projekts ROBOTOP werden flexible Roboterlösungen basierend auf einem modularen Konzept mit Baukastensystem entwickelt und im realen Fertigungsbetrieb umgesetzt. In einem ersten Schritt wurde eine Klassifizierung von Teilprozessen durchgeführt und ein Tool zur standardisierten Aufnahme von Use Cases und den verbundenen Anforderungen umgesetzt. Des Weiteren befindet sich derzeit eine funktionsorientierte Untergliederung der Teilprozesse mit Verknüpfung zu Lösungen aus dem aktuellen Fertigungsumfeld (Best Practice) in der Ausarbeitung. Kernziel ist dabei die Entwicklung einer datenbankbasierten funktionsorientierten Architektur für einen Robotik-Baukasten mit Fokus auf eine flexible Integration von Robotik-Applikationen mit minimalem Engineering-Aufwand.

Für die Auslegung von Automatisierungslösungen wurden mehrere reale Prozesse systematisch analysiert. Hieraus konnte bereits ein erstes Set an relevanten Informationen (z. B. notwendiger Arbeitsraum für die genutzten Anlagen, realisierbare Taktzeit, notwendige Zwischenoperationen) abgeleitet werden, die später eine einheitliche Beschreibung der Lösungen zulassen. Zudem entstand ein Entwurf für eine systematische Abarbeitung der einzelnen Arbeitsschritte und für die Generierung von Automatisierungslösungen. Komplementär hierzu wird ein strukturierter Fragenkatalog erarbeitet, mit dem sich die Automatisierbarkeit von manuell geprägten Fertigungsumgebungen aufwandsgerecht ermitteln lässt. Für die zukünftige Auswertung dieses Fragebogens wurden bereits erste industriell umgesetzte Best Practices erhoben, bei denen Mitarbeiter mit Leichtbaurobotern interagieren.

Elementar für den Erfolg der Plattform ist die Bereitstellung eines nutzerfreundlichen Konfigurators (siehe Abbildung 5). Eine umfangreiche Systemarchitektur ermöglicht dabei die Bewältigung der interdisziplinären Komplexität, hilft bei der Strukturierung der Prozesse, schafft Transparenz und ermöglicht die Entkopplung verschiedener Systemaspekte. Die Integration der einzelnen Komponenten gewährleistet ein Microservice zur Erstellung und Bearbeitung von virtuellen Komponenten. Mit diesem sollen erste Komponenten (Smart Components) erstellt und der Austausch mit anderen Services der Plattform getestet werden. Im Bereich der Online-Simulation OsIRIS wurden erste Technologien für die Bereitstellung der Simulation im Netz identifiziert. Ein erster Schritt war die Portierung der Java-Bibliothek Cactos zu C# sowie die Bereitstellung als Open-Source-Projekt.¹⁴

¹⁴ www.github.com/icarus-consulting/Yaapii.Atoms (zuletzt abgerufen am 20.12.2017).



Konsortium

ICARUS Consulting GmbH (Konsortialführer), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Infosim GmbH & Co. KG, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Robert Bosch GmbH, Ruhr-Universität Bochum – Lehrstuhl für Produktionssysteme, SCHUNK GmbH & Co. KG, TU Dortmund – Institut für Produktionssysteme

Ansprechpartner

Jan-Peter Schulz, ICARUS Consulting GmbH
 jan-peter.schulz@icarus-consult.de

SeRoNet

Plattform zur Entwicklung von Serviceroboter-Lösungen



Kurzsteckbrief

Im Projekt SeRoNet wird eine offene IT-Plattform für Anwender, Systemdienstleister, Robotik- und Komponentenhersteller im Bereich der Servicerobotik entwickelt. Auf der Plattform entwickeln Soft- und Hardwarehersteller, Dienstleister und Kunden gemäß ihren individuellen Anforderungen arbeitsteilig Lösungen für Serviceroboterarbeiten. Ziel ist eine deutliche Senkung des Software-Entwicklungsaufwands in der professionellen Servicerobotik durch einen modularen, kollaborativen und kompositionsorientierten Entwicklungsansatz, bei dem Lösungen aus vorgefertigten Bausteinen zusammengesetzt werden. Systemintegratoren können sich durch schnellere Entwicklungszyklen neue Märkte erschließen, vor allem im Bereich kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU). Gleichzeitig können Endanwender über die Plattform anderen Unternehmen ihre eigenen Softwaredienste anbieten. Technische Grundlage für die Zusammensetzbarkeit von Systemen bildet OPC-UA (Open Platform Communications Unified Architecture) mit modellgetriebenen Werkzeugen (siehe Abbildung 6).

www.seronet-project.de

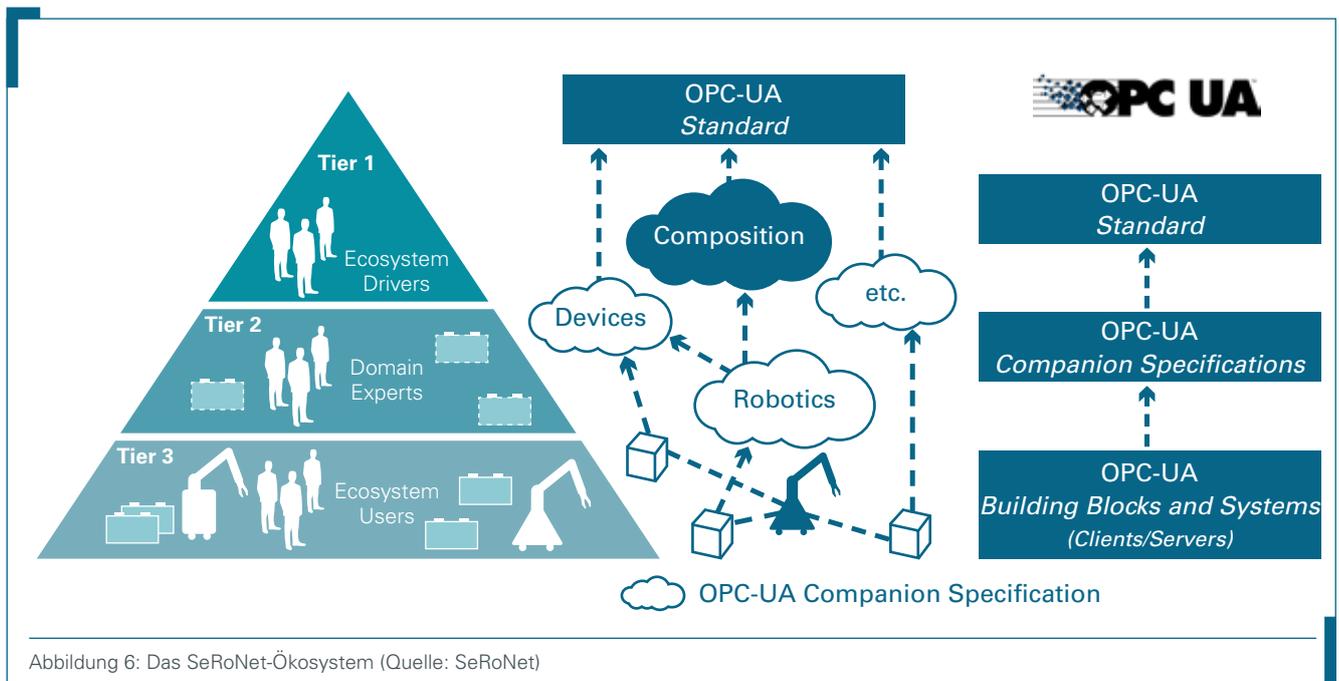
Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Zu Beginn des SeRoNet-Projekts wurden verschiedene Pilotdemonstratoren näher definiert und ihre Anforderungen an eine modulare, modellgetriebene Softwareentwicklung für Serviceroboter-Lösungen analysiert. SeRoNet umfasst unterschiedliche Bereiche der professionellen Servicerobotik von der Intralogistik bei einem Pharmazulieferer über Servicedienste für das Personal im Krankenhausalltag bis hin zur Unterstützung von Montageaufgaben in der Automobilindustrie. Parallel wurden existierende Softwareframeworks für die Robotik hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen als Basis einer offenen, modularen und modellgetriebenen Softwareentwicklung in der Servicerobotik untersucht. Die Ergebnisse sind auf der Projekthomepage (www.seronet-project.de) verfügbar.

Ein wesentlicher Baustein in SeRoNet ist eine modellgetriebene Entwicklungsumgebung („toolchain“) für die modulare Entwicklung von Roboter-Lösungen (siehe Abbildung 6). Ziel ist ein herstellerübergreifendes Austauschformat für Softwarekomponenten. Damit wird sowohl ein reibungsloses Zusammenspiel der Komponenten während des Betriebs des Serviceroboters als auch die systematische werkzeugunterstützte Auswahl geeigneter und zueinander passender Komponenten für eine gegebene Aufgabe unterstützt. Gegenwärtig werden verschiedene Ansätze zur Erfassung und maschinellen Repräsentation der notwendigen Metadaten für Software-(und ggf. Hardware-)Komponenten untersucht. Dies soll Ende 2018/Anfang 2019 in eine Online-Plattform für die Entwicklung und den Vertrieb von Softwarekomponenten für Servicerobotik mit standardisierten Beschreibungen münden. Parallel entsteht derzeit eine erste Implementierung der OPC-UA-basierten Laufzeit- und Kommunikationsinfrastruktur in SeRoNet. Die Einstiegshürde für Komponentenhersteller und Systemintegratoren, an der SeRoNet-Plattform (sowohl als standardisierte Laufzeit- und Entwicklungsumgebung als auch als Marktplatz) teilzunehmen, soll bewusst niedrig gehalten werden. Dies wird durch die konsequente Nutzung von etablierten Standards und Formaten wie OPC-UA und AutomationML befördert. Gleichzeitig werden durch offene

Standards erweiterte und systematisierte Komponentenbeschreibungen für eine toolunterstützte Auswahl aus einem Komponentenmarkt, ihre Komposition zu Systemen und ihre anwendungsspezifische Konfiguration möglich.

Eine Plattform lebt von ihren Teilnehmern. Daher wird das SeRoNet-Projekt ab Herbst 2018 in mehreren Open-Calls Komponentenhersteller und Systemintegratoren einladen, sich und ihre Produkte und Dienstleistungen auf der im Spätsommer 2018 online gehenden SeRoNet-Marktplattform zu präsentieren. Aufwendungen zur Anpassung von Komponenten an die SeRoNet-Laufzeitumgebung sowie Aufwände für Pilotprojekte bei Integratoren und Endanwendern werden dabei durch das SeRoNet-Projekt finanziell und technisch in einem Gesamtvolumen von etwa einer Mio. EUR unterstützt.



Konsortium

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (Konsortialführung), Daimler TSS GmbH, FZI Forschungszentrum Informatik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hochschule Ulm, Klinikum Mannheim Dienstleistungsgesellschaft mbH, KUKA Roboter GmbH, MLR System GmbH für Materialfluss- und Logistiksysteme, Ruhrbotics GmbH, Transpharm Logistik GmbH, Universität Paderborn, Universität Stuttgart

Ansprechpartner

Dr. Björn Kahl, Fraunhofer IPA
 sekretariat@seronet-project.de

3 Cluster 3D

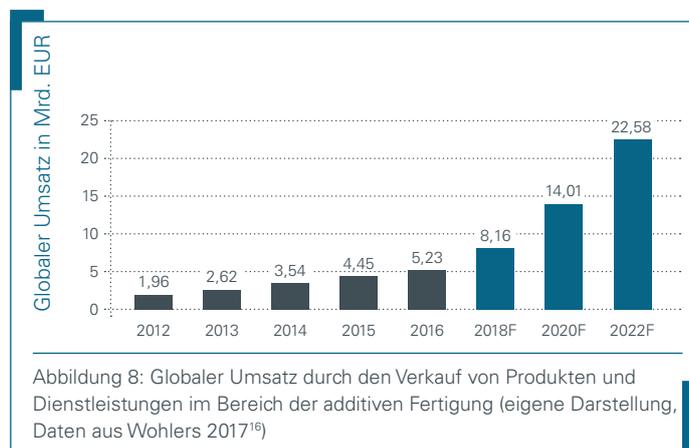
Additive Fertigung in der Produktion

Die additive Fertigung, im weiteren Verlauf als 3D-Druck bezeichnet, hat in den vergangenen Jahren eine dynamische Entwicklung durchlaufen und erfährt eine große Popularität. Der Reifegrad der Technologie ist in unterschiedlichen Anwendungsbereichen weit fortgeschritten, weswegen 3D-Druck in immer mehr Branchen eingesetzt wird.¹⁵ Der 3D-Druck steht für mehr Flexibilität in der Produktion, weil die Technologie eine wirtschaftliche Herstellung kleiner Losgrößen, eine schnellere Time-to-Market-Abwicklung in der Produktentwicklung und die Individualisierung von Produkten, etwa Implantaten, ermöglicht. Zudem können mittels 3D-Druck komplexe Strukturen mit funktionellem Mehrwert gefertigt werden, die mit subtraktiven oder formativen Verfahren nicht oder nur sehr kostenintensiv hergestellt werden können. Innerhalb des Technologieprogramms PAiCE sind vier Projekte dem Cluster 3D zugeordnet, von denen sich drei Projekte (Add2Log, DigiKAM, SAMPL) der Entwicklung von Plattformlösungen zur Vernetzung der partizipierenden Akteure in 3D-Druck-Wertschöpfungsnetzwerken widmen. Die drei Projekte sehen jeweils unabhängige und durchgängige Plattformlösungen vor, um die Geschäftsprozesse zwischen Druckauftraggebern, Druckdienstleistern und weiteren Akteuren zu koordinieren. Die Projekte setzen dabei jedoch sehr individuelle Schwerpunkte, unter anderem hinsichtlich der Sicherheitslösung (SAMPL), den besonderen Anforderungen von kleinen und mittleren Unternehmen (DigiKAM) und der Einbindung eines agilen Logistiksystems (Add2Log). Das vierte Projekt widmet sich der mobilen dreidimensionalen Datenerfassung für den 3D-Druck von Ersatzteilen und für die Bauteilidentifikation (M3D).

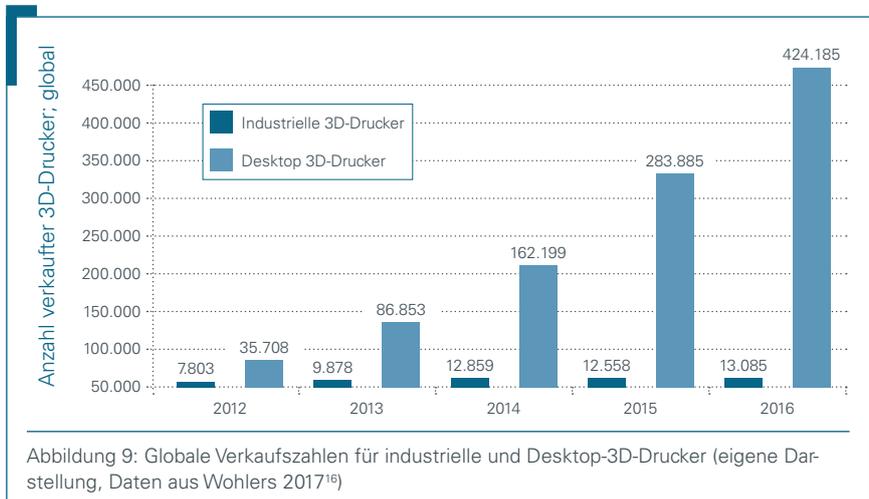
3.1 Marktanalyse

Die schnelle Entwicklung im Bereich 3D-Druck führt zu einem stark wachsenden Markt von Gütern und Dienstleistungen und bringt eine Vielzahl neuer Anbieter (Maschinen und Dienstleistungen) und Anwender mit sich. Der globale Umsatz im Jahr 2016 betrug 5,2 Mrd. EUR und hat sich damit innerhalb eines Vierjahreszeitraums gegenüber 2012 beinahe verdreifacht. Auf den mit Produkten generierten Umsatz – dazu gehören etwa Maschinen, System-Upgrades, Materialien, Software, Laser etc. – entfielen 2,3 Mrd. EUR, von denen 1,5 Mrd. EUR allein auf den Verkauf von 3D-Druckern und deren System-Upgrades zurückgingen. Den größeren Anteil von 2,9 Mrd. EUR setzten 2016 jedoch die 3D-Druck-Dienstleister durch Druckdienstleistungen, Beratungen, Seminare, Ausbildungsangebote und Auftragsforschung etc. um. Bei der Betrachtung des Marktanteils (MA) einzelner Unternehmen stechen einige wenige, den Markt dominierende Akteure besonders hervor: Unter den Herstellern von 3D-Druckern sind das Stratasys Ltd (MA 29 Prozent; 2015), 3D Systems Corporation (MA 28 Prozent; 2015) und die EOS GmbH Electro Optical Systems (MA 12 Prozent; 2015); bei den 3D-Druckdienstleistern Materialise NV (MA 55 Prozent; 2015), Proto Labs Inc. (MA 13 Prozent; 2015) und Citim GmbH (MA 5 Prozent; 2015).

Die globalen jährlichen Verkaufszahlen von industriellen 3D-Druckern und Desktop-3D-Druckern sind seit 2012 stark gestiegen (siehe Abbildung 8). Zwischen 2012 und 2016 haben insbesondere Desktop-3D-Drucker einen rasant steigenden Absatz erfahren (siehe Abbildung 9). Im selben Zeitraum, in dem sich die Anzahl der verkauften industriellen 3D-Drucker beinahe verdoppelte, hat sich

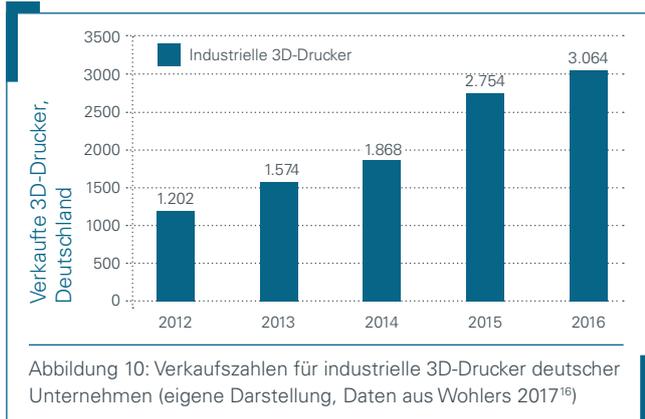


¹⁵ Stephan Richter und Steffen Wischmann: Additive Fertigungsmethoden. Entwicklungsstand, Marktperspektiven für den industriellen Einsatz und IKT-spezifische Herausforderungen bei Forschung und Entwicklung, 2016.



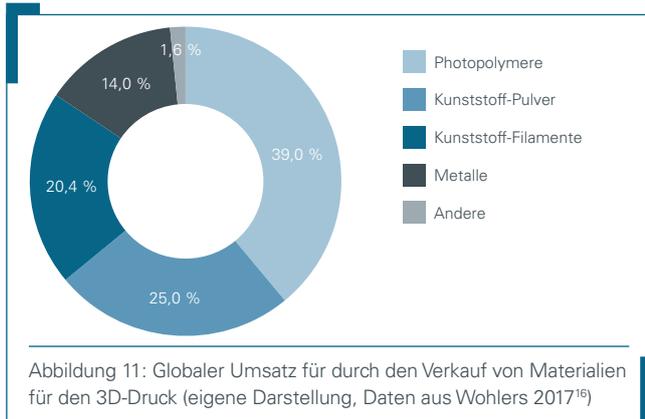
die der Desktop-3D-Drucker mehr als verdreifacht.¹⁶

Deutschland liegt dabei mit einem beinahe verdreifachten Absatz industrieller 3D-Drucker¹⁷ über dem globalen Durchschnitt (siehe Abbildung 10). Dies ist zum Teil auf die besondere Rolle deutscher 3D-Druck-Maschinenhersteller und deutscher Unternehmen als frühe Anwender von 3D-Druck-technologien zurückzuführen. Wie der „Global 3D printing report“ von Ernst & Young¹⁸ zeigt, sind deutsche Unternehmen aktuell führend in der



Anwendungserfahrung, vor China und Südkorea, den USA, Großbritannien und anderen EU-Staaten. Dies spiegelt sich auch am deutschen Anteil des globalen Umsatzes wider, der 2016 ca. ein Zehntel ausmachte.¹⁹

An der Verteilung der globalen Umsätze von Materialien für den 3D-Druck (siehe Abbildung 11) lässt sich ablesen, welches die am weitesten verbreiteten 3D-Druckverfahren sind:



- Bei der Photopolymerisation werden flüssige, lichtaushärtende Kunststoffe (Photopolymere) in der Regel durch UV-Strahlung punkt- oder schichtweise auf einer Bauplattform vernetzt, sodass sich das Polymer verfestigt. Als UV-Quelle dienen meist Laser. Ein weitverbreitetes Verfahren, das dieses Prinzip nutzt, ist beispielsweise die Stereolithografie.
- Bei den pulverbasierten Verfahren wird eine dünne Schicht Pulver, in der Regel Metall- oder Kunststoff-Pulver, auf eine Arbeitsfläche aufgetragen und mittels Laser in eine definierte Kontur geschmolzen, die sich nach dem Erstarren verfestigt. Daraufhin wird eine neue Schicht Pulver aufgetragen und der Prozess wiederholt. Weitverbreitete Beispiele für diese Verfahren sind das Selektive Lasersintern und das Selektive Laserschmelzen.
- Bei den extrusionsbasierten Verfahren werden thermoplastische Kunststoffe bzw. Kunststoff-Filamente durch

eine beheizte Düse verformbar gemacht und geometrisch definiert abgelegt. Ein weitverbreitetes Beispiel für ein solches Verfahren ist die Schmelzschichtung, die vor allem unter dem Begriff „Fused Deposition Modeling“ bekannt ist.

¹⁶ Terry Wohlers: Wohlers Report 2017: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, Annual Worldwide Progress Report, 2017.

¹⁷ Andreas Müller und Stefana Karevska: How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain? EY's Global 3D printing Report 2016, 2016.

¹⁸ ebd.

¹⁹ ebd.

Die höchsten Umsätze wurden im Jahr 2016 im globalen Vergleich durch den Verkauf von Photopolymeren (39,0 Prozent) erzielt, gefolgt von Kunststoff-Pulver (25,0 Prozent), Kunststoff-Filamenten (20,4 Prozent) und Metall (14,0 Prozent) (siehe Abbildung 11). Weiterführende Informationen bezüglich der unterschiedlichen 3D-Druckverfahren können der Fachliteratur entnommen werden²⁰.

3.2 Start-up-Umfeld

Die 3D-Druck-Branche, die industrielle Produktionsverfahren und -wege von Grund auf revolutionieren könnte, ist noch sehr jung. Offene technologische Fragestellungen und die Existenz unerschlossener Nischenmärkte bilden einen fruchtbaren Nährboden für die Entstehung von Start-ups, die von industriellen Investoren und Finanzinvestoren in der Regel aufmerksam beobachtet und gegebenenfalls durch entsprechende Investitionen unterstützt werden.

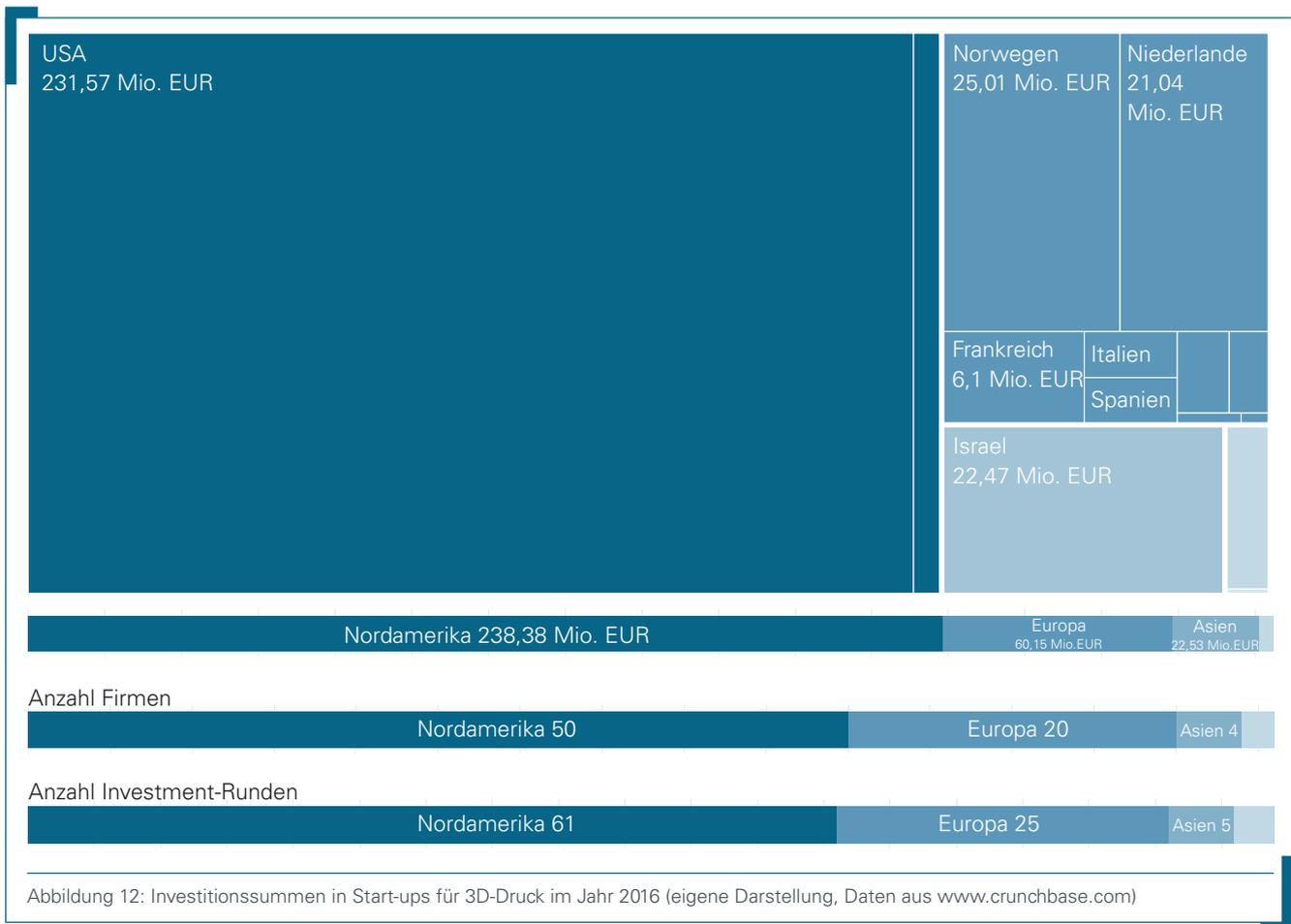


Abbildung 12: Investitionssummen in Start-ups für 3D-Druck im Jahr 2016 (eigene Darstellung, Daten aus www.crunchbase.com)

Zur Analyse der weltweiten Investitionen in Start-ups und diesbezüglicher regionaler Unterschiede wurden Investitionen und Risikokapitalbeteiligungen aus vergangenen Geschäftsjahren zusammengestellt.²¹ Eine Visualisierung des Ergebnisses für das Jahr 2016 findet sich in

²⁰ Andreas Gebhardt: Generative Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping, Tooling, Produktion, 2013.

²¹ Für diese Analyse wurde die Datenbank www.crunchbase.com unter Berücksichtigung aller Einträge verwendet, die der Kategorie „additive manufacturing“ und „3d printing“ zugeordnet sind.

Abbildung 12. Bei etwa 75 Prozent der Investitionen und Risikokapitalbeteiligungen aus dem Jahr 2016 (in Abbildung 12 als Investment-Runden bezeichnet) sind die zugehörigen Investitionssummen bekannt. Deutlich ist dabei der große Anteil US-amerikanischer Start-ups, die im Jahr 2016 71,3 Prozent der global getätigten Investitionen auf sich vereinten.

Besonders umfangreich von Investitionen profitierten 2016 US-amerikanische Start-ups, die auf dem Wege der strategischen Partnerschaften das Portfolio von industriellen Akteuren erweiterten. So investierten etwa unter anderem BMW, General Electric und Nikon 69,9 Mio. EUR in das kalifornische Start-up Carbon3D Inc., das 2016 den ersten 3D-Drucker mit einem neuen Druckverfahren auf den Markt brachte. Dieses hat Ähnlichkeiten mit der Stereolithografie, kann aber eine besonders hohe Druckgeschwindigkeit erreichen. Ein Konsortium um Stratasys Ltd investierte 2016 in beträchtlichem Umfang (29,1 Mio. EUR) in das Start-up Desktop Metal Inc., das 3D-Drucker für die Fertigung von Metallbauteilen herstellt. Das israelische Start-up XJet Ltd, das sich ebenfalls dem 3D-Metalldruck widmet, erhielt 2016 Investitionen (21,6 Mio. EUR) von einer israelisch-chinesischen Private-Equity-Gesellschaft und vom amerikanischen Softwarehersteller Autodesk. Im Falle europäischer Unternehmen stammten höhere Investitionssummen (über 7 Mio. EUR) 2016 laut Crunchbase-Analyse mehrheitlich von Investoren aus dem Finanzsektor. So wurde Norsk Titanium AS (Norwegen) durch US-amerikanische Finanzinvestoren (21,6 Mio. EUR) und den Bundesstaat New York (3,4 Mio. EUR) unterstützt, das Start-up Ultimaker B.V. (Niederlande) durch die Europäische Investitionsbank (15 Mio. EUR).



Wie Abbildung 13 zeigt, lag der Anteil der Investitionen in nordamerikanische Start-ups im internationalen Vergleich während der vergangenen fünf Jahre durchgängig auf hohem Niveau. Seit die globale jährliche Investition zum ersten Mal in 2014 die 100-Millionen-Euro-Marke übertraf, flossen in jedem vollständigen Geschäftsjahr 68 bis 78 Prozent der globalen Gesamtinvestitionen in nordamerikanische Start-ups, die zum allergrößten Anteil aus den USA stammen. Der Anteil von Investitionen in europäische Start-ups lag im gleichen Zeitraum dagegen bei 18 bis 25 Prozent und der in asiatische Start-ups bei 2 bis 7 Prozent, während in entsprechende Start-ups anderer Weltregionen nur marginal investiert wurde. Auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau bewegten sich 2014 bis 2016 gemäß den vorliegenden Daten die Investitionen in deutsche Start-ups (2014:

2,6 Mio. EUR; 2015: 7,9 Mio. EUR; 2016: unbekannt). 2016 wurde für keine der drei Investment-Runden eine Investitionssumme veröffentlicht. Es zeichnet sich jedoch ab, dass die Investitionssumme in deutsche Start-ups im Jahr 2017 deutlich höher ausfallen wird als in 2015. Aus der Betrachtung der absoluten globalen Investitionen in den Jahren 2012 bis 2016 (siehe Abbildung 13) ergibt sich ein Konsolidierungstrend.²² Auf Basis der vorläufigen Zahlen für 2017 lässt sich jedoch eine erneute Stärkung bei den globalen Investitionen in Start-ups aus dem Bereich 3D-Druck absehen. Der Hauptgrund hierfür ist, dass sich in 2017 die Investitionen in nordamerikanische Start-ups, ganz überwiegend US-Unternehmen, gegenüber 2016 fast verdoppeln werden.

²² In ähnlicher Form auch beobachtet bzw. prognostiziert von Müller und Karevska: How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain? (siehe Fußnote 17).

Erwähnenswert ist, dass aktuell der Großteil der Investitionen in asiatische Start-ups nach Israel fließt (22,6 Mio. EUR in 2016, siehe Abbildung 12) und die großen asiatischen Wirtschaftsmächte Japan, Indien und China über den gesamten in Abbildung 13 betrachteten Zeitraum von 2012 bis 2016 unterrepräsentiert sind. Während Investitionen in japanische und indische Start-ups im Jahr 2015 zumindest einen zeitweisen Anstieg auf gemeinsam 10,7 Mio EUR verzeichneten, beliefen sich Investitionen in chinesische Start-ups im Zeitraum von 2012 bis 2015 auf lediglich 2 Mio. EUR. Laut der Crunchbase-Datenbank wurden 2016 bemerkenswerterweise keine Investitionen in japanische, indische oder chinesische Start-ups getätigt. Dennoch hat vor allem China seinen technologischen Fokus klar auf den 3D-Druck ausgerichtet. So sah ein nationaler Plan für die Entwicklung und Förderung der 3D-Druckindustrie für die Jahre 2015 und 2016 ein Budget von 211,2 Mio. EUR vor, um die Entwicklung von 3D-Druckern für die industrielle Fertigung und die Errichtung entsprechender Industrieparks zu fördern.²³ Ziel dieser Investitionen war, bis 2016 zwei bis drei international wettbewerbsfähige chinesische Firmen zu etablieren.²⁴

3.3 Stand der Technik

Obwohl 3D-Druck bereits in vielen Industriebranchen eingesetzt wird, kann der aktuelle Stand der Technik noch nicht mit klassischen Produktionsverfahren mithalten. Im Rahmen der Stellungnahme „Additive Fertigung“ der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech), der Nationalen Akademie der Wissenschaften (Leopoldina) und der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (Akademienunion) wurde in Zusammenarbeit mit 84 Akteuren aus Wissenschaft und Industrie ein Erfolgsfaktorenportfolio für das Technologiefeld Additive Fertigung erstellt.²⁵ Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass die Verfügbarkeit von Maschinen und Materialien, die reproduzierbare Druckergebnisse ermöglichen, weiterhin eine Herausforderung darstellt. Insbesondere „verdruckbare“ (zertifizierte) Materialien sind bisher nur eingeschränkt erhältlich und gedruckte Bauteile, die auf Basis gleicher Druckparameter hergestellt wurden, weisen zum Teil unterschiedliche Bauteileigenschaften oder Geometrien auf. Zu den „kritischen Erfolgsfaktoren“ für eine zeitnahe Implementierung des 3D-Drucks in Unternehmen gehöre außerdem, so das Fazit, dass die Maschinenproduktivität erhöht und die Integration in bestehende Fertigungsprozesse ermöglicht werden müsse. Parallel dazu seien Methoden zur Qualitätssicherung zu entwickeln sowie Normen und Standards auszuarbeiten. Des Weiteren sollten die Themen Arbeitsschutz sowie Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz bei Weiterentwicklungen der 3D-Drucktechnologie von morgen im Auge behalten werden.

3D-Drucktechnologien werden bereits heute in unterschiedlichsten Branchen intensiv eingesetzt, etwa in der Kunststoff- und der chemischen Industrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Automobil- und Luftfahrtindustrie sowie in der Pharma- und Medizintechnikbranche (siehe Abbildung 14). Aktuell setzen Unternehmen beim 3D-Druck vor allem auf eigene Lösungen, dies wird sich aber in Zukunft ändern. Im Rahmen einer länderübergreifenden Studie gaben 41 Prozent der befragten Unternehmen an, künftig 3D-gedruckte Produkte von Dienstleistern beziehen zu wollen – und nur 26 Prozent, eigene 3D-Drucker vorhalten bzw. anschaffen zu wollen.²⁶ Bezogen auf infrastrukturelle Aspekte heißt das auch, dass die plattformbasierte

²³ Richter und Wischmann: Additive Fertigungsmethoden, 2016 (siehe Fußnote 15).

²⁴ Müller und Karevska: How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain?, 2016 (siehe Fußnote 17).

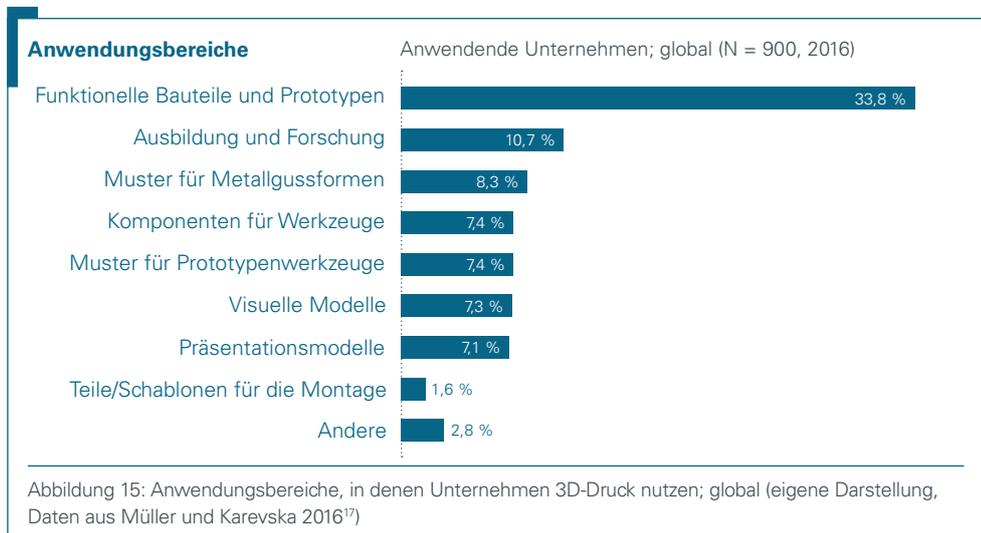
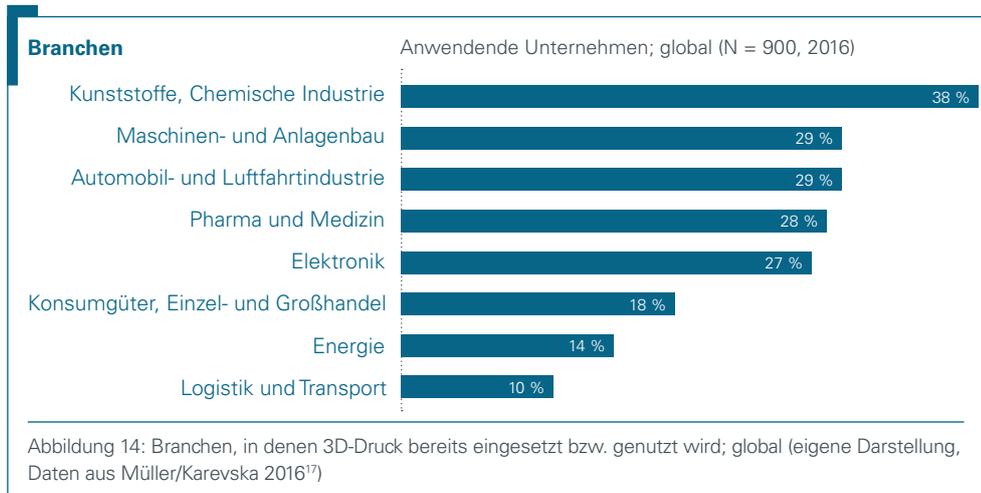
²⁵ acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.), Leopoldina (Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.), Akademienunion (Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V.): Additive Fertigung, 2017.

²⁶ Müller und Karevska: How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain?, 2016 (siehe Fußnote 17).

Kommunikation zwischen Unternehmen und 3D-Druckdienstleistern – dazu gehört auch die sichere, zuverlässige Datenübertragung – eine immer wichtigere Rolle spielen wird.

Aktuell setzen Unternehmen 3D-Druckverfahren vor allem in den Anwendungsfeldern Prototyping, Tooling, Manufacturing sowie Repairing ein. Beim Rapid Prototyping werden 3D-Druckverfahren für die schnelle Herstellung von zum Teil funktionsfähigen Prototypen und Musterbauteilen eingesetzt, beim Rapid Tooling für den Werkzeug- und Formenbau, etwa für die zeitnahe Herstellung komplexer Werkzeuge für den Kunststoffspritzguss, beim Rapid Manufacturing für die flexible, schnelle Fertigung von Bauteilen, (Klein-)Serien sowie Ersatzteilen und beim Rapid Repairing für die Reparatur von Bauteilen, wie etwa Gasturbinen. Letzteres Anwendungsfeld wurde bisher von nur wenigen Unternehmen erschlossen.

Spezifische Anwendungsbereiche, in denen der 3D-Druck von Unternehmen genutzt wird, sind in Abbildung 15 dargestellt. Diese können zum Teil mehreren Anwendungsfeldern zugeordnet werden. Es sticht hervor, dass Unternehmen den 3D-Druck aktuell vor allem für die Herstellung von funktionsfähigen Prototypen und Bauteilen einsetzen, daneben aber auch zur Herstellung von Werkzeugen, Schablonen und Gussformen sowie für den Druck von Modellen.



3.4 FuE-Entwicklungen

Um den aktuellen wissenschaftlichen Diskurs abzubilden, wurden Publikationsdaten aus der Datenbank Web of Science analysiert, die mit rund 50.000 Büchern, 12.000 Journalen und 160.000 Conference Proceedings aus den Bereichen Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften eine große Vielfalt an englischsprachigen wissenschaftlichen Publikationen versammelt sowie täglich aktualisiert und erweitert wird. Über die dort versammelte Vielzahl an Metadaten lassen Publikationen sich sowohl Regionen als auch Themenkategorien zuordnen.²⁷

Zwischen 2012 und 2017 ist der wissenschaftliche Output an Fachartikeln zum Themenbereich additive Fertigung länderübergreifend jährlich gestiegen (siehe Abbildung 16). Dies gilt auch für Deutschland und deutet auf einen intensiven Ausbau der Forschungsaktivitäten hin. In Deutschland ansässige Wissenschaftler gehörten zu den publikationsstärksten – hinter denen aus den USA, China und Großbritannien (siehe Abbildung 17). In Abbildung 18 sind die relevantesten Themenkategorien für Publikationen in Deutschland zwischen 2012 und 2017 zusammengestellt. Dabei fällt auf, dass der Publikationsschwerpunkt im Bereich der Materialwissenschaften liegt, aber auch im Bereich Medizintechnologien (inklusive der Biomaterialien) stark publiziert wird. Ein weiterer Fokus liegt auf den Ingenieurwissenschaften, wobei auch die Weiterentwicklung von optischen Technologien eine bedeutende Rolle spielt.

Die Förderung von additiven Fertigungsverfahren in Deutschland findet insbesondere im Kontext spezifischer Anwendungsbereiche und im Rahmen der institutionellen Förderung sowie der Projektförderung des Bundes statt. Zu den aktuellen Fördermaßnahmen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gehören etwa das Projekt Additiv-Generative Fertigung – Die 3D-Revolution zur Produktherstellung im Digitalzeitalter (Laufzeit bis 2020; Gesamtbudget: ca. 45 Mio. EUR), das im Rahmen des Regionalförderprogramms zwanzig20 gefördert wird, sowie die Fördermaßnahme Additive Fertigung – Individualisierte Produkte, komplexe Massenprodukte, innovative Materialien – ProMat_3D (Laufzeit bis 2022; Gesamtbudget: ca. 40 Mio. EUR), die Bestandteil der neuen Hightech-Strategie der Bundesregierung sind. Die Ziele der Fördermaßnahmen sind insbesondere:

- Entwicklung der additiv-generativen Fertigung zu einer Schlüsseltechnologie
- Aufbau nachhaltiger Netzwerkstrukturen
- Messbare Steigerung der Exportnachfrage und Positionierung Deutschlands als Leitanbieter
- Entwicklung innovativer Methoden und Werkzeuge zur Produktentwicklung und -fertigung

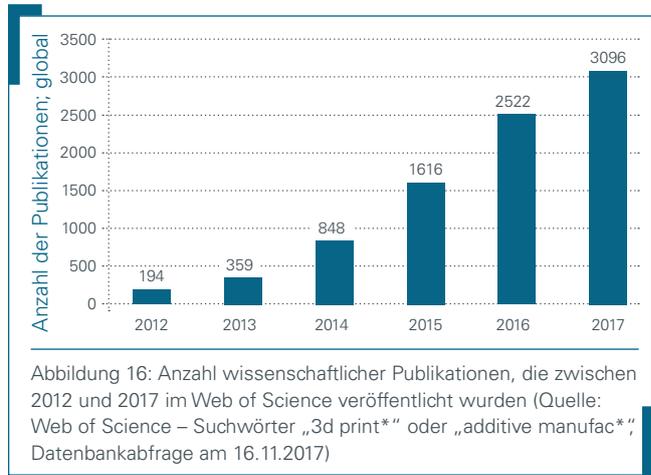


Abbildung 16: Anzahl wissenschaftlicher Publikationen, die zwischen 2012 und 2017 im Web of Science veröffentlicht wurden (Quelle: Web of Science – Suchwörter „3d print*“ oder „additive manufac*“; Datenbankabfrage am 16.11.2017)

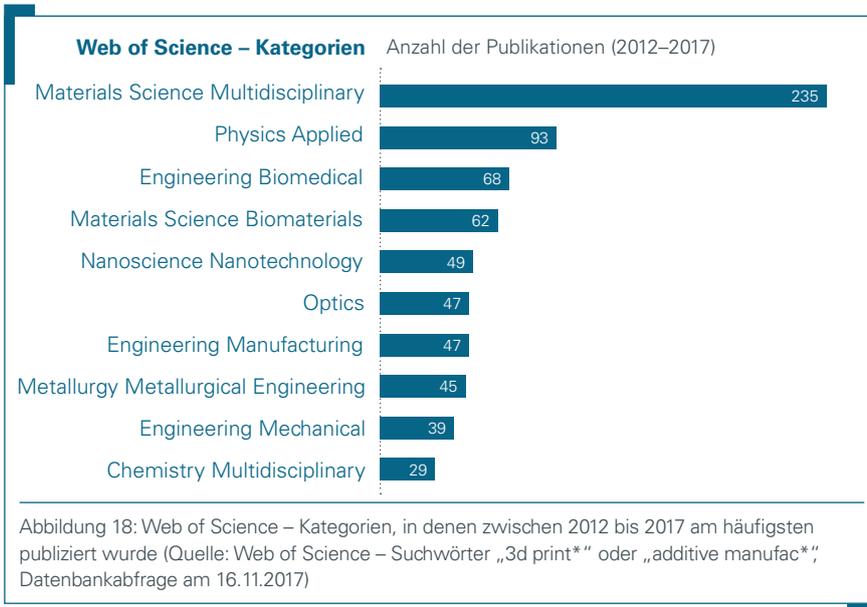


Abbildung 17: Publikationsstärkste Länder zwischen 2012 und 2017 (Quelle: Web of Science – Suchwörter „3d print*“ oder „additive manufac*“; Datenbankabfrage am 16.11.2017)

²⁷ Für die Analyse wurden Publikationen von 2012–2017 berücksichtigt, die den Suchwörtern „3d print*“ oder „additive manufac*“ zugeordnet werden konnten (Datenbankabfrage 16.11.2017).

- Entwicklung neuer oder verbesserter Materialien für den 3D-Druck

Neben den Fördermaßnahmen, die spezifisch auf die Entwicklung neuer 3D-Druck-Technologien und -Materialien ausgelegt sind, werden Projekte mit einem inhaltlichen Bezug zum 3D-Druck auch im Rahmen weiterer Technologieprogramme gefördert, so etwa in PAiCE. Übergreifendes Ziel aller hier geförderten 3D-Druckprojekte ist die optimale Einbettung von 3D-Drucktechnologien in digitale Wertschöpfungsketten der Industrie 4.0. Zu den mit der Digitalisierung im Sinne der Industrie 4.0 von Unternehmen erwarteten Vorteilen zählen etwa bessere Möglichkeiten für Planung und Steuerung in der Produktion und Logistik, höhere Kundenzufriedenheit durch die Einbindung von Nutzerdaten, größere Flexibilität in der Produktion, schnellere Time-to-Market-Abwicklung in der Produktentwicklung, die Verbesserung der Qualität und die Möglichkeit der Individualisierung von Produkten.



3.5 Projekte des Clusters 3D

Der Fortschritt der Förderprojekte Add2Log, DigiKAM, M3D und SAMPL seit Beginn des Technologieprogramms PAiCE wird auf den folgenden Seiten dargestellt.

Add2Log



Dezentrale Produktion auf Basis von additiver Fertigung und agiler Logistik

Kurzsteckbrief

Das Ziel des Projekts Add2Log ist die Entwicklung einer softwarebasierten Plattform, auf der sich Unternehmen vernetzen, um die Vorteile einer dezentralen additiven Fertigung von Neu- und Ersatzteilen und eines agilen Logistiksystems zu verbinden. Die Plattform Add2Log übernimmt die zentralen Koordinationsfunktionen für ein neu entstehendes Wertschöpfungsnetzwerk zwischen Produzenten, Logistikern und Dritten.

www.projekt-add2log.de

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Wertschöpfungsketten werden im Zuge der Digitalisierung zu Wertschöpfungsnetzwerken, in denen produzierende Unternehmen, industrielle Dienstleister sowie Softwareanbieter auf digitalen Plattformen kooperieren. Durch die Kooperation verändern sich nicht nur die Abläufe, sondern ganze Organisationsstrukturen müssen flexibel an die aktuellen Gegebenheiten angepasst werden. Die Arbeitsteilung zwischen Produzenten, Zulieferern und Dienstleistern und die zugrundeliegenden Geschäftsmodelle unterliegen einem radikalen Wandel. Außerdem werden neue Verfahren wie die additive Fertigung vermehrt als vollwertiger Ersatz für konventionelle Fertigungsverfahren eingesetzt.

Ziel des Projekts Add2Log ist es, eine unternehmensübergreifende softwarebasierte Plattform zu entwickeln, die als Schnittstelle zwischen Produzenten, Logistikern und Dritten prototypisch implementiert wird. Die Plattform Add2Log wird dabei eine zentrale Koordinationsstruktur bilden, die sämtliche Akteure vernetzt und auf deren Basis Unternehmen auf die additiven Fertigungsmöglichkeiten Dritter zugreifen sowie Neu- und Ersatzteile dezentral herstellen lassen. Die Vorteile sind kürzere Lieferzeiten, mehr Effizienz sowie die Möglichkeit, schneller auf Kundenwünsche reagieren zu können.

Nach dem Kick-off im Mai 2017 wurde das Ökosystem der (additiven) Fertigung (AM/Additive Manufacturing) und Logistik analysiert. Es wurden die übergeordneten Prozesse zu Bestellung, Fertigung und Transport von Neu- und Ersatzteilen durch ein Service-Blueprinting aufgenommen. Parallel hierzu wurden auch die ersten übergeordneten Prozesse zur Herstellung von AM-Teilen in einem Hub entwickelt. Ergebnis war eine Beschreibung der Marktstrukturen des gemeinsamen Ökosystems der additiven Fertigung und Logistik sowie zugehöriger Auswirkungen der Digitalisierung.

Im nächsten Schritt wurde mit allen Projektpartnern ein gemeinsames Zielbild der Add2Log-Plattform für die dezentrale Produktion entwickelt. Dabei wurden die verschiedenen Optio-

nen der Ausgestaltung und möglicher Veränderungen beschrieben und bewertet. Es wurde das zukünftige Netzwerk mit Produzenten, Logistikern und Dritten in konsistente Szenarien überführt, um zukünftige Entwicklungen bereits frühzeitig vorhersagen zu können. Basierend darauf wurde das konsistente Zielbild der Add2Log-Plattform entwickelt.

Aufbauend auf den beiden ersten Ergebnissen, der Ist-Analyse und dem entwickelten Zielbild, wurden die Anforderungen zur Realisierung der Add2Log-Plattform definiert. Dazu wurde die Ist-Analyse mit dem Zielbild verglichen und Anforderungen in Form eines Lastenhefts abgeleitet.

Parallel ist die experimentelle Ermittlung der Vor- und Nachteile einer Datenaufbereitung gestartet sowie die Verarbeitung von Scanvektoren und -kurven direkt aus dem nativen CAD-Format im Vergleich zur bisherig eingesetzten STL-Route beim SLM. Weiterhin wird mit der experimentellen Ermittlung von anlagenunabhängigen, reproduzierbaren Bauteileigenschaften (Oberflächenrauheit, Maß- und Formgenauigkeit) von additiv gefertigten Probekörpern in Abhängigkeit von Verfahrensparametern (Laserleistung, Laserstrahldurchmesser und Schichtdicke) exemplarisch für einen ausgewählten Werkstoff gestartet.

Aufbauend auf der Ist-Analyse des Ökosystems wird derzeit ein Referenzprozess für die additive Fertigung von Neu- und Ersatzteilen entlang der kompletten Wertschöpfungskette entwickelt. Hierzu werden die Prozesse der unterschiedlichen Akteure der gesamten Wertschöpfungskette detailliert aufgenommen und zu einem Referenzprozess zusammengeführt. Weiterhin werden das Konzept und die Ausarbeitung der Use Cases erstellt, welche zur Erprobung der Add2Log-Plattform dienen sollen. Mithilfe der Use Cases soll in der industriellen Praxis gezeigt werden, dass die Add2Log-Plattform anwendbar ist und sowohl großes Potenzial in der Ersatzteilbestellung als auch in der Bestellung von Neuteilen birgt.

Im Jahr 2018 werden Geschäftsmodelle unterschiedlicher Plattformen analysiert, die definierten Anforderungen in eine Plattformkonzeption überführt und es wird mit der prototypischen Implementierung der Add2Log-Plattform begonnen.

Konsortium

Software AG (Konsortialführer), RWTH Aachen – FIR e. V.,
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Materialise
GmbH, DMG Mori Spare Parts GmbH, Top Mehrwert
Logistik GmbH

Ansprechpartner

Dirk Mayer, Software AG
dirk.mayer@softwareag.com

DigiKAM

Digitales Netzwerk für additive Fertigung



Kurzsteckbrief

DigiKAM strebt ein digitales Netzwerk an, das die additive Fertigung über den gesamten Wertschöpfungsprozess ermöglicht. Mithilfe einer skalierbaren Plattform werden branchenübergreifend Unternehmen über den gesamten transparent und sicher gesteuerten Produktionsprozess miteinander vernetzt. Das Netzwerk richtet sich vor allem an kleine und mittlere Unternehmen (KMU), denen es aufgrund begrenzter Ressourcen nicht möglich ist, das notwendige Know-how zur additiven Fertigung selbst aufzubauen.

www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/digitales-kollaborationsnetzwerk-zur-erschliessung-von-additive-manufacturing.html

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

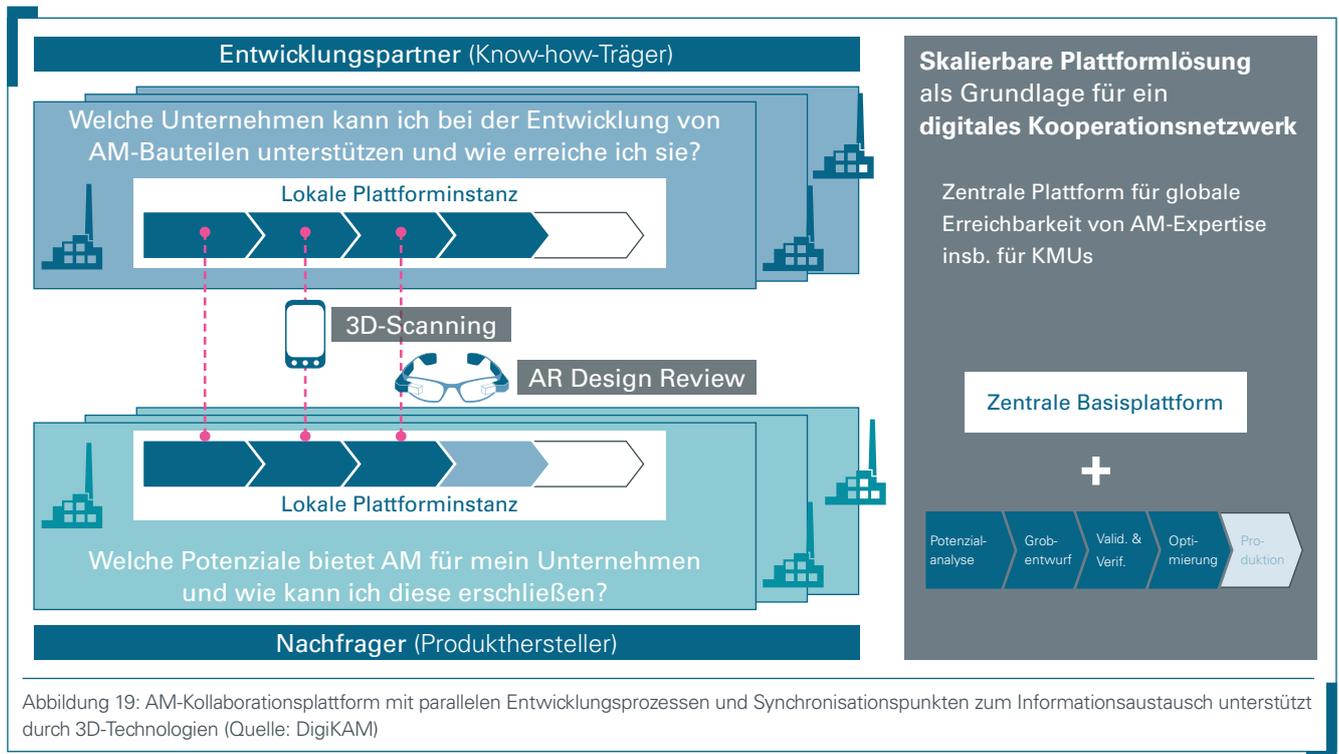
Anwendungsszenarien: Für eine schnelle Integration in das Verbundprojekt wurde den Anwendungspartnern zunächst die Technologie AM (Additive Manufacturing/additive Fertigung) vorgestellt und aufgezeigt, welche Nutzenpotenziale sie bei den Anwendungspartnern hat. Anschließend wurden mögliche Anwendungsszenarien für die Kollaborationsplattform abgestimmt. Diese beschreiben aus anwenderspezifischer Sicht, wie eine Plattform zur AM-Kollaboration genutzt werden kann und welche potenziellen Bauteile seitens der Anwendungspartner als Beispiele für eine AM-gerechte Entwicklung auf der Kollaborationsplattform geeignet sind. Hieraus wurden Anforderungen an die Plattform und die unterstützenden 3D-Technologien abgeleitet.

AM-Entstehungsprozess: Auf Basis der Anwendungsszenarios wurde der übergeordnete Gesamtablauf zum Entstehungsprozess für die AM-gerechte Kollaboration der Anwendungspartner für die Plattform definiert. Der Entstehungsprozess beschreibt zunächst, wie Experten und Anwenderunternehmen über die Plattform zueinander finden. Nach dem Vertragsabschluss für ein gemeinsames Entwicklungsprojekt laufen dann zeitlich parallel zwei Entwicklungsprozesse ab. Aus Sicht des Experten ist dies der Referenzprozess, der den idealtypischen Sollprozess beschreibt. Auf der Seite des Anwenderunternehmens ist dieses typischerweise der unternehmensspezifische Entwicklungsprozess (siehe Abbildung 19). Insgesamt fokussiert der Entstehungsprozess auf die frühen Phasen der Produktentwicklung bis zum AM-gerechten druckbaren Bauteil.

Synchronisationspunkte: Für den notwendigen Informationsaustausch zwischen den beteiligten Entwicklungspartnern wurde eine Reihe von Synchronisationspunkten identifiziert. An diesen Punkten wurden die notwendigen Daten und Formate für den Informationsaustausch zur Abstimmung zwischen den Partnern bestimmt. Diese definieren die zeitliche Verzahnung der auf beiden Seiten parallel verlaufenden Entwicklungsprozesse. Einige dieser Synchronisationspunkte bilden die Basis für Entwicklungsmeilensteine im Rahmen des Entstehungsprozesses.

3D-Technologien: An den Synchronisationspunkten kommen auch die unterstützenden 3D-Technologien zum Einsatz. Diese können zunächst zur Datenbereitstellung dienen (3D-Scanning). Anschließend bilden sie als Basis für Augmented Reality Design Reviews, bei denen Entwicklungsvorschläge für ein AM-gerecht umgestaltetes Bauteil des Experten durch den Anwender mittels einer mobilen Augmented-Reality-Anwendung kritisch bewertet und mit Feedback zur Verbesserung des AM-Entwurfs versehen werden.

Öffentlichkeitsarbeit: Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit sind für das Jahr 2018 Beiträge zu vier Veranstaltungen geplant (HMI 2018, Metav 2018, Inside 3D-Printing 2018 und ViProSim 2018).



Konsortium

Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM (Konsortialführer), Atos Information Technology GmbH, Krause DiMaTec GmbH, Miele & Cie. KG, Friedrich Remmert GmbH

Ansprechpartner

Harald Anacker, Fraunhofer IEM
 harald.anacker@iem.fraunhofer.de

M3D

Mobile 3D-Erfassung für den 3D-Druck vor Ort



Kurzsteckbrief

Fortschritte in der dreidimensionalen Datenerfassung und im 3D-Druck ermöglichen ein enormes Einsparpotenzial in der Logistik sowie in der Lagerhaltung von Bau- und Ersatzteilen. Logistikkosten werden durch die individuelle Fertigung vor Ort reduziert, was insbesondere für kleine Losgrößen oder Ersatzteilbeschaffung Vorteile bietet. Bei M3D werden Bauteile auf mobilen Endgeräten erfasst, sodass der Bestellprozess zeitnah, automatisiert und direkt gestartet werden kann. Dadurch werden Produktionsausfälle vermieden und die Kosten für die Lagerhaltung von Bau- und Ersatzteilen reduziert.

www.hhi.fraunhofer.de/en/departments/vit/projects/m3d.html

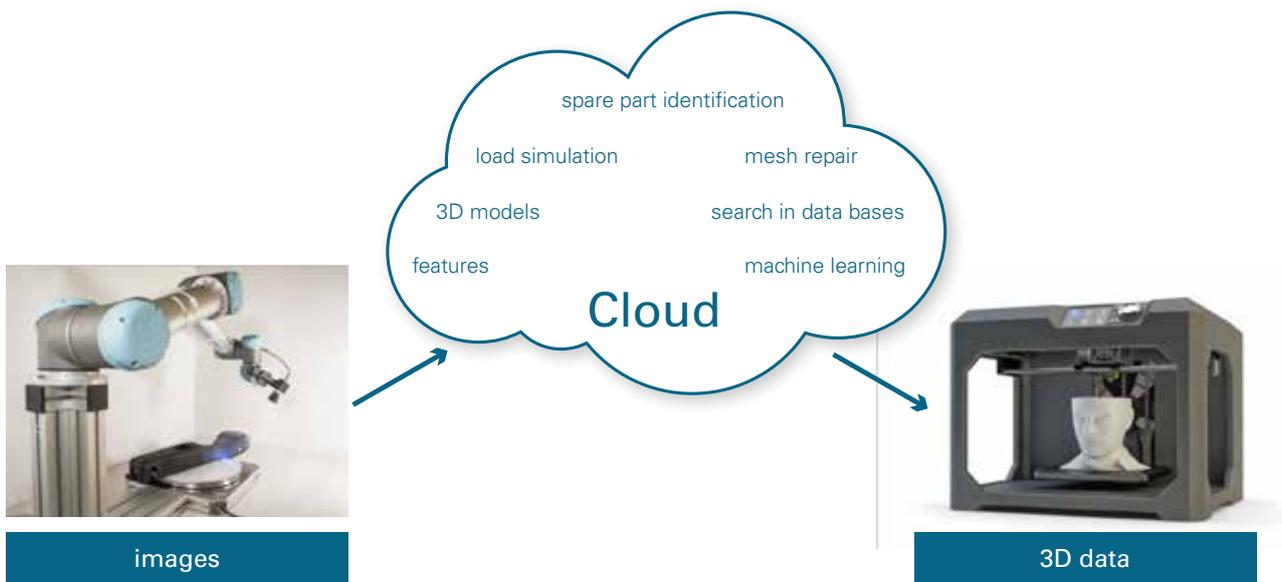


Abbildung 20: Schematische Darstellung der Verarbeitungsschritte von der Datenerfassung über die Identifikation bis hin zum 3D-Druck im M3D-Projekt (Quelle: M3D)

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Das M3D-Projekt beschäftigt sich mit drei Themenschwerpunkten (siehe Abbildung 20):

- der mobilen Erfassung von Bauteilen, um diese zu identifizieren und festzustellen, ob sie ab Lager verfügbar sind oder neu gefertigt werden müssen. Die Suche erfolgt anhand von 3D-Modellen, die während der Erfassung erstellt werden, z. B. CAD- oder Bauteiledatenbanken
- der 3D-Erfassung von ausgebauten Bauteilen mittels eines (mobilen) Scan-Roboters, der anschließenden 3D-Modellierung des Bauteils, ggf. der elektronischen Reparatur des Bauteils und ggf. der Simulation des 3D-Modells hinsichtlich mechanischer Belastung
- dem 3D-Druck des Bauteils

Auf dem Meilenstein-Workshop des M3D-Projekts im Rahmen der 3IT-Summit²⁸ wurden insgesamt drei Demonstratoren ausgestellt, die den Fortschritt im Projekt demonstrieren:

1. Mobiles 3D-Scanning-System auf Basis eines Roboterarms
2. System zur Simulation von mechanischen Belastungen von 3D-Modellen von Bauteilen
3. System zur mobilen Aufnahme und 3D-Modellierung von Bauteilen sowie zu deren Suche in CAD- und Bauteile-Datenbanken. Hierzu wurde auch ein erstes System zur Hardwarebeschleunigung von Rechenoperationen bei der 3D-Modellierung vorgeführt

Weiterhin wurden erste 3D-Druckergebnisse von gescannten defekten Bauteilen präsentiert, bei denen die Bauteile vor dem Druck zum Teil „elektronisch“ repariert wurden.

Nach der Implementation des gesamten Frameworks der Prozesskette zur Identifikation von Bauteilen fokussieren die laufenden Arbeiten nun auf die Optimierung der Erkennungsraten bei der Bauteilidentifikation. Ausgehend von den implementierten Verfahren zur Simulation von Lastfällen bei Bauteilen, konzentrieren sich weitere Arbeiten in diesem Bereich darauf, dass dem Nutzer Änderungsvorschläge gemacht werden, die die Stabilität eines Bauteils erhöhen können.

Basierend auf ersten Implementierungen, wird ferner an der Benutzerführung und Interaktion bei der Datenerfassung durch mobile Kamerasensoren per Android-App sowie an der Weiterentwicklung von Algorithmen für die 3D-Modellierung in einer bereits aufgebauten Cloud-Infrastruktur gearbeitet.

28 www.3it-berlin.de/index.php?option=com_content&view=article&id=582 (zuletzt abgerufen am 22.12.2017)

Konsortium

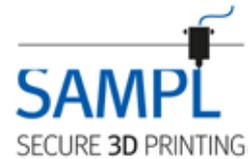
Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut HHI (Konsortialführung), cirp GmbH, cpu 24/7 GmbH, Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, Siemens AG, TU Berlin – Fakultät IV Elektrotechnik und Informatik

Ansprechpartner

Dr. Ralf Schäfer, Fraunhofer HHI
ralf.schaefer@hhi.fraunhofer.de

SAMPL

Sichere Plattform für Additive Fertigung/Secure Additive Manufacturing Platform



Kurzsteckbrief

SAMPL entwickelt eine durchgängige Sicherheitslösung für additive Fertigungsverfahren. Die Lösung sichert den gesamten Prozess von der Erzeugung der 3D-Druckdaten über den Austausch, die Lizenzierung der Druckvorgänge und die Ausgabe auf speziell abgesicherten 3D-Druckern bis zur Kennzeichnung der gedruckten Bauteile mit einem RFID-Chip oder anderer Methoden zum Ermöglichen der Nachverfolgbarkeit ab. Alle relevanten Informationen werden mithilfe der Blockchain-Technologie abgebildet.

www.sampl-3d.org

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Basis von SAMPL ist die Datenaustauschlösung OpenDXM GlobalX von PROSTEP, die in Ergänzung zu den vorhandenen Verschlüsselungsmechanismen um ein digitales Lizenzmanagement auf Basis der Blockchain-Technologie erweitert wird (siehe Abbildung 21).

Umsetzung der SAMPL-Lösung

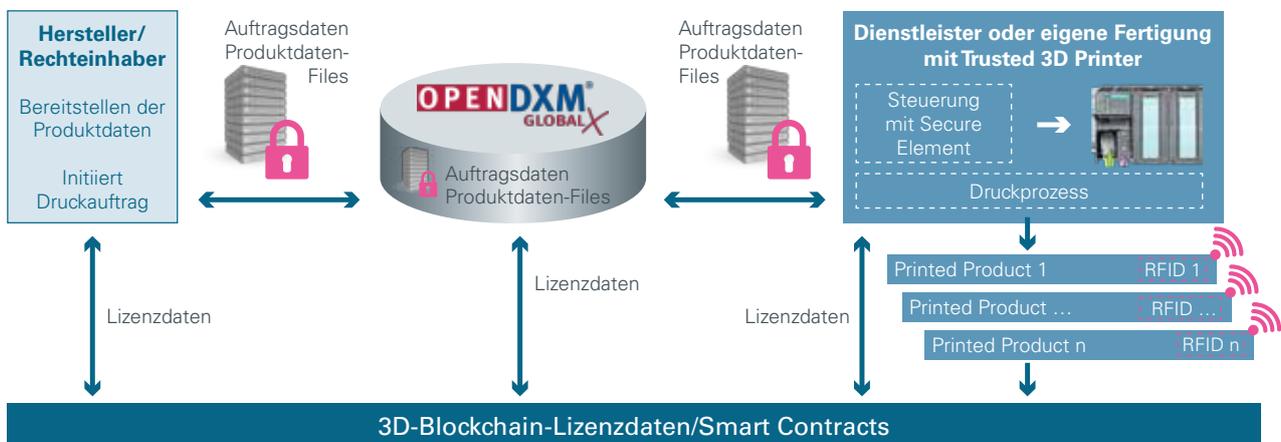


Abbildung 21: Schematische Darstellung der Systemarchitektur im SAMPL-Projekt (Quelle: SAMPL)

Die Blockchain-Technologie, die beispielsweise beim digitalen Zahlungsverkehr mit der Kryptowährung Bitcoin eingesetzt wird, umfasst Verfahren zum Nachweis der Authentizität von Transaktionen. Sie ist aber auch für die Lizenzvergabe zum Druck einer vorher definierten Zahl von Bauteilen anwendbar. Die hierzu notwendigen Abbildungsmechanismen in sogenannten Smart Contracts werden im Rahmen von SAMPL entwickelt. Die Implementierung der Blockchain-Technologie realisiert der Konsortialpartner consider it. NXP Semiconductors steuert die Secure Elements für die Anbindung der 3D-Drucker an die Blockchain und die RFID-basierte Kennzeichnung der Bauteile bei. Die EOS-Tochter 3D MicroPrint sichert die Vollständigkeit der Chain-of-Trust vom Rechteinhaber bis zum 3D-Drucker ab. Die TU Hamburg-Harburg betrachtet das Risikomanagement und die Universität Hamburg die Geschäftsmodelle. Die Blockchain-Architektur wird von der Universität Ulm entwickelt; die Integration der Steuerungen in die Sicherheitslösung erfolgt durch das Fraunhofer Institut ENAS.



Abbildung 22: Demonstration des SAMPL-Projekts auf der HMI 2017

Ein wesentliches Projektziel von SAMPL ist die Entwicklung einer Plattform, die die oben aufgeführten Anforderungen unterstützt. Mit dieser Plattform wird der Nachweis der technischen Machbarkeit sowie Wirtschaftlichkeit anhand konkreter Anwendungsfälle gemeinsam mit den assoziierten Partnern Airbus und EvoBus erbracht. Rechtliche Aspekte wie Urheberrecht, Haftungsfragen oder Datenschutz werden vom assoziierten Partner DWF betrachtet.

Auf der Hannover Messe (HMI) 2017 wurde ein erster Demonstrator der SAMPL-Plattform für den 3D-Druck von Bauteilen und die Lizenzierung in der Blockchain vorgestellt (siehe Abbildung 22). Weitere Präsentationen folgten auf über zehn Veranstaltungen und Messen. Auf der Hannover Messe 2018 wird das SAMPL-Projekt wieder als Aussteller vertreten sein und die neuesten Entwicklungen zeigen.

Konsortium

PROSTEP AG (Konsortialführer), 3D MicroPrint GmbH, consider it GmbH, Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS, NXP Semiconductors Germany GmbH, TU Hamburg-Harburg – Institut für Flugzeug-Kabinensysteme, Universität Hamburg – Hamburg Research Center for Information Systems, Universität Ulm – Institut für verteilte Systeme

Assoziierte Partner

AIRBUS Operation GmbH, EvoBus GmbH, DWF Germany Rechtsanwaltsgesellschaft mbH

Ansprechpartner

Martin Holland, PROSTEP AG
martin.holland@proststep.com

4 Cluster Engineering

Disziplinen- und phasenübergreifendes Engineering für Industrie 4.0

Der Wandel hin zu den digitalen und vernetzten Produktionssystemen in Industrie 4.0 schließt eine Veränderung des Engineerings mit ein. Die für das Engineering der Zukunft erforderlichen technischen, methodischen und juristischen Entwicklungen stehen dabei erst am Anfang.²⁹ Zentral ist die Herausforderung, die tradierten Grenzen zwischen den einzelnen Engineering-Gebieten (Mechanik, Elektrik etc.) zu überwinden. Zukünftige disziplinübergreifend integrierte Engineering-Werkzeuge benötigen Standards zum Datenaustausch auf allen Gestaltungsebenen, die gleichzeitig eine Abstraktion von Funktionen und Fähigkeiten jeweils untergeordneter Ebenen ermöglichen. Auch das Produktlebenszyklusmanagement benötigt gerade bei langlebigen Produkten eine neuartige Herangehensweise. Die aktuellen Herausforderungen werden in vier PAiCE-Projekten adressiert:

- Standards zum Datenaustausch im Engineering: INTEGRATE, DEVEKOS
- Engineering und Daten im prozessübergreifenden Entwurf: VariKa, DEVEKOS
- Engineering und Daten bei Bestandsmaschinen: EMuDig4.0, VariKa

4.1 Marktanalyse

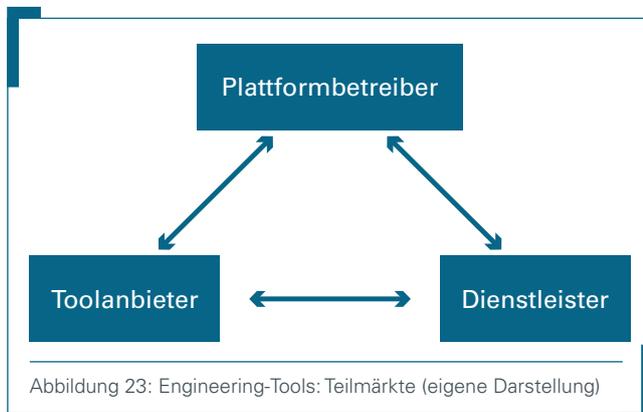
Die Betrachtung des Marktes im Bereich Engineering hat die verschiedenen Rollen in der Wertschöpfung getrennt zu berücksichtigen. Am Anfang des Marktes stand in den 1980er Jahren die Entwicklung von rechnergestützten Werkzeugen für einzelne Schritte des Engineerings (Computer-Aided Engineering/CAE). Das Spektrum solcher Tools reicht von der klassischen rechnergestützten Konstruktion (Computer-Aided Design/CAD) über den Entwurf elektronischer Schaltungen und Bauelemente (Electronic Design Automation/EDA) bis hin zu numerischen Simulationen etwa für Belastungen, Bewegungsabläufe oder thermische Prozesse. Diese Werkzeuge wurden meist von zu dieser Zeit neu gegründeten Software-Entwicklungsunternehmen entwickelt oder von Systemintegratoren, die ihr Produktportfolio erweiterten bzw. abrundeten.

Die wachsende Komplexität von CAE-Tools sowie der damit verbundenen Software (etwa Simulation) war eine der treibenden Kräfte zur verstärkten Herausbildung von Engineering-Dienstleistern, beginnend in den 1990er Jahren.

Die ersten Schritte hin zu einer Vernetzung von Engineering-Leistungen mit der Fertigung wurden mit dem Computer-Aided Manufacturing (CAM) vor mehr als 30 Jahren gegangen. Diese Lösungen waren meist proprietär und nicht mit den Fähigkeiten heutiger Lösungen vergleichbar.

Zukünftig ist eine Aufteilung des Marktes in drei Rollen (Geschäftsmodelle) zu erwarten (siehe Abbildung 23), wobei Mischformen und Mehrfachbesetzungen von Rollen durch ein und denselben Anbieter zumindest im Standardgeschäft eher häufig zu erwarten sind. Die Rolle der Toolanbieter entspricht im Wesentlichen der der gewachsenen CAE-Werkzeuge, ergänzt um entsprechende Schnittstellen und domänenübergreifende multimodale CAE-Werkzeuge (Systemengineering). Die Rolle der Dienstleister basiert auf den heute bereits zahlreich agierenden Engineering-Firmen, wobei auch hier eine weitere Auffächerung der Wertschöpfungskette zu erwarten ist. Das Spektrum wird vom generalistischen Systemdienstleister bis zum Spezialisten für Sonderfälle reichen. Die Rollen als Toolanbieter und als Dienstleister können auch mit der Produktfertigung verknüpft sein.

29 Matthias Künzel, Jens Schulz und Peter Gabriel: Engineering 4.0. Grundzüge eines Zukunftsmodells, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016. Online verfügbar unter www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/autonomik-engineering%2040.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (zuletzt abgerufen am 20.11.2017).



Völlig neu ist die Rolle des Plattformbetreibers. Hier ist sowohl der Eintritt von CAE-Werkzeuganbietern zu erwarten, die ihre Werkzeugpalette mit einer Integrationsschicht versehen (bottom-up), als auch der Eintritt von generischen Plattformbetreibern aus anderen Branchen („Seiteneinsteiger“).

Toolanbieter

Die meisten heutigen Engineering-Toolanbieter haben sich in einzelnen Anwendungsfeldern entwickelt. Beispielhaft seien hierfür mechanische Konstruktion genannt: AutoCAD (Autodesk), Catia (Dassault Systemes), Creo (vormals Pro/ENGINEER PTC), Solid Edge (Siemens AG), SolidWorks (Dassault Systemes) sowie Allplan (Nemetschek AG). Mit

Ausnahme des letztgenannten Systems, das seinen Schwerpunkt im Bereich Bau/Architektur hat, stammen alle genannten Systeme aus dem Anwendungsbereich Maschinen- und Fahrzeugbau. Sie unterscheiden sich durch den Umfang ihrer 3D-Fähigkeit, die Anbindung von Simulationsmöglichkeiten, die Integration in Gesamtpakete sowie die verfügbaren Schnittstellen. Weitere typische Felder für CAE-Lösungen sind Elektroanlagen (z. B. ePLAN – Friedhelm Loh Group), der Leiterplattenentwurf (PCB-design) und der Schaltkreisentwurf (EDA).

Der aktuelle Weltmarkt für CAE-Tools einschließlich Simulation wird in Studien mit etwa 4,5 Mrd. EUR^{30,31} angegeben, wobei mehr als die Hälfte auf mechanische Konstruktion (CAD) entfällt. Eine Untergliederung erfolgt üblicherweise nach Anwenderbranche (Automobil, Luftfahrt etc.) und nach Einsatzgebiet (Konstruktion, Fertigung, Visualisierung, geobasiert).

Insgesamt ist davon auszugehen, dass mehr als 50 Anbieter im CAE-Markt tätig sind, die Zahl der angebotenen (bei den einzelnen Anbietern meist verknüpfbaren) Programmpakete wird in Studien auf bis zu 500 beziffert. In jedem Segment (Mechanik, Elektro, PCB, Architektur/Gebäude etc.) decken jeweils etwa fünf Programmpakete den größten Teil des Marktes ab. Die Mehrheit dieser Produkte hat eine über mehr als zehn Jahre reichende Entwicklungshistorie.

Engineering-Dienstleister

Grundsätzlicher Treiber für die Externalisierung von Engineering-Dienstleistungen ist eine stärkere Ausdifferenzierung des Wertschöpfungsprozesses. Dazu gehört die effektive Nutzung hochspezialisierter (und kompetenzintensiver) Spezialsoftware sowie das zunehmende Outsourcing bei großen Unternehmen (beispielhaft für die letztgenannte Entwicklung ist die Automobilindustrie). Hinzu tritt eine Automatisierung einfacher Tätigkeiten. Das resultiert in geänderten Ertragsmodellen und einer stärkeren temporären Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams über Unternehmensgrenzen hinweg.

Der Markt für Technologie-Beratung und Engineering-Services in Deutschland ist im Jahr 2014 nach Schätzungen des Marktforschungs- und Beratungsunternehmens Lünendonk, Kaufbeuren, um 5 Prozent auf 9,3 Mrd. EUR gewachsen.³² Diese Studie konstatiert weitere Wachs-

30 Cambashi CAE Observatory 2017: 5,37 Mrd. USD, 2016.

31 Grand View Research 2017: 5,23 Mrd. USD, 2015.

32 Michael Schlaug und Hartmut Lürßen: Führende Anbieter von Technologie-Beratung und Engineering Services in Deutschland. Lünendonk-Sonderanalyse 2016, Lünendonk GmbH, 2016. Online verfügbar unter www.luenendonk-shop.de/out/pictures/0/lue_mc_tbes_2016_sonderanalyse_f190916_fl.pdf (zuletzt abgerufen am 20.11.2017).

tumserwartungen von etwa 5 Prozent pro Jahr. Insgesamt ist dieser Markt uneinheitlich strukturiert – auf der einen Seite Unternehmen mit deutlich mehr als tausend Mitarbeitern und am anderen Ende der Skala Einzelunternehmen (Ingenieurbüros). Engineering-Dienstleister sind dabei unter anderem mit einer hohen Fluktuationsquote konfrontiert; die entsprechenden Kundenunternehmen sind bevorzugtes Ziel bei personellen Wechseln. Eine Konsolidierung dieses Marktes ist absehbar, vor allem durch den Willen großer Auftraggeber zur Reduzierung der Zahl der Dienstleister und der Vergabe immer größerer Aufgabenpakete. Dieses dürfte weniger kleinere Akteure betreffen, die entweder hochspezialisiert sind oder primär für kleinere Unternehmen arbeiten (typische Nischenakteure), als vielmehr mittelgroße Anbieter.

Plattformen

Das Aufkommen von Engineering-Plattformen wird zu einer Neugestaltung des Marktes führen. Studien beziffern diesen Markt auf aktuell 8,5 Mrd. EUR und nahezu 25 Mrd. EUR für 2022. Damit liegt das Wachstum deutlich über den Werten für CAE-Tools, wobei die vorliegenden Zahlen für Plattformen und CAE-Tools sich überschneiden. Das Wachstum für Plattformleistungen im engeren Sinne ist deutlich über dem für die CAE-Tools zu erwarten.

Unabhängig davon wird kein universales neues Wertschöpfungsmodell erwartet, weil die Branchen in ihren Anforderungen zu unterschiedlich sind. Als Betreiber solcher Plattformen kommen vor allem etablierte Systemhäuser mit Engineering-Bezug, große Softwareunternehmen, aber auch Verbände bzw. Unternehmenszusammenschlüsse in Frage (Reihenfolge ohne Wertung, Gegenüberstellung siehe Tabelle 3). Welches dieser Modelle sich am Markt durchsetzen wird, lässt sich gegenwärtig noch nicht abschätzen. Beispielsweise kann das vorherrschende Modell in der Automobilindustrie zukünftig anders strukturiert sein als in der Bauwirtschaft.

Tabelle 3: Vergleich von Betreiberotypen für Engineering-Plattformen (eigene Darstellung)

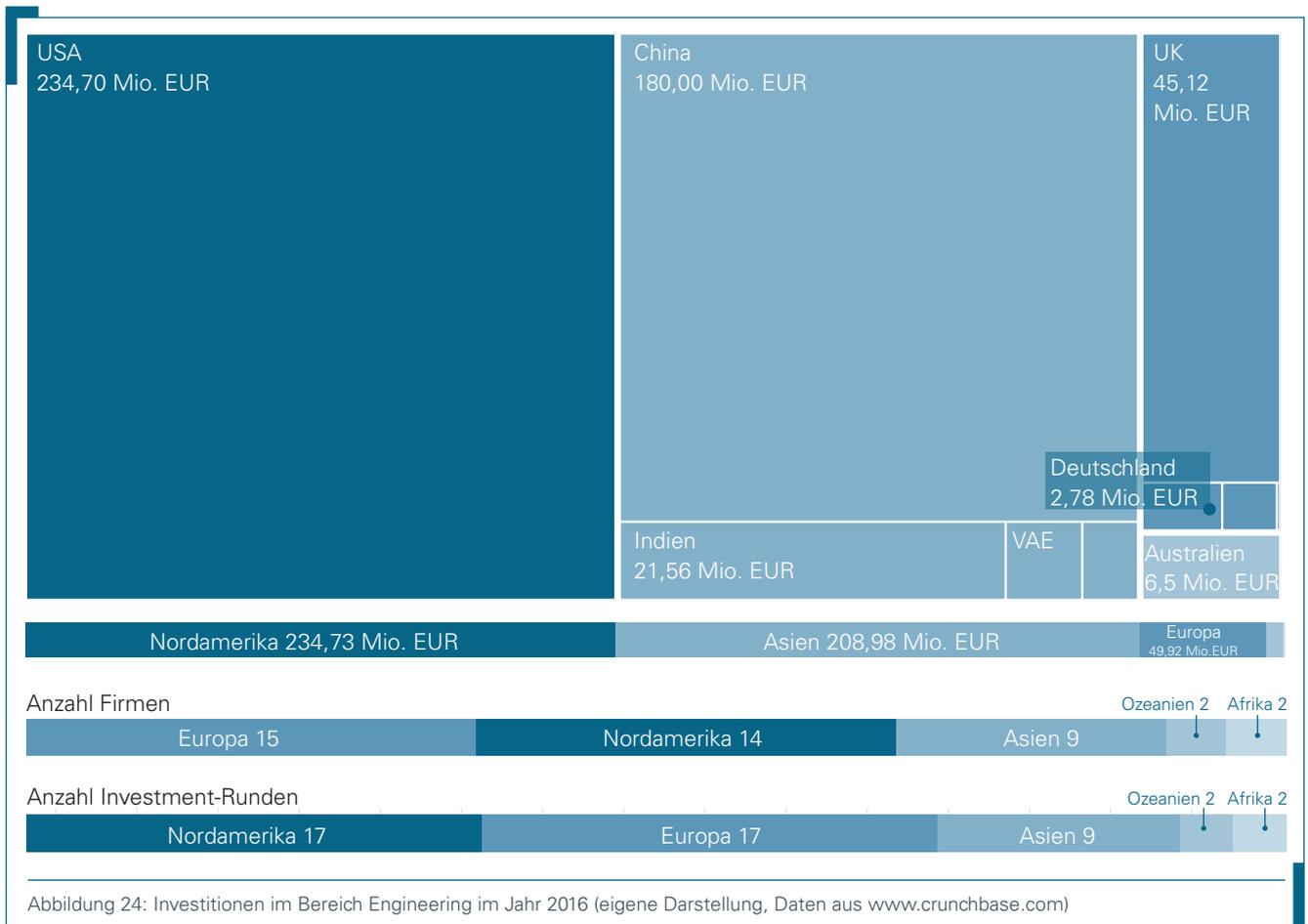
	Anbietertyp		
	Systemhaus	Softwarehaus/Cloudbetreiber	Verband/Unternehmensverband
Marktzugang	Durch schon etablierte Produkte Markteintritt bottom-up Etablierte Marktstellung	Quereinsteiger Markteintritt top-down durch PLM-Software oder Rechenkapazität/ Cloud	Durch Mitglieder
Grundkonzeption/ Merkmale	Durchgängigkeit: Hardware + Software + Engineering-Konzepte	Ausgehend von Plattform-Architektur und Erfahrung in BigData; Austausch- fähigkeit steht im Mittelpunkt	Poolbildung Open-X-Konzept (Plattform nach dem Modell von Open Innovation)
Vorteile für Nutzer	Ideale Abstimmung zwischen Hardware und Engineering-Werkzeugen möglich	Neutral bezogen auf Einzelanwen- dungen	Interessen der Mitglieder im Mittelpunkt Hohe Kompetenzvermutung Neutralität
Nachteile für Nutzer	Proprietäre Lösung, Lock-in-Effekte Heterogene Umgebungen werden weniger unterstützt	Ggf. weniger Kompetenz in enginee- ringspezifischen Aspekten Risiko von Lock-in-Effekten	Risiko begrenzter finanzieller Ressourcen bei zu geringem Mitgliederengagement

4.2 Start-up-Umfeld

Die heute etablierten sektorspezifischen Engineering-Werkzeuge haben ihre Wurzeln meist in den 1980er und 1990er Jahren. Die seitdem durch die betreffenden Anbieter aufgebauten Erfahrungen und Kompetenzen sind im Rahmen einer Unternehmensneugründung kaum aufzuholen. Anders stellt sich die Situation bei Lösungen dar, die ergänzend oder komplementär zu etablierten Engineering-Fähigkeiten aufgestellt sind. Beispielhaft hierfür ist das Themenfeld Virtual Reality/Augmented Reality zu nennen. Solche Lösungen werden durch den Trend zur Bereitstellung von (möglichst standardisierten) Schnittstellen in etablierten Programmpaketen und den Trend zu Open-Source-Lösungen zusätzlich gefördert („solution provider“). Sie liefern neue Fähigkeiten für das CAE, leisten aber nur einen geringen Beitrag zur Überwindung tradierter Applikationsgrenzen (etwa Mechanical Engineering vs. Electrical Engineering).

Investitionstätigkeit

Um regionale Schwerpunkte bei Investitionen zu erkennen, wurde die Datenbank von Crunchbase analysiert. Das Ergebnis für die Investitionen 2016 zeigt Abbildung 24. Die Grafik ist ein Spiegelbild unterschiedlicher Investitions- und Unternehmenskulturen. Mit Eigenkapital entwickelte, inhabergeführte Unternehmensstrukturen bleiben hier unsichtbar. Nach den USA stellt China – auch nach der Herausnahme der statistischen Ausreißer – den zweithöchsten Kapitalanteil; nach der Zahl der Firmen und der Investment-Runden liegen aber Nordamerika und Europa in diesem Markt etwa gleichauf im Lead.



Analysiert man die Entwicklung der letzten Jahre, zeigt 2016 keine Besonderheiten oder Änderungstrends. Auch wenn die Daten in Tabelle 4 und Tabelle 5 mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind – etwa die Hälfte der Datensätze wurde wegen fehlender Investitionssumme ausgeschlossen –, lassen sich wichtige Schlüsse daraus ziehen:

- Etwa 70 Prozent aller berücksichtigten Investments fanden in Nordamerika oder Europa statt.
- Bei der Zahl der Firmen und der Investitions-Runden liegen Nordamerika und Europa etwa gleichauf. Die durchschnittliche Investitionssumme in Europa beträgt aber nur ein Drittel des Wertes von dem Nordamerikas (mit nur geringfügigen Unterschieden zwischen den USA und Kanada).
- In Asien finden wenige, aber sehr umfangreiche Investments in diesem Bereich statt.

Tabelle 4: Investitionen in den Bereichen Industrial Engineering und Mechanical Engineering nach Kontinenten im Zeitraum 2008–2017 (eigene Darstellung, Daten aus www.crunchbase.com)

Kontinent	Gesamtinvestition [EUR]	Mittelwert [EUR]	Fallzahl
Afrika	10.364.695,81 EUR	3.454.898,60 EUR	3
Asien	352.542.736,15 EUR	32.049.339,65 EUR	11
Europa	185.272.701,59 EUR	2.940.836,53 EUR	63
Nordamerika	1.380.431.566,85 EUR	10.537.645,55 EUR	131
Ozeanien	13.222.561,50 EUR	3.305.640,38 EUR	4
Südamerika	13.130.100,00 EUR	13.130.100,00 EUR	1

Tabelle 5: Investitionen in den Bereichen Industrial Engineering und Mechanical Engineering im Zeitraum 2008–2017 – Länder-TOP 10 (eigene Darstellung, Daten aus www.crunchbase.com)

Land	Gesamtinvestition [EUR]	Mittelwert [EUR]	Fallzahl
USA	1.326.757.697,15 EUR	10.614.061,58 EUR	125
China	184.891.037,30 EUR	61.630.345,77 EUR	3
Indien	144.233.222,25 EUR	28.846.644,45 EUR	5
Vereintes Königreich	86.761.562,20 EUR	2.892.052,07 EUR	30
Kanada	53.673.869,70 EUR	8.945.644,95 EUR	6
Finnland	38.807.145,00 EUR	38.807.145,00 EUR	1
VAE	20.313.905,00 EUR	10.156.952,50 EUR	2
Deutschland	17.248.010,34 EUR	2.156.001,29 EUR	8
Australien	13.222.561,50 EUR	3.305.640,38 EUR	4
Brasilien	13.130.100,00 EUR	13.130.100,00 EUR	1

In Tabelle 5 wurden die wichtigsten Länder für Investitionen nochmals einzeln erfasst. Diese Analyse stützt die Beobachtung von bereits erwähnten unterschiedlichen Unternehmens- und Gründerkulturen. Insbesondere in Deutschland wird die Hereinnahme von Fremdkapital eher kritisch gesehen. Die in den obigen Tabellen erfassten deutschen Unternehmen betreiben Engineering eher im Sinne der internen Produktentwicklung (z. B. BigRep GmbH) oder als Dienstleister (z. B. Plant Systems & Services PSS GmbH). Auch in Stellenbörsen sind Start-ups im Kontext Engineering nicht sichtbar. Als mögliche Ursache fehlender Gründungen in diesem Themenfeld stehen die Komplexitäts- und Qualitätsansprüche des Systems Engineering.

4.3 Stand der Technik

Die Definition von Engineering und damit einhergehend auch der Stand der Technik durchlaufen gegenwärtig einen Umbruch: von der Konzeptionierung als Phasenmodell hin zur Systembetrachtung. Bisher wurde Engineering stark von der Konstruktion geprägt; eine systemische Betrachtung von Produkt, Produktion und Nutzung wurde demgegenüber vernachlässigt. In zahlreichen Anwendungskontexten wird dabei die Schlüsselfunktion des Engineerings hervorgehoben, ohne dass eine eindeutige Interpretation oder gar eine Systematisierung des Begriffs erfolgt.

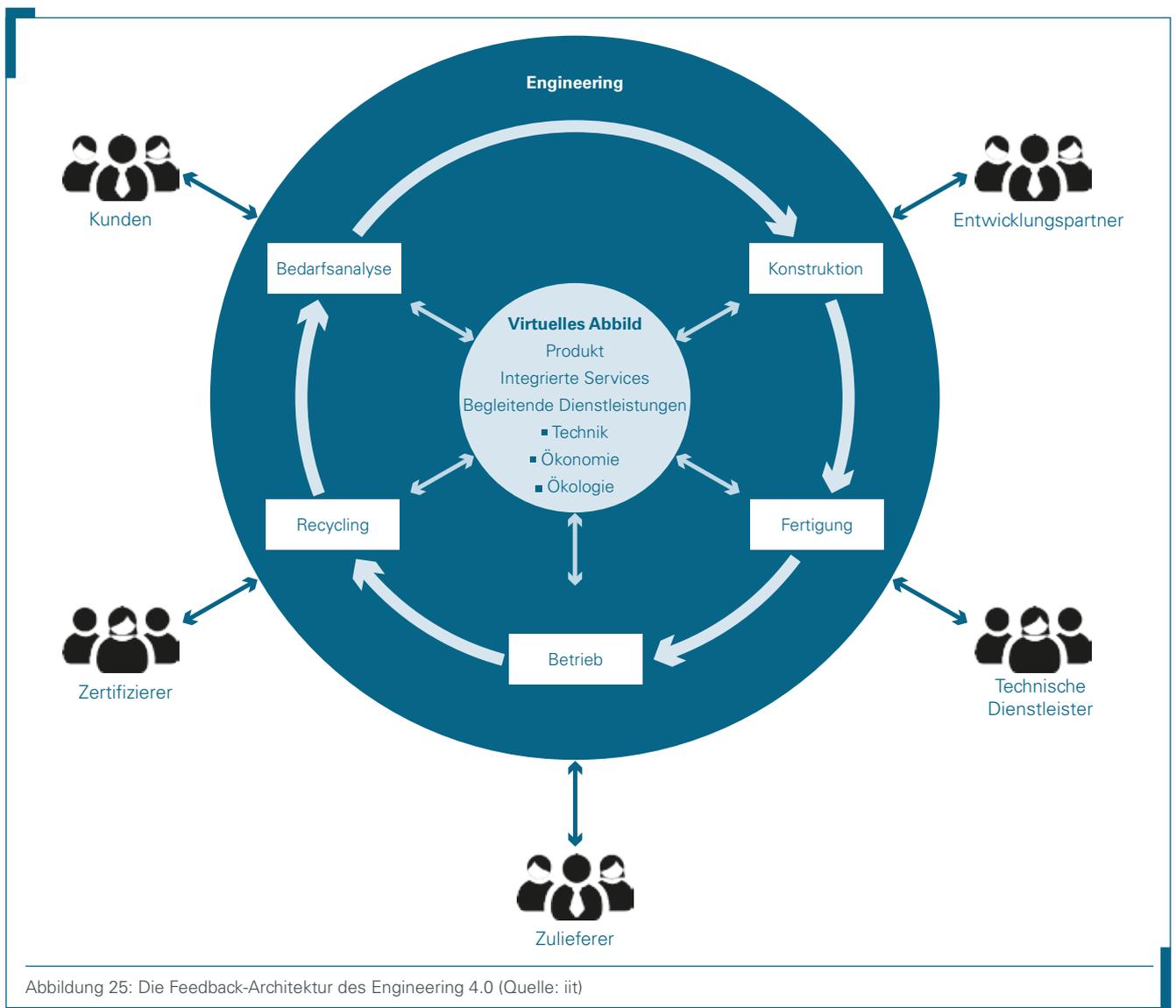


Abbildung 25: Die Feedback-Architektur des Engineering 4.0 (Quelle: iit)

Gegenüber Künzel et al. 2016 hat sich die Situation zum Stand der Technik nicht grundsätzlich verändert: Der in der Studie prognostizierte Umschwung findet eher in Form eines schrittweisen Übergangs als eines disruptiven Umbruchs statt. Das avisierte zukünftige Engineering als ein den Produktlebenszyklus durchgängig begleitender Feedback-Prozess ist weiterhin ein Zukunftsmodell (siehe Abbildung 25). Dieses bezieht unternehmensübergreifend alle Akteure der Wertschöpfungskette ein, liefert eine ganzheitliche Sicht auf das

Produkt, bildet die integrierten Services und die Dienstleistungen ab und berücksichtigt technische, ökonomische und ökologische Aspekte gleichermaßen.

Auch wenn erste Schritte gegangen werden, ist der gegenwärtige Stand der Technik – nicht zuletzt in der industriellen Praxis – von diesem Modell signifikant entfernt. Die auf dem Markt erhältlichen Komponenten unterschiedlicher Hersteller sind häufig weder miteinander kompatibel, noch gibt es standardisierte Funktions- und Fähigkeitsbeschreibungen. Herstellerübergreifende Standards für Automatisierungsfunktionen fehlen ebenfalls häufig, sodass ein Datenfluss zwischen Komponentenherstellern, Maschinenbauern und -betreibern behindert wird. Drittanbieter können nur mit großen Hürden ihre Dienste in den Produktionsprozess einbringen. Auch für das domain- und disziplinübergreifende Engineering sind anerkannte Schnittstellen noch nicht weit verbreitet und häufig mit manuellem Konvertieren verbunden.

AutomationML stellt für einige dieser Herausforderungen einen zukunftssträchtigen Ansatz dar. Mit der IEC 62 714 wurde hier eine wichtige Etappe bei der Standardisierung des Datenaustauschs erreicht.

Im späteren Betrieb fehlen transparente Produktionsdaten entlang der Wertschöpfungskette. Das gilt vor allem für die große Menge der Bestandsanlagen in der Produktion; für diese müssen sinnvolle Migrationspfade eröffnet werden. In der betrieblichen Praxis fehlen häufig nicht nur standardisierte Datenformate und implementierte Erfassungsmethoden, sondern digitale Unterlagen bzw. deren Austausch überhaupt.

Die zunehmende Nutzung neuer Engineering-Methoden und digitaler Prozesse zur Effizienz-erhöhung konzentriert sich noch zu häufig auf einzelne Abschnitte, statt auf die gesamte Wertschöpfungskette. Beispielhaft dafür ist die schnelle Weiterentwicklung von Produkten im Bereich der virtuellen Inbetriebnahme. Auch wenn diese Vorgehensweise kurzfristig im Sinne von „take the low-hanging fruits first“ nachvollziehbar ist, bedarf es verstärkt zukunfts-(investitions-)sicherer Vorgehensweisen.

4.4 FuE-Entwicklungen

Rahmenbedingungen

Der im vorigen Kapitel avisierte Umbruch beim Engineering wird durch eine Reihe von Rahmenbedingungen geprägt, die die laufenden FuE-Arbeiten und auch die Weiterentwicklung von Wertschöpfungsprozessen wesentlich prägen:

- Mechanik, Elektronik und Software weisen **völlig unterschiedliche Innovationszyklen und Lebensdauern** auf. Deshalb gilt es, einen wirtschaftlichen Migrationspfad zu beschreiten, der das (Re-)Engineering/Retrofit solcher Investitionsgüter einschließt.
- Das Engineering soll zukünftig, zumindest weitgehend, ohne physische Funktionsmuster bzw. Prototypen auskommen, ist also idealerweise weitgehend bis vollständig softwarebasiert. **Simulation und virtuelle Realität** werden damit unverzichtbar und sind wichtiges Forschungsthema.
- Zum Engineering gehört es auch, bereits die **technischen Voraussetzungen für Services** für Diagnose, Wartung etc. zu schaffen, die unter Umständen erst später im Laufe einer iterativen Entwicklung definiert werden.
- Das Thema **Nachhaltigkeit** wird auch für das Engineering 4.0 **von zunehmender Bedeutung** für den Wirtschaftsstandort Deutschland sein. In wertorientierten Ansätzen werden hierbei heute Berechnungsverfahren eingesetzt, welche die Total Cost of

Ownership (TCO), das heißt die Gesamtbetriebskosten über den gesamten Produktlebenszyklus, als zentrales Entscheidungskriterium herausstellen.

- Die Übertragung **agiler Entwicklungsmethoden** für Software auf physikalische Produkte ist reizvoll, weil sie eine kürzere Time-to-Market und mehr Kundenorientierung verspricht. Der direkten Umsetzung steht aber entgegen, dass die Hardware-Anteile realer Maschinen sich anders als Software nicht einfach aktualisieren lassen und dass das Regime von Haftung, vertraglich vereinbarten Produktleistungen, Zertifizierung und Zulassung bei physikalischen Produkten viel stärker ausgeprägt ist als bei Software.
- Das Engineering 4.0 hält nicht nur Anforderungen auf technischer Ebene bereit. Ebenso stellen sich drängende **juristische Fragen**, insbesondere bei der Haftung. Hier gibt es teilweise schon erste Ansätze, die weiterverfolgt werden müssen. Das sind zum einen die **virtuelle Zertifizierung** modularer und konfigurierbarer Maschinen und die Zertifizierung von Fertigungsprozessen, um die Variantenvielfalt in den Griff zu bekommen, und zum anderen die Haftung bei der Kollaboration autonomer Maschinen bzw. zwischen Mensch und Maschine.

Die aus Sicht der Regionalentwicklung (Intelligente Spezialisierung) laufende Vanguard-Initiative³³ der EU beruht auf der politischen Verpflichtung der Regionen, ihre Strategie der intelligenten Spezialisierung zu nutzen, um neues Wachstum durch unternehmerische Innovation von unten nach oben und **industrielle Erneuerung in den vorrangigen europäischen Bereichen** zu fördern. Trotz der offensichtlichen Schlüsselfunktion, die der Weiterentwicklung des Engineering für diese Aufgabe zukommt – hier seien Stichworte wie endkundennahe Fertigung, kleine Losgrößen und Ersatzteile beispielhaft genannt –, wird das Thema Engineering von der Vanguard-Initiative nicht aufgegriffen, auch nicht im Rahmen der fünf Pilotprojekte (Bioökonomie, Effiziente und nachhaltige Fertigung, Hochleistungsproduktion durch 3D-Druck, Nachtechnologiebasierte Produkte, Komponenten für Offshore-Energieerzeugung und -anwendung). Die Ursachen hierfür bedürfen einer weiteren Analyse.

FuE-Trends

Eine aktuelle Analyse der europäischen FuE-Aktivitäten im Kontext Engineering ergibt ein sehr breites Spektrum von laufenden Verbundprojekten. Aus der Detailbetrachtung ausgeschlossen wurden in einem ersten Schritt Projekte im Bereich Biotechnologie (Tissue Engineering etc.) sowie Projekte im Bereich Materialwissenschaften/Nanotechnologien. Im verbleibenden Projektpool zeichnen sich folgende Schwerpunktthemen ab:

- Simulation und Analyse (in der Regel im Kontext bestimmter Anwendungen) einschließlich Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit
- Softwareentwicklung (z. B. Software-as-a-Service, Testing)
- Engineering im Bereich Photonik und Smart Systems
- Projekte mit Bezug zur additiven Fertigung

Im europäischen Maßstab ist auffällig, dass sich die Forschung stark auf Produktionstechnik in einem weiten Branchenspektrum konzentriert. Neue Verfahren wie Additive Manufacturing sind stark verbreitete Themen. Engineering-Aspekte werden in solchen Projekten eher am Rande mitbetrachtet, nicht aber als Kern eines Projekts. Hier reflektiert sich auch die unterschiedliche Herangehensweise: In Deutschland wurde der Grundstein durch Industrie 4.0 aus der Informatik herausgelegt. In den anderen europäischen Staaten steht das Wiedererstarken der Fertigungstechnik im Mittelpunkt (vgl. *industrie du future*, Vanguard-Initiative).

33 Die Vanguard-Initiative: Die politische Führung in jeder Partnerregion hat diese Verpflichtung mit der Unterzeichnung der Erklärung von Mailand übernommen. Weitere Informationen: www.s3vanguardinitiative.eu (zuletzt abgerufen am 20.11.2017).

Fokussierte Engineering-Projekte, wie sie in PAiCE gefördert werden, sind daher auf europäischer Ebene kaum vertreten.

Eine Initiative und zwei Projekte auf europäischer Ebene mit Bezug zu Engineering und PAiCE seien an dieser Stelle vorgestellt:

PPP Factories of the Future (PPP-FoF)

Diese Public-Private-Partnership auf europäischer Ebene wurde 2008 gestartet. Seitdem wurden knapp 180 Projekte durch das 7. EU-Forschungsrahmenprogramm und Horizon 2020 im Rahmen von „Factories of the Future“ gefördert. Die private Seite wird durch European Factories of the Future Research Association (EFFRA) vertreten, in der etwa hundert Unternehmen, Forschungseinrichtungen sowie Vereine und Cluster als Mitglied vertreten sind.

Die FoF-Roadmap für den Zeitraum 2014 bis 2020 beschreibt eine Vision und die erforderlichen Schlüsseltechnologien für eine saubere, hochproduktive, umweltfreundliche und sozial nachhaltige Fertigung in der Zukunft. Die Analyse der Marktsituation in der Roadmap zeigt deutlich die Führungsposition Deutschlands im Themenfeld auf. So entfallen etwa 40 Prozent aller europäischen FuE-Ausgaben im Bereich Fertigung (worunter an dieser Stelle auch entsprechende Engineering-Anteile subsummiert werden) auf Deutschland.

In der FoF-Roadmap werden folgende Forschungsschwerpunkte im Zusammenhang mit Engineering benannt:

- Multidisziplinäre Engineering-Werkzeuge für den Mechatronik-Entwurf (im Kapitel Adaptive und intelligente Fertigungssysteme)
- Im Kapitel Schlüsseltechnologien/IKT:
- Software-Werkzeuge für die kollaborative und dezentrale Entwicklung
- Modellierungs- und Simulationswerkzeuge
- Sichere, leistungsfähige und offene Plattformen
- Datensicherung und Information-Mining

Indirekt sind sämtliche in der Roadmap als Forschungsschwerpunkt genannten Fertigungsprozesse im Engineering zu berücksichtigen, da diese neu- oder weiterentwickelten Fertigungstechnologien die Auslegung von zukünftigen Produkten beeinflussen.

Future Directions of Production Planning and Optimized Energy and Process Industries (FUDIPO)

- Webseite: www.fupido.eu
- Koordinator: Maelardalens Högskola, Hogsskolenplan 1, 72123 Västerås
- Insgesamt elf Verbundpartner (deutsche Beteiligung: Fraunhofer-Zentrum für Hochtemperatur-Leichtbau Bayreuth)
- Laufzeit: 01.10.2016 bis 30.09.2020

Das Projekt adressiert – im Unterschied zu den PAiCE-Projekten – die energieintensive Prozessindustrie (Zielbranchen: Raffinerien, Keramikindustrie, Papierindustrie, Chemieindustrie). Aus der Diskussion in Arbeitskreisen im Nachgang zur Engineering-Studie wurde deutlich, dass diese Industrie mit der Produktfertigung bzw. dem Maschinenbau gleichwertig zu berücksichtigen ist. Das Projekt kann somit komplementäre Erfahrungen zu den PAiCE-Projekten liefern. Zusätzlich werden im Projekt FUPIDO auch Energieaspekte berücksichtigt. Veröffentlichte Ergebnisse zum Projekt liegen erst in geringem Umfang vor.



Das Projekt integriert maschinelle Lernfunktionen in großem Umfang in verschiedene kritische Prozessindustrien. Damit sollen signifikante Verbesserungen der Energie- und Ressourceneffizienz sowie eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit ermöglicht werden. Das Projekt wird drei größere standortweite Systemdemonstratoren sowie zwei kleine Technologiedemonstratoren entwickeln. Zu diesem Zweck bringt FUDIPO fünf Endverbraucherindustrien in den Sektoren Zellstoff und Papier, Raffinerie und Stromerzeugung, eine Automatisierungsindustrie (LE), zwei Forschungsinstitute und eine Universität zusammen. Als Ergebnis wird ein Satz von Werkzeugen für Diagnose, Datenabgleich und Entscheidungsunterstützung, Produktionsplanung und Prozessoptimierung einschließlich modellbasierter Steuerung angestrebt. Die Vorgehensweise besteht darin, physikalische Prozessmodelle zu konstruieren, die dann kontinuierlich mit „guten Daten“ und „schlechten Daten“ zur Fehlerdiagnose angepasst werden. Nach dem maschinellen Lernprozess kann die Klassifizierung von Daten automatisiert werden. Darüber hinaus werden statistische Modelle aus Messungen mit mehreren neuen Sensortypen kombiniert mit Standardprozess-Sensoren erstellt. Bediener und Prozessingenieure interagieren mit dem System, um die Systemleistung zu erlernen und zu verbessern. Die Plattform soll eine offene Plattform als Basisfunktionalität sowie erweiterte Funktionen als Add-ons umfassen. Die Basisplattform kann mit großen Automatisierungsplattformen und Datenbanken verbunden werden. Die Modellbibliothek wird auch verwendet, um die Auswirkungen von Prozessänderungen zu bewerten. Durch den Einsatz bewährter Simulationsmodelle mit neuen Komponenten und die Anbindung an das entwickelte Prozessoptimierungssystem erhält man ein genaues Bild von den tatsächlichen Betriebsabläufen der modifizierten Anlage. Zugleich lässt sich so auch das Engineering- und Prozessdesign zusammen mit der Entwicklung von Prozessautomatisierung erfassen.

An Integrated Collaboration Platform for Managing the Product-Service Lifecycle (ICP4Life)

- Webseite: www.icp4life.eu
- Koordinator: PRIMA INDUSTRIE S.p.A.; Via Antonelli, 32-10097 COLLEGNO (TO) ITAL
- Insgesamt zwölf Verbundpartner (deutsche Beteiligung: Fraunhofer-IAO Stuttgart)
- Laufzeit: 01.01.2015 bis 31.12.2018

Das Projekt adressiert – im Unterschied zu den PAiCE-Projekten – primär die Energiewirtschaft und deren häufig mittelständische Zulieferer. Die dabei bestehenden Herausforderungen unterscheiden sich jedoch qualitativ nicht von der Produktfertigung bzw. dem Maschinenbau. Das Projekt kann somit komplementäre Erfahrungen zu den PAiCE-Projekten liefern. Es liegen bereits verschiedene Veröffentlichungen zu Projektergebnissen vor.

Im Projekt ICP4Life wird eine integrierte kollaborative Plattform entwickelt, die aus drei Funktionsbereichen besteht:

- der Erstellung und Verwaltung von Produkt- und Servicedaten durch Nutzer mehrerer Fachrichtungen unter Verwendung eines gemeinsamen semantischen Modells
- der einfachen und intuitiven Konfiguration von Produkten und Dienstleistungen durch Kunden mit unterschiedlichen Profilen für verschiedene Produkttypen und
- der halbautomatischen Konstruktion und Rekonfiguration von Leitungen und Energieversorgungsnetzen durch Simulationsdienstleistungen in der Cloud, verbunden mit einem gemeinsamen Datenmodell für die gesamte Lieferkette

Das Projekt soll mit seiner Datendurchgängigkeit vor allem Zeitgewinne zwischen den unterschiedlichen Phasen der Wertschöpfung liefern. Angestrebt werden unter anderem eine Reduzierung der Time-to-Market um 20 Prozent, der Prozesszeiten im Reparaturbereich um bis zu 40 Prozent und der Produktentwicklungszeiten um bis zu 30 Prozent.

4.5 Projekte des Clusters Engineering

Der Fortschritt der Förderprojekte DEVEKOS, EMuDig 4.0, INTEGRATE und VariKa seit Beginn des Technologieprogramms PAiCE wird auf den folgenden Seiten dargestellt.

DEVEKOS

DEVEKOS

Durchgängiges Engineering für sichere, verteilte und kommunizierende Mehrkomponentensysteme

Kurzsteckbrief

Ziel des Projekts DEVEKOS ist es, herstellerübergreifende Standards für sämtliche zur Automatisierung von Maschinen oder Anlagen beitragenden Komponenten zu entwickeln, um Engineering- und Produktionsprozesse intelligenter, flexibler und effizienter zu machen. Die Automatisierungskomponenten sollen automatisch und in Echtzeit herstellerübergreifend zusammenarbeiten. Dafür will das Projekt standardisierte Schnittstellen schaffen, die auch eine effiziente Zusammenarbeit in der Entwicklung zwischen den Gewerken Vertrieb, Mechanik, Elektrik und Software ermöglichen.

www.devekos.org

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Das Projektziel von DEVEKOS ist die herstellerübergreifende Standardisierung von Fähigkeiten einzelner Komponenten und Subsysteme am Beispiel verschiedener Fertigungs- und Montageprozesse. Solche standardisierten Beschreibungen sind eine notwendige Voraussetzung für effizientes, fähigkeitenbasiertes Engineering ohne Bindung an einen einzelnen Hersteller oder Anbieter (Abbildung 26).

Mit dem CODESYS Depictor wird eine logische 3D-Simulation (virtuelle Inbetriebnahme) prototypisch realisiert. Für den Betrieb der Maschine entwickelt das inIT gemeinsam mit CODESYS einen ersten Prototyp für eine OPC-UA³⁴-basierte Kommunikationslösung für fähigkeitenbasierte Systeme. Integrierte Komponenten werden in DEVEKOS zunächst unabhängig vom Demonstrator von den Partnern Afag Automation AG (Schweiz), elrest Automationssysteme GmbH, eps GmbH und Festo erarbeitet. Ebenso wird die Sicherheitslösung für modulare und verteilte Systeme (Safety und Security) momentan unabhängig vom Demonstrator konzipiert. Die Anwender in DEVEKOS (Maschinenbauer) können die Ergebnisse dann zum Teil im Demonstrator, zum Teil aber auch in eigenen Anwendungen umsetzen und prüfen.

Zur Verstetigung der Projektziele arbeitet DEVEKOS seit Sommer 2017 über das Projekt hinaus intensiv mit der VDMA-Arbeitsgruppe IAS (Integrated Assembly Solutions) zusammen an einer herstellerübergreifenden Normierung von Automatisierungsfähigkeiten. An dieser Arbeitsgruppe ist eine beachtliche Anzahl von bekannten Herstellern von Automatisierungskomponenten beteiligt. Dadurch ist eine gute Basis für die Verbreitung und Akzeptanz einer Fähigkeitenstandardisierung gegeben. Im Rahmen dieser Arbeitsgruppe wurden die Entwicklung und der Aufbau einer konkreten Maschine für die Automatica 2018 beschlossen, an deren Aufbau voraussichtlich zwischen 20 und 30 Unternehmen beteiligt sind. Alle Komponenten der Hersteller werden über ihre Fähigkeiten in die Maschine eingebracht. Hinzu kommt eine prototypische herstellerübergreifende Fähigkeitennormierung im Rahmen der verwendeten Komponenten. Diese werden über ihre Fähigkeiten zu Steuerungsabläufen zusammengefügt (Orchestrierung). Für diesen fähigkeitenbasierten Entwurf werden die Engineering-Tools 4DIAC und CODESYS Application Composer verwendet.

³⁴ OPC-UA = Open Platform Communications-Unified Architecture – Bezeichnung für standardisierte Software-Schnittstellen, die den Datenaustausch zwischen Anwendungen unterschiedlichster Hersteller in der Automatisierungstechnik ermöglichen, UA bezeichnet die aktuelle Generation solcher Schnittstellen

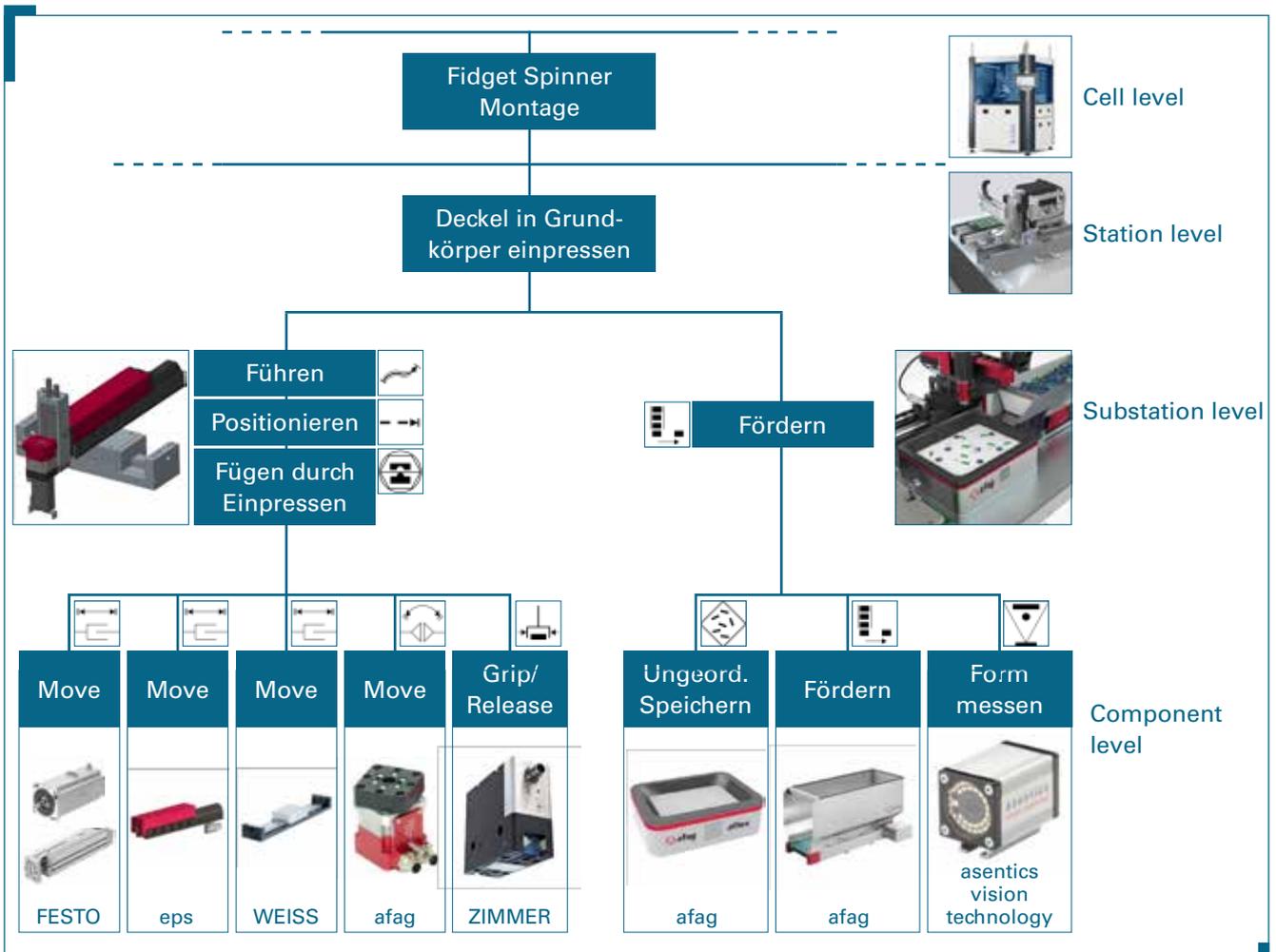


Abbildung 26: DEVEKOS – Fähigkeitenbasierte Architektur (Quelle: DEVEKOS)

Konsortium

FESTO AG & Co. KG (Konsortialführung), ASYS Automatisierungssysteme GmbH, CODESYS GmbH, elrest Automationssysteme GmbH, fortiss GmbH, Häcker Automation GmbH, Harro Höfliger Verpackungsmaschinen GmbH, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, inIT – Institut für industrielle Informationstechnik, NewTec GmbH, SCHAEFF Maschinen GmbH & Co. KG, Softing Industrial Automation GmbH, Universität Stuttgart – Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen

Ansprechpartner

Johannes Hoos, FESTO AG & Co.KG
 johannes.hoos@festo.com

EMuDig 4.0

EMuDig4.0

Effizienzschub in der Massivumformung durch Integration digitaler Technologien im Engineering der gesamten Wertschöpfungskette

Kurzsteckbrief

EMuDig 4.0 will in der Massivumformung eine Vernetzung zwischen Herstellungsprozess, Maschinen und Anlagen, Menschen, Produkten und Werkzeugen ermöglichen. Dazu werden entlang der gesamten Wertschöpfungskette speziell für die Umformung entwickelte oder angepasste digitale Technologien und Methoden integriert. Die Analyse der entstehenden Daten wird genutzt, um weitere Erkenntnisse über den Prozess zu gewinnen und damit die Gesamtanlageneffizienz zu steigern.

www.massivumformung.de/forschung/emudig-40

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Bei den Anwendungspartnern Hirschvogel Automotive Group, SMS group GmbH und OTTO FUCHS KG wurden die repräsentativen Anwendungsfälle (Demonstratoren) der Prozessketten Stahl und Aluminium im industriellen Umfeld ausgewählt. Besonderes Augenmerk galt dabei der zielgerichteten Implementierung neuer Sensorik und Hardware an bestehenden Fertigungsanlagen in der Industrie unter Berücksichtigung der herrschenden Betriebsbedingungen (hohe Temperaturen und mechanische Belastung). Bereits erste Auswertungen lieferten unmittelbare praktische Erkenntnisse an Schmiedepressen (siehe Abbildung 27).

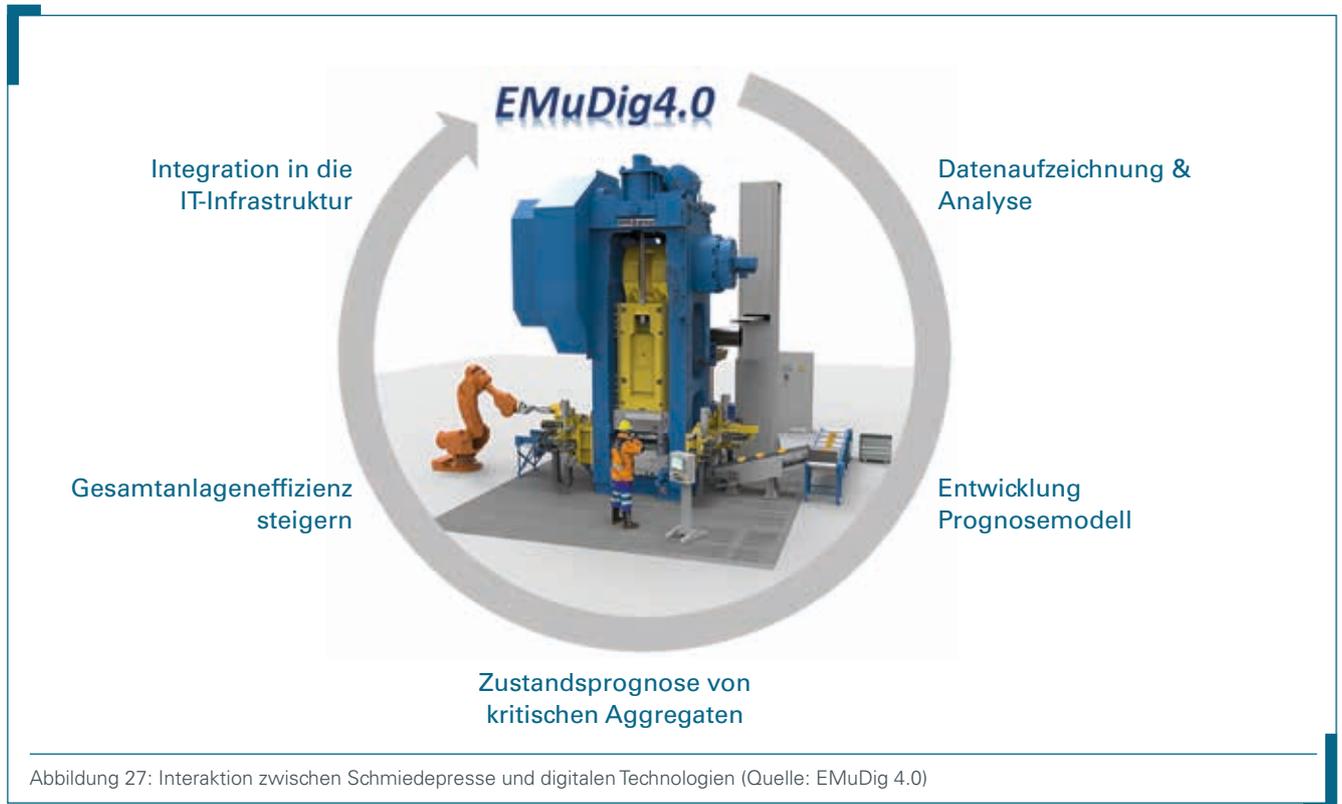
Derzeit werden die Datenaufzeichnungen analysiert. Anschließend erfolgt die Dateninterpretation und die Ermittlung von Schwellenwerten in bilateralen Workshops zwischen Industrie und Forschung. Die Zuordnung von Signalverhalten zu ausfallrelevanten Ereignissen bildet die Grundlage für das zu entwickelnde Prognosemodell. Ziel ist es, die Gesamtanlageneffektivität der Schmiedepressen durch die Vermeidung ungeplanter Anlagenstillstände signifikant zu erhöhen. Der Fokus liegt dabei auf den relevantesten Ursachen für Verfügbarkeitsverluste.

Im Rahmen der an der Universität Stuttgart durchgeführten Studien zu Umformprozessen wurde gezeigt, dass eine ununterbrochene und automatisierte Rückverfolgung von einzelnen Aluminiumteilen in der gesamten Prozesskette durch Lasermarkierung prinzipiell möglich ist. Die Stahlteile erfordern die Entfernung der Zunderschicht vor der Beschriftung.

Die Fachhochschule Südwestfalen konnte im Rahmen der Arbeiten zu den Produktionswerkzeugen die theoretischen Grundlagen für eine Erhöhung der Werkzeugstandmengen durch Reduzierung der Standmengenstreuung legen. Hierzu zählen insbesondere die Objektivierung des Standmengenendes und die Entwicklung eines digitalen Werkzeugpasses zur Erfassung der Werkzeuglebensgeschichte entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Das Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme erarbeitete ein Konzept zur datengetriebenen Bauteilrückverfolgung. Dieses beinhaltet eine automatisierte Datenintegration auf Basis eines ETL-Stacks, die Zuordnung von Prozess- und Bauteilinformationen mithilfe einer multidimensionalen Datenmodellierung sowie eine webbasierte Ergebnisvisualisierung.

Im ZIH wurde auf Basis der im Projekt vorliegenden Anforderungen ein Konzept für eine Factory Cloud erstellt. Diese ermöglicht, statistische Datenanalysen für verschiedene Produktionsketten variabel einzusetzen. Um die Daten der Produktionsketten im IT-Sinne sicher analysieren zu können, wurde ein entsprechender Workflow definiert und vorbereitet.



Konsortium

OTTO FUCHS KG (Konsortialführer), Hirschvogel Automotive Group, SMS group GmbH, FH Südwestfalen – Labor für Massivumformung, Universität Stuttgart – Institut für Umformtechnik und Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme, TU Dresden – Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen (ZIH)

Ansprechpartner

Lukas Kwiatkowski, OTTO FUCHS KG
 Lukas.Kwiatkowski@otto-fuchs.com

INTEGRATE

Offene Plattform für kooperatives Engineering



Kurzsteckbrief

Im Projekt INTEGRATE wird eine offene Plattform für unternehmens- und herstellerübergreifendes kooperatives Engineering entwickelt. Alle an einem Produktionsprozess beteiligten Engineering-Werkzeuge können über die Plattform sicher und synchron Daten austauschen, Drittanbieter können eigene Dienste anbieten und integrieren. Grundvoraussetzungen wie Datensicherheit und Rechtemanagement werden von der Plattform gesteuert. Der Entwurfsprozess soll so deutlich flexibler und schneller werden.

www.integrate.ovgu.de

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Innerhalb der ersten Projektphase wurden wesentliche Anforderungen an die INTEGRATE-Plattform gesammelt und priorisiert. Hierzu fand eine detaillierte Analyse von Entwurfsprozessen für Produktionsanlagen statt, bei der sowohl eine akademische Betrachtung als auch die Aufnahme von realen Prozessen durchgeführt wurden. Als Ergebnis konnten typische Szenarien aufgestellt werden, die durch die INTEGRATE-Plattform unterstützt werden müssen, um das Engineering von Anlagen zu ermöglichen, die die Fähigkeit besitzen, sich sowohl vertikal als auch horizontal in Industrie-4.0-Umgebungen zu integrieren. Dabei wurde deutlich, dass bei der vertikalen und horizontalen Integration für alle Beteiligten an der Wertschöpfungskette mindestens keine Verschlechterung der wirtschaftlichen und technischen

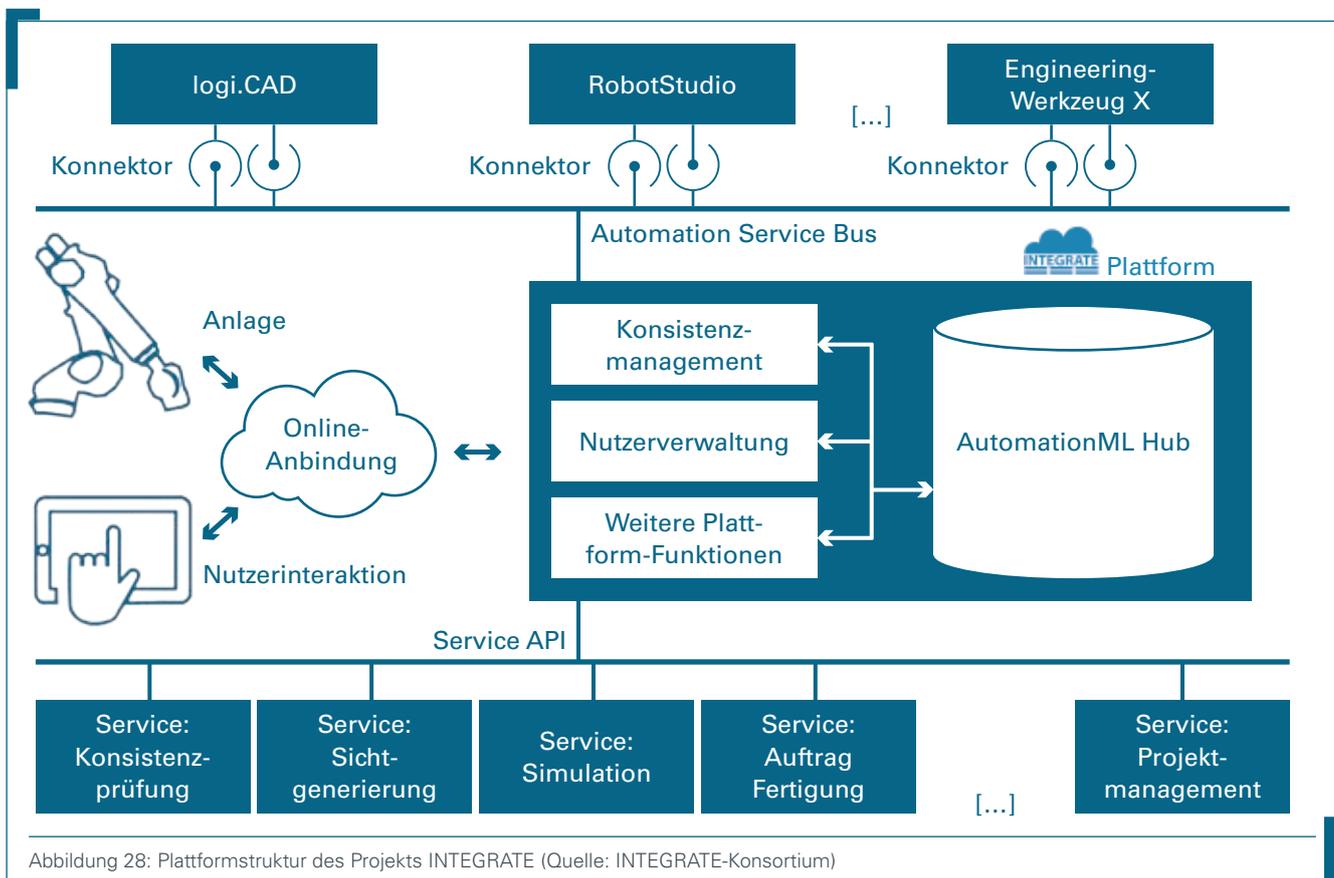


Abbildung 28: Plattformstruktur des Projekts INTEGRATE (Quelle: INTEGRATE-Konsortium)

Rahmenbedingungen, besser eine Win-win-Situation erreicht werden muss. Andernfalls besteht das Risiko, dass die betreffenden (Teil-)Leistungen vom Markt genommen werden.

Weitere Betrachtungsschwerpunkte waren der Informationsfluss innerhalb der Planungsprozesse und die Abhängigkeit von Planungsinformationen untereinander. Im Fokus stand dabei, welche Informationen (beispielsweise Fähigkeiten, Abmaße, Schnittstellen) bereits im Engineering berücksichtigt werden müssen, um Industrie-4.0-Komponenten in frühen Phasen der Planung zu berücksichtigen. Diese aus der Analyse gewonnenen Erkenntnisse waren die Grundlage für den Anforderungskatalog an die INTEGRATE-Plattform. Dieser definiert unter anderem die Zugriffsprozesse und Schnittstellen über die Engineering-Werkzeuge auf die Plattform.

Neben der technischen Arbeit wurden die durch das INTEGRATE-Konsortium aufgestellten Wertschöpfungsszenarien analysiert, um das ökonomische Potenzial zu bewerten. Hierbei konnten verschiedene Geschäftsmodelle identifiziert werden, die mithilfe der INTEGRATE-Plattform realisiert werden können (siehe Abbildung 28).

Parallel zu den analytischen Arbeiten wurde ein erster Demonstrator für den angestrebten Datenaustausch von den Konsortialpartnern ABB und logi.cals entwickelt. Die Präsentation dieses ersten Projektergebnisses fand im Oktober 2017 auf dem 4. AutomationML PlugFest statt.

Weiterhin konnten auf dem PlugFest erste Mitglieder für die „INTEGRATE Industrial Interest Group – I3G“ gewonnen werden. Die I3G ist ein Angebot an interessierte Unternehmen, sich über aktuelle Ergebnisse zum Projekt zu informieren und eigene Bedarfe an das Projekt zu adressieren. Das offizielle Kick-off-Treffen der I3G fand auf der SPS/IPC/Drives 2017 statt. Den Mitgliedern der I3G wird ein Zugang zum Cloud-basierten AutomationML.hub, einer Basiskomponente der INTEGRATE-Plattform, zur Erprobung zugänglich gemacht. An diesem können aktuelle Entwicklungen im Projekt durch die potenziellen Nutzer frühzeitig getestet werden.

Konsortium

inpro Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH (Konsortialführung), FZI Forschungszentrum Informatik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, ABB AG, logi.cals automation solutions & services GmbH

Ansprechpartner

Daniel Wolff, inpro mbH
daniel.wolff@inpro.de

VariKa



Vernetztes Produkt- und Produktions-Engineering am Beispiel variantenreicher Fahrzeugkarosserien

Kurzsteckbrief

Elektrifizierte Fahrzeuge werden heute mit zahlreichen Individualisierungsmöglichkeiten angeboten. Diese Optionen haben zum Beispiel Einfluss auf den Bauraum der Batterie – so braucht ein hybrid angetriebenes Fahrzeug einen anderen Batterieträger als ein rein batterieelektrisch betriebenes Fahrzeug. Im Projekt VariKa werden am Beispiel eines variantenreichen Batterieträgers und der zugehörigen Prozesskette Methoden entwickelt, um eine Schwingfestigkeitsbewertung an additiv gefertigten Bauteilen unter Berücksichtigung der Fertigungseinflüsse sowie die Bewertung von Schweißverbindungen zwischen additiv gefertigten Knoten und Metallprofilen durchführen zu können. Eine Bewertung von einfachen crashartigen Belastungen rundet die Methodenentwicklung ab. Dadurch soll die wirtschaftliche Fertigung geringer Stückzahlen ermöglicht werden. Demonstrator ist ein Batterieträger in Mischbauweise aus bearbeiteten Halbzeugen und 3D-gedruckten Verbindungselementen.

www.varika.de

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

VariKa demonstriert die Potenziale der additiven Fertigung in Kombination mit vorrichtungslösem Fügen zur Fertigung von Fahrzeugkomponenten. In der ersten Projektphase wurde ein Batterieträger als Beispiel-Applikation detailliert und die CAE-Kennwertermittlung für Additive-Manufacturing-(AM-)Bauteile vorbereitet.

Dazu erfolgte die Spezifikation der Systemgrenzen zwischen Träger, Batterie und Fahrzeugumgebung. Maßgebliche Kriterien sind:

- Position des Trägers und der Träger-Befestigungspunkte in der Fahrzeugumgebung
- Skalierbarkeit der Batterieträger-Länge zur Aufnahme von ein bis drei Batteriepaketen
- Vorteilhafte Kombination der „Stärken beider Welten“ durch Minimierung der AM-Knotenabmessungen und Maximierung der Profillängen
- Erarbeitung eines Toleranz- und Fügekonzeptes für ein Minimum an Nacharbeiten an den Strukturknoten und Profilabschnitten
- Maximale Funktionsintegration, insbesondere in den additiv gefertigten Strukturknoten, als Treiber für mehr Wirtschaftlichkeit.

Im weiteren Projektverlauf werden technologische Randbedingungen und wirtschaftliche Gesichtspunkte mit dem Ziel maximaler Ausnutzung des AM-Bauraums kontinuierlich abgewogen. So könnten nach Modifikation der Bauteilgestalt zum Beispiel mehrere Strukturknoten im Bauraum des AM-Druckers positioniert werden, wodurch die Fertigungskosten für den einzelnen AM-Knoten sinken.

Das Ergebnis einer ersten Topologie-Optimierung der AM-Knoten zeigt das große Einsparpotenzial an Material durch die Anwendung dieser am Kraftfluss orientierten Optimierungstechnik (siehe Abbildung 29).

In Vorbereitung der Kennwertermittlung wurde ein Versuchsplan erstellt und der Bedarf an Probekörpern abgeleitet. Im ersten Batch wurden 128 Probekörper für zyklische Schwingfestigkeitsversuche gefertigt und hinsichtlich Abmessung und Orientierung im Bauraum variiert. Die Hälfte der Proben wurde im Anschluss spannungsarm gegläht, der Rest blieb im additiv

gefertigten Ausgangszustand. Nach Entfernung von Stützstrukturen blieben porenartige Fehlstellen an den Anbindungsstellen zu den Proben zurück, sodass diese Proben unter besonderen Vorkehrungen geprüft werden müssen, um nicht nur die Fehlstellen anzusprechen. Die Charakterisierung der Probenoberfläche erfolgt mithilfe einer Rauigkeitsanalyse. Im weiteren Verlauf sollen auch Korrelationen zwischen Oberfläche und Schwingfestigkeit ermittelt werden. Die Geometrie der Proben, hier speziell der Verzug und die Abweichung von der geplanten Gestalt, wurde durch eine Laserabtastung ermittelt und dokumentiert. Zusätzlich wurden im gleichen Batch Probewürfel zur Qualitätskontrolle des Bauprozesses, zur Bestimmung der inneren Struktur des gedruckten Materials und zur späteren Dichtebestimmung der gedruckten Proben gefertigt. Die Dichtebestimmung mittels Lichtmikroskop hat bereits begonnen.

Gleichzeitig wurde ein Prüfstand aufgebaut sowie Einspannbacken und Knickstützen gefertigt. Begonnen wurde außerdem mit sogenannten Incremental-Step-Tests, mit denen grundlegende zyklische Werkstoffeigenschaften ermittelt werden können.

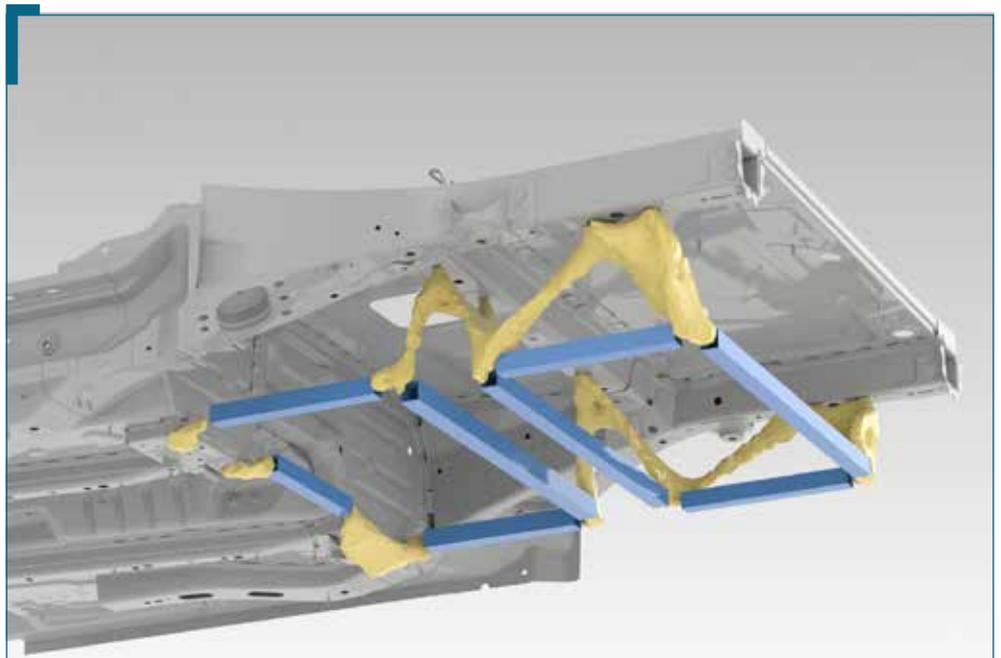


Abbildung 29: Einsparpotenzial durch Topologieoptimierung bei den Additive-Manufacturing-Bauteilen (Quelle: Opel Automobile GmbH)

Konsortium

EDAG Engineering GmbH (Konsortialführer), Opel Automobile GmbH, FFT Produktionssysteme GmbH & Co. KG, FKM Sintertechnik GmbH, Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Ansprechpartner

Martin Hillebrecht, EDAG Engineering GmbH
martin.hillebrecht@edag.de

5 Cluster Logistik

Logistiknetzwerke in der Fertigung

Auch in der digital vernetzten Fertigung müssen Rohstoffe, Werkstücke und Produkte zu den Produktionsstätten, zwischen ihnen und zu den gewerblichen oder privaten Kunden bewegt werden. In vielen Industrie-4.0-Konzepten spielt die Logistik daher eine wichtige Rolle. In PAiCE befassen sich zwei Projekte mit diesem Thema: iSLT.NET und SaSCh. Sie beschäftigen sich mit der Konzeption und der Erprobung von IT-gestützten Logistiknetzwerken für die Fertigung.

5.1 Marktanalyse

Die Logistik, das heißt die Lagerung und der Transport von Gütern, nimmt in der Fertigung eine wichtige Rolle ein. Je nach Branche liegt der Anteil der Logistikkosten bei bis zu 16 Prozent.³⁵ Betriebswirtschaftliches Ziel ist es in der Regel, die Kosten möglichst zu senken, ohne die Versorgungssicherheit und die Produktionsabläufe zu gefährden. Prototypisch stehen dafür seit Langem erprobte Konzepte wie „just-in-time“, also die Anlieferung des Guts an die Produktionsstätte zu genau dem Zeitpunkt, an dem es im Produktionsprozess benötigt wird, oder „just-in-sequence“, also die Anlieferung von Gütern in genau der Reihenfolge, wie sie für eine Fertigung von individualisierten Produkten erforderlich ist.

Der hohe Kostendruck im Wettbewerb und der Wunsch vieler Unternehmen nach einem größeren Outsourcing von Logistikaktivitäten haben dazu geführt, dass viele Logistikdienstleister über direkt beauftragte Transporte und Lagerungen hinaus Mehrwertdienste anbieten. Das können einfache Montage- und Konfektionsarbeiten sein, aber auch die eigenständige Planung und Steuerung von Logistikprozessen. In der Fachliteratur hat sich dafür der Begriff der Kontraktlogistik bzw. der Third Party Logistics (3PL) eingebürgert. Der reine Auftragsdienstleister für Transport und Lagerung wird dann gelegentlich als 2PL bezeichnet und der Logistikdienstleister, der über keine eigenen Logistikmittel mehr verfügt, sondern die Ressourcen von Dritten nutzt, als 4PL.³⁶ Das Leistungsversprechen dieser Konzepte sind Skaleneffekte und Rationalisierungsgewinne aufgrund des spezialisierten Logistik-Know-hows der Dienstleister. Typische 4PL-Angebote sind etwa die Übernahme des Logistikmanagements durch einen Dienstleister, der selbst nicht über Logistikressourcen besitzt, die Vermittlung von Versendern und Logistikdienstleistern über Marktplätze für Frachten oder die Bereitstellung von IT-Infrastrukturen für das unternehmensübergreifende Logistikmanagement. 3PL- und 4PL-Konzepte setzen auf einem umfassenden IT-Einsatz für die Planung und Steuerung der Logistikprozesse auf. Für die Umsetzung von Industrie 4.0 ist die Kontraktlogistik damit ein zentrales Element.

Die Kosten für Leistungen der industriellen Kontraktlogistik liegen in Deutschland bei 74 Mrd. EUR³⁷ (Stand 2016), in Europa bei 430 Mrd. EUR³⁸. Die Bedeutung Deutschlands für das produzierende Gewerbe überträgt sich damit, wenig überraschend, auch auf die Logistik. Weltweit liegen die großen Märkte für die Kontraktlogistik, zu der neben den Verkehren für die Industrie auch die Transporte für den Handel stehen, neben Europa in Nordamerika, hier insbesondere in den USA, und in Südostasien, hier insbesondere in China.³⁹

35 Ulrich Berbner und Henning Witte: 4th Party Logistics – Chancen und Herausforderungen, Hg. KPMG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft und Technische Universität Darmstadt, 2014.

36 Die Begriffe 2PL, 3PL und 4PL werden in der Literatur unterschiedlich definiert.

37 Martin Schwemmer: TOP 100 der Logistik 2016/2017. Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer. Eine Studie der Fraunhofer Arbeitsgruppe für Supply Chain Services, DVV Media, 2016.

38 Martin Schwemmer: TOP 100 in European Transport and Logistics Services. A study by Fraunhofer Center for Applied Research on Supply Chain Services, DVV Media, 2017.

39 Armstrong & Associates: Global 3PL Market Size Estimates, 2017. Online abrufbar unter www.3plogistics.com/3pl-market-info-resources/3pl-market-information/global-3pl-market-size-estimates/ (zuletzt abgerufen am 24.11.2017). Die Zahlen schließen neben der industriellen Kontraktlogistik auch die Logistik von Konsumgütern ein.

Im produzierenden Gewerbe werden die typischen Leistungen der Kontraktlogistik sowohl in Deutschland als auch in Europa zu etwa 25 Prozent nicht werksintern, sondern von externen Dienstleistern durchgeführt. Die Nachfrage kommt überwiegend aus dem Automobilbau, der Holz-, Glas- und Kunststoffindustrie, der chemischen Industrie und den Herstellern von Maschinen und Metallen. Führende Anbieter sind in Deutschland die Deutsche Bahn inklusive DB Schenker, Imperial Logistics, Schnellecke und VW Original Teile Logistik. Des Weiteren gibt es eine Reihe von Speditionsunternehmen, die dieses Marktsegment neben anderen Geschäftsfeldern bedienen.⁴⁰ Generell sehen Marktexperten in der Kontraktlogistik für Handel und Industrie, einschließlich der assetfreien 4PL-Konzepte, eines der Wachstumspotenziale für Logistikdienstleister. Das gilt umso mehr, als viele Logistikdienstleister bei den einfachen Transport- und Lagerleistungen unter hohem Kostendruck stehen. Das trifft insbesondere auf die Straßenverkehre zu, in denen vor allem osteuropäische Speditionen im liberalisierten Dienstleistungsmarkt der Europäischen Union mit ihren geringeren Personalkosten einen bedeutenden Wettbewerbsvorteil haben.

Die Logistikbranche unterliegt aber nicht nur einem hohen Kostendruck, sondern wird – wie andere Wirtschaftszweige auch – von Globalisierung und Digitalisierung vorangetrieben. Zu den großen Trends gehören neben der zunehmenden Bedeutung der Nachhaltigkeit in logistischen Konzepten und dem sich deutlich abzeichnenden Mangel an Fach- und Führungspersonal drei für PAiCE höchst relevante Themen⁴¹:

- **Wachsende Flexibilität und Komplexität der Lieferkette:** Kürzere Produktlebenszyklen, die Individualisierung von Produkten gemäß den Bedarfen der gewerblichen und privaten Kunden sowie das wachsende Angebot an Zulieferern erfordern eine höhere Agilität der Produktionsnetzwerke. Das kann bis zur Rückholung und Regionalisierung zumindest der Endfertigung reichen. Damit steigen auch die Anforderungen an die Logistikdienstleister: die Lieferbeziehungen werden kurzfristiger, die Transporte kleinteiliger, die Lagerkonzepte dezentraler.
- **Zunehmende Digitalisierung und Transparenz der Lieferkette:** Um an die Digitalisierung der Geschäftsprozesse anzuschließen und um die wachsende Flexibilität und Komplexität der Lieferkette zu beherrschen, verlangen viele Industriekunden einen durchgehenden digitalen Informationsfluss in der Logistik, der eine hohe werks- und unternehmensübergreifende Transparenz des Warenflusses gewährleisten soll.
- **Plattformbetreiber als neue Akteure:** Häufig kommen die Betreiber von digitalen Logistikplattformen, seien es Marktplätze für Frachten oder IT-Infrastrukturen für das Management von Logistikprozessen, nicht aus der Branche selbst, sondern aus der IT und der Automatisierungstechnik. Bei den Marktplätzen handelt es sich dabei vor allem um Start-ups (dazu mehr im nächsten Abschnitt); bei den Systemen für das Prozessmanagement um etablierte Unternehmen wie SAP, Microsoft, General Electric oder Bosch. Damit treten ganz neue Akteure in den Wettbewerb ein. Viele Logistikdienstleister befürchten, dass ihnen durch solche Plattformen der direkte Kontakt zu den Industriekunden eingeschränkt wird oder sogar ganz verloren geht.

5.2 Start-up-Umfeld

In den letzten Jahren ist weltweit ein starker Anstieg bei der Anzahl und den Finanzierungsvolumina von Logistik-Start-ups zu verzeichnen. Das 2013 gegründete US-Unternehmen Flexport etwa vermittelt Unternehmen über ein Online-Dashboard Logistikleistungen von Partnern,

40 Schwemmer: TOP 100, 2016 (siehe Fußnote 39); Schwemmer: TOP 100, 2017 (siehe Fußnote 40).

41 In Anlehnung an: Wolfgang Kersten u. a.: Trends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management – Chancen der digitalen Transformation, Hg. Bundesvereinigung Logistik, DVV Media, 2017, sowie an: Klaus van Marwyk und Sascha Treppte: Logistics Study on Digital Business Models. Results, Hg. Roland Berger, 2016.

vorwiegend für die See- und Luftfracht. Das noch überwiegend in den USA tätige Start-up hat seit 2014 insgesamt 204 Mio. USD Finanzierungskapital erhalten. Mit großen Summen finanziert werden derzeit auch andere Unternehmen, die Online-Plattformen anbieten. Neben Flexport sind das zum Beispiel auch der deutsche Frachtvermittler FreightHub, der unter anderem von Rocket Internet mit 3 Mio. EUR finanziert wurde. Zuspruch finden auch Plattformen für die Datenanalyse, wie die mit 20 Mio. EUR finanzierte norwegische Xeneta, die Versendern und Reedereien detaillierte Analysen von Frachtraten im Markt ermöglicht.

Insgesamt erhält ein Großteil der softwarebasierten Logistik-Start-ups substantielle Finanzierungen aus den USA, Europa und Asien (siehe Abbildung 30). Dabei spielen neben den USA, China, Deutschland und Frankreich vor allem solche Nationen eine Rolle, die auch über eine größere Industrieproduktion verfügen. Weil in den USA die Risikokapitalfinanzierung traditionell stark ausgeprägt ist, ist auch der durchschnittliche Betrag der Finanzierungen pro Unternehmen in Nordamerika mit 6,68 Mio. EUR höher ist als in Asien (5,92 Mio. EUR) und Europa (4,66 Mio. EUR).

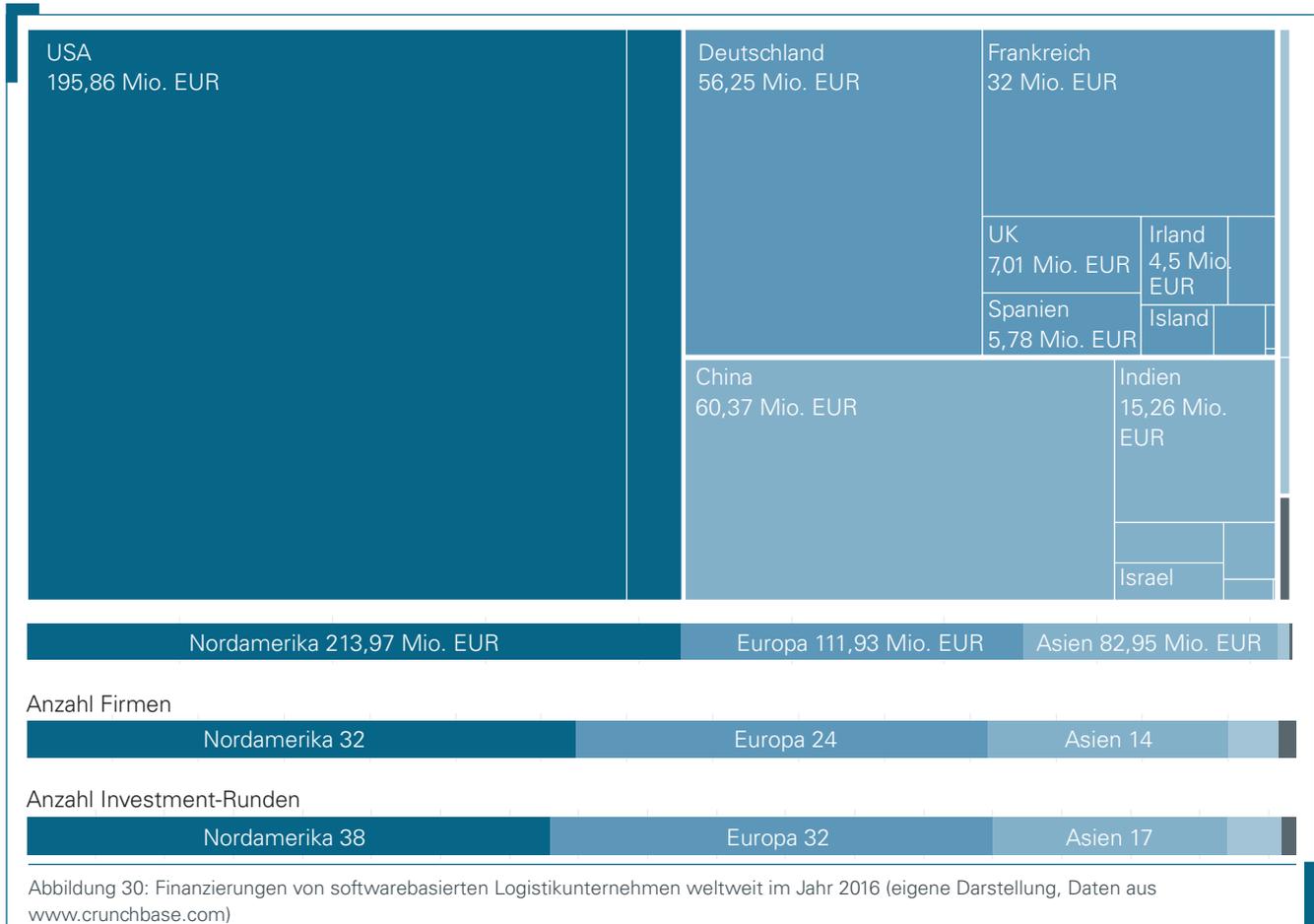


Abbildung 30: Finanzierungen von softwarebasierten Logistikunternehmen weltweit im Jahr 2016 (eigene Darstellung, Daten aus www.crunchbase.com)

Die thematische Bandbreite der Gründungsunternehmen in der Logistik geht aber weit über Plattformen und Datenanalysen hinaus. Eine Zusammenstellung der Unternehmensberatung Oliver Wyman nennt für Deutschland, Österreich und die Schweiz bei 42 Logistik-Start-ups weitere Themen wie Robotik und autonome Lkw, Versand und Nachverfolgung sowie das Asset Management (Stand 2016).⁴² Im Einzelfall kann die Zuordnung eines Start-ups

⁴² Oliver Wyman: Logistik-Start-ups in Deutschland, Österreich und der Schweiz, 2016. Pressegrafik zur Pressemitteilung „Start-ups rollen Logistikbranche auf“ 3.1.2017 (<http://www.oliverwyman.de/media-center/2017/Start-ups-rollen-Logistikbranche-auf.html>), zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

zur Logistikbranche aber schwerfallen. So bietet das Gründungsunternehmen Kinemic etwa eine Gestensteuerung für den industriellen Einsatz an, die sowohl in der Montage als auch bei der Kommissionierung einsetzbar ist.

Deutsche Logistikunternehmen engagieren sich zurzeit nur verhalten bei Start-ups. Engagements wie dasjenige von DHL bei der Frachtbörse Saloodo und beim E-Fahrzeugbauer Streetscooter oder von DB Schenker bei der Online-Frachtbörse uShip sind bislang noch eher die Ausnahme. Mittlerweile haben aber auch erste Unternehmen aus der Logistikbranche eigene Acceleratoren gegründet und folgen damit Vorbildern aus anderen Branchen. Solche Logistik-Acceleratoren sind in Deutschland der DB Accelerator der Deutschen Bahn, der Next Logistics Accelerator, getragen von der Logistik-Initiative Hamburg und der Hamburger Sparkasse, sowie Beyond1435, ein gemeinsamer Accelerator von Alba, Bombardier, Deutsche Bahn, Plug and Play, Siemens, SBB und TUI.

5.3 Stand der Technik

Insbesondere für die Mehrwertdienste der 3PL- und 4PL-Konzepte spielt die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) bereits heute eine entscheidende Rolle. Akzeptanz und Verbreitung der einzelnen IKT-Technologien in der Logistik unterscheiden sich aber je nach Bereich deutlich.⁴³

Zentrale ERP- und Lagermanagementsysteme sind in der Logistikwirtschaft Stand der Technik. Dasselbe gilt für Logistikplanungssysteme. Cloud-Technologien (Software-as-a-Service, Infrastructure-Service, Infrastructure-as-a-Service, Platform-Service, Platform-as-a-Service) sind ebenfalls bewährt und werden auch zunehmend in der Praxis eingesetzt. Cloud-Systeme bilden in der Regel auch die technische Basis für die schon erwähnten Logistikplattformen, das heißt Online-Marktplätze oder Middleware-Systeme für das Management von Logistikprozessen, die in der Praxis zunehmend wichtiger werden. Anspruchsvoll ist nach wie vor die Optimierung von sehr großen Logistiknetzwerken, insbesondere wenn die verschiedenen Planungsebenen miteinander verknüpft werden sollen: die strategische Planung des Netzes selbst, die taktische Planung der grundsätzlichen Logistikprozesse und die operative Planung der tatsächlichen Prozesse. Optimierungsverfahren für sehr große Netzwerke oder Verfahren, die mehrere Planungsebenen einbeziehen, sind gegenwärtig noch ein Thema der angewandten Forschung in der Mathematik.

Technologien zur Datenerfassung von Waren, Behältern und Transportmaschinen (Barcode, 2D-Code und RFID für die Identifikation, Lokalisierung über Satelliten, Sensoren zur Zustandsüberwachung) sind seit Langem erprobt und befinden sich bereits vielfach im Einsatz.

Eine Herausforderung bleibt die Indoor-Navigation, etwa in Lagerhallen, da Satellitensignale in Industriegebäuden kaum zu empfangen sind. Für die Lokalisierung in Gebäuden gibt es zwar zahlreiche technische Ansätze wie WLAN-Karten oder Beacons. Sie sind aber häufig in den für die Funkkommunikation schwierigen Industrieräumen wenig verlässlich oder setzen eine sehr umfangreiche und teure Infrastruktur voraus.

Datenanalyse wie die prädiktive Analyse zur Vorhersage von zukünftigen Nachfragen und die prädiktive Wartung zur Prognose der Ausfälle von Komponenten und Maschinen sind im produzierenden Gewerbe (und im Handel) bekannte und bereits erprobte Konzepte. Auch für Logistikdienstleister könnten prädiktive Analysen ein sehr nützliches Optimierungsinstru-

⁴³ Dieser Abschnitt lehnt sich an Kersten, 2017 (siehe Fußnote 43), an.

ment sein. Die bei Transport und Umschlag anfallenden Datenmengen würden bei entsprechenden Analysen ermöglichen, schon frühzeitig mit der Planung der Bereitstellung von Logistikressourcen zu beginnen oder Störungen in den Logistikprozessen bereits in ihren Anfängen zu erkennen. Angesichts des Umfangs der Datenmengen wären Methoden des Deep Learning und des Machine Learning für diese Aufgabe besonders geeignet. Hier fehlt es aber noch an logistikspezifischen KI-basierten Methoden der prädiktiven Analyse.

Bei den Assistenzsystemen sind mobile Geräte für die Mitarbeiter bereits sehr weit verbreitet. Die licht- oder sprachgesteuerte Kommissionierung (pick-by-light, pick-by-voice) sind erprobte, aber noch relativ wenig verbreitete Konzepte. Für am Körper tragbare Endgeräte (Wearables) wie Smartwatches sowie für Augmented-Reality-Lösungen, heute typischerweise eine Datenbrille, gibt es schon technisch valide Konzepte, reale Praxiseinsätze sind aber noch selten. Größte Herausforderung derzeit ist die Steuerung der Geräte über Sprache oder Gesten. Problematisch sind die oft lauten und für die Gestenerkennung ungünstig beleuchteten Industrieumgebungen.

5.4 FuE-Entwicklungen

Neben den beschriebenen, sich mittlerweile evolutionär weiterentwickelnden IKT-Technologien gibt es zwei FuE-Entwicklungen, denen Experten das Potenzial für disruptive Entwicklungen in der Industrielogistik zusprechen: Autonome Fahrzeuge, insbesondere Lkw, eröffnen die Möglichkeit, die Fahrer bei eintönigen Tätigkeiten, vor allem bei Autobahnfahrten, zu entlasten oder sie sogar ganz einzusparen. Vor allem Letzteres wäre angesichts des sich abzeichnenden Fahrermangels für die Branche von hoher Bedeutung. Fahrerassistenzsysteme sind gerade bei Lkw schon weit verbreitet, und mehrere Lkw-Hersteller arbeiten auch an autonomen Trucks. Wie schnell und in welchem Umfang der fahrerlose Lkw realisiert werden kann, ist aber noch nicht absehbar – so wenig wie für das autonome Fahren insgesamt. Eine bereits jetzt prototypisch realisierte Zwischenstufe ist das Platooning, bei dem mehrere fahrerlose Lkw auf der Autobahn einem von einem Menschen geführten Fahrzeug folgen. Auf nicht öffentlich zugänglichen Geländen wie Baustellen und Werksgeländen ist das autonome Fahren von Großfahrzeugen bereits häufiger prototypisch erprobt worden, in ersten Minen werden bereits autonome Lkw eingesetzt.⁴⁴

Die größte Disruption der Logistikbranche durch die Informationstechnik wird aber nicht so sehr durch technische Neuerungen als vielmehr vor allem durch eine Prozessinnovation erwartet: die digitalen Plattformen. Während sich die Online-Marktplätze für Frachten, wenn auch in geringem Maße, etabliert haben und keine prinzipiellen technischen oder organisatorischen Fragen mehr aufwerfen, sieht das bei den Managementsystemen für Logistikprozesse noch anders aus. Diese Systeme werden direkt mit den realen Objekten in Produktions- und Logistikumgebungen verbunden, wobei eine hohe Zuverlässigkeit erforderlich ist. In konkreten Anwendungsbeispielen ist häufig doch noch über aufwendige Entwicklungsarbeiten sicherzustellen, dass gängige Daten- und Kommunikationsstandards eingehalten werden, Objekte tatsächlich automatisch identifiziert werden können und die Kommunikation den Vorgaben an Latenz und Bandbreite genügt. Die meisten deutschen Technologieprojekte zu Logistikplattformen, die überwiegend vom BMWi unterstützt werden, waren und sind daher anwendungsnah und realisieren jeweils einzelne Pilotvorhaben mit Vorbildcharakter für die jeweilige Branche. Dazu gehören unter anderem das frühere Projekt RAN (RFID based Automotive Network)⁴⁵ und aktuelle Projekte in PAiCE: iSLT.NET

44 In der Handelslogistik werden für die Überwindung der „letzten Meile“, das heißt für das letzte Wegstück zum Endverbraucher, für autonome Fahrzeuge ebenfalls große Potenziale gesehen, etwa für Paketdrohnen und fahrende Zustellroboter. Hier gibt es ebenfalls schon erste Prototypen. Die FuE-Herausforderungen liegen insbesondere in der Robustheit und der funktionalen Sicherheit der Geräte, die sich idealtypisch in offenen und herausfordernden Umgebungen bewegen sollen. Das sind bei den Paketdrohnen typischerweise unwegsame Gelände im Gebirge oder Seeinseln und bei den Zustellrobotern die Bürgersteige in Innenstädten.

45 www.autonomik.de/de/ran.php (zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

(Management von modularen Sonderladungsträgern)⁴⁶, SaSch (Verfolgung und Monitoring von Transportstücken in der Lieferkette)⁴⁷ und Add2Log (Fertigung von Ersatzteilen im 3D-Druck durch die ausliefernden Logistikdienstleister)⁴⁸. In diesen Projekten geht es neben Fragen der technischen Anpassung und Erweiterung auch darum zu erproben, welche Betriebs- und Geschäftsmodelle für die Plattformen geeignet sind. Bis auf die noch sehr generischen Muster von Geschäftsmodellen für Industrie 4.0, wie sie im Projekt GEMINI⁴⁹ entwickelt wurden, gibt es noch keine validen allgemeinen Aussagen zur betriebswirtschaftlichen Gestaltung solcher Netzwerke.

Die Förderung der meist evolutionären Weiterentwicklungen in technischen Teilbereichen, etwa der Sensorik oder der industriellen Funkkommunikation, finden vor allem über die Forschungsprogramme des BMBF statt, insbesondere über das Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“⁵⁰. Eine übergreifende Bedeutung hat das BMBF-Projekt Industrial Data Space⁵¹, in dem mehrere Fraunhofer-Institute eine Referenzarchitektur für einen „virtuellen Datenraum“ entwickeln, der von Unternehmen genutzt werden kann, um in gemeinsamen Wertschöpfungsnetzen Daten auszutauschen. Der Industrial Data Space hat das Potenzial zu einer „enabling technology“ für das Logistikmanagement zu werden, muss sich aber der Konkurrenz durch die zahlreichen proprietären Middleware-Systeme wie der Bosch IoT Cloud und Microsoft Azure stellen.

Auf europäischer Ebene beschäftigen sich zwei Projekte mit kooperativen Ansätzen in der Logistik. Im Projekt NexTrust⁵² mit 31 Partnern geht es vor allem um die Konsolidierung von Transporten, das heißt die Zusammenfassung von Lieferungen verschiedener Versender in einem Transport. Dafür werden organisatorische und technische Modelle für den Aufbau „vertrauenswürdiger Netzwerke“ aufgebaut und in Piloten erprobt. Das Projekt AOELIX⁵³ befasst sich mit der Konzeption und Erprobung einer übergreifenden IT-Plattform, die bestehende Logistikinformationssysteme integriert und damit die Entwicklung übergreifender IT-Lösungen für logistische Anwendungen erlaubt.

Viele Fachleute sehen auch Blockchains als eine Grundlagentechnologie für Logistikmanagement-Plattformen. Hauptargument ist, dass es hier mit den Smart Contracts eine dezentrale Infrastruktur gibt, die die digitalen Informationen zu Transaktionen fälschungssicher und transparent für alle macht, ohne dass es dafür einen vertrauenswürdigen Dritten geben muss.⁵⁴ Die Häfen Antwerpen und Rotterdam haben angekündigt, Blockchain-Technologien zu erproben und die Reederei Maersk hat bereits gemeinsam mit Microsoft einen Blockchain-Piloten für die Schiffsversicherung durchgeführt. Im Detail stellen sich aber durchaus noch herausfordernde Forschungsfragen: Wie soll das sehr aufwendige Mining der neuen Blöcke in der Blockchain gestaltet werden? Wie kann gewährleistet werden, dass trotz der Transparenz der Blockchain in ihr enthaltene vertrauliche Informationen nicht für alle Partner im System sichtbar sind? In der neuen Förderlinie „Zivile Sicherheit – Kritische Strukturen und Prozesse in Produktion und Logistik“ des BMBF werden auch solche Fragen adressiert.⁵⁵

5.5 Projekte des Clusters Logistik

Der Fortschritt der Förderprojekte iSLT.NET und SaSch seit Beginn des Technologieprogramms PAiCE wird auf den folgenden Seiten dargestellt.

46 www.project-islt.net (zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

47 www.sasch-projekt.de (zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

48 www.projekte.fir.de/add2log (zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

49 www.geschäftsmodelle-i40.de (zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

50 www.bmbf.de/de/innovationen-fuer-die-produktion-dienstleistung-und-arbeit-von-morgen-599.html (zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

51 www.industrialdataspace.org (zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

52 www.nextrust-project.eu (zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

53 www.aeolix.eu/ (zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

54 Niels Hackius und Moritz Pertersen: Blockchain in Logistics and Supply Chain: Trick or Treat?, in: Carlos Jahn u. a., Hg. Digitalization in Supply Chain Management and Logistics (= Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics, 23), 2017.

55 www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1402.html (zuletzt abgerufen am 21.12.2017).

iSLT.NET



Unternehmensübergreifendes Netzwerk für intelligente, modulare Sonderladungsträger

Kurzsteckbrief

iSLT.NET konzipiert, realisiert und evaluiert ein Netzwerk für intelligente, modulare Sonderladungsträger. Es entsteht eine unternehmensübergreifende, vernetzte IT- und Kommunikationsinfrastruktur, um mehr Transparenz über den Logistikprozess zu gewinnen. Außerdem werden neue Geschäftsmodelle für die Nutzung von Ladungsträgern entwickelt. Durch die Rekonfigurierbarkeit der Behälter entstehen innovative Betreibermodelle, wie beispielsweise Pooling oder Pay-per-Use.

www.project-islt.net

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Im Februar 2017 fiel der offizielle Startschuss für das Projekt iSLT.NET. Inzwischen konnte das Lastenheft für das geplante Netzwerk von modularen Sonderladungsträgern abgeschlossen werden (siehe Abbildung 31). Hierbei wurden Anforderungen an die Dienstleistungen, den Ladungsträger und seine Modularität, die Sensorik und die IT-Infrastruktur dokumentiert. Zudem wurden das Referenzeinsatzszenario bei den Anwendungspartnern Dräxlmaier und BMW für die prototypische Umsetzung und Evaluierung des iSLTs (intelligenter Sonderladungsträger) festgelegt. Auf dieser Basis konnte die gesamte Supply Chain des Sonderladungsträgers von Entwicklung, Herstellung, Einsatz und Management der beteiligten Unternehmen aufgenommen und die dafür anfallenden Kosten in einer Lebenszyklusberechnung dargestellt werden. Es kann festgehalten werden, dass die Anschaffungs-

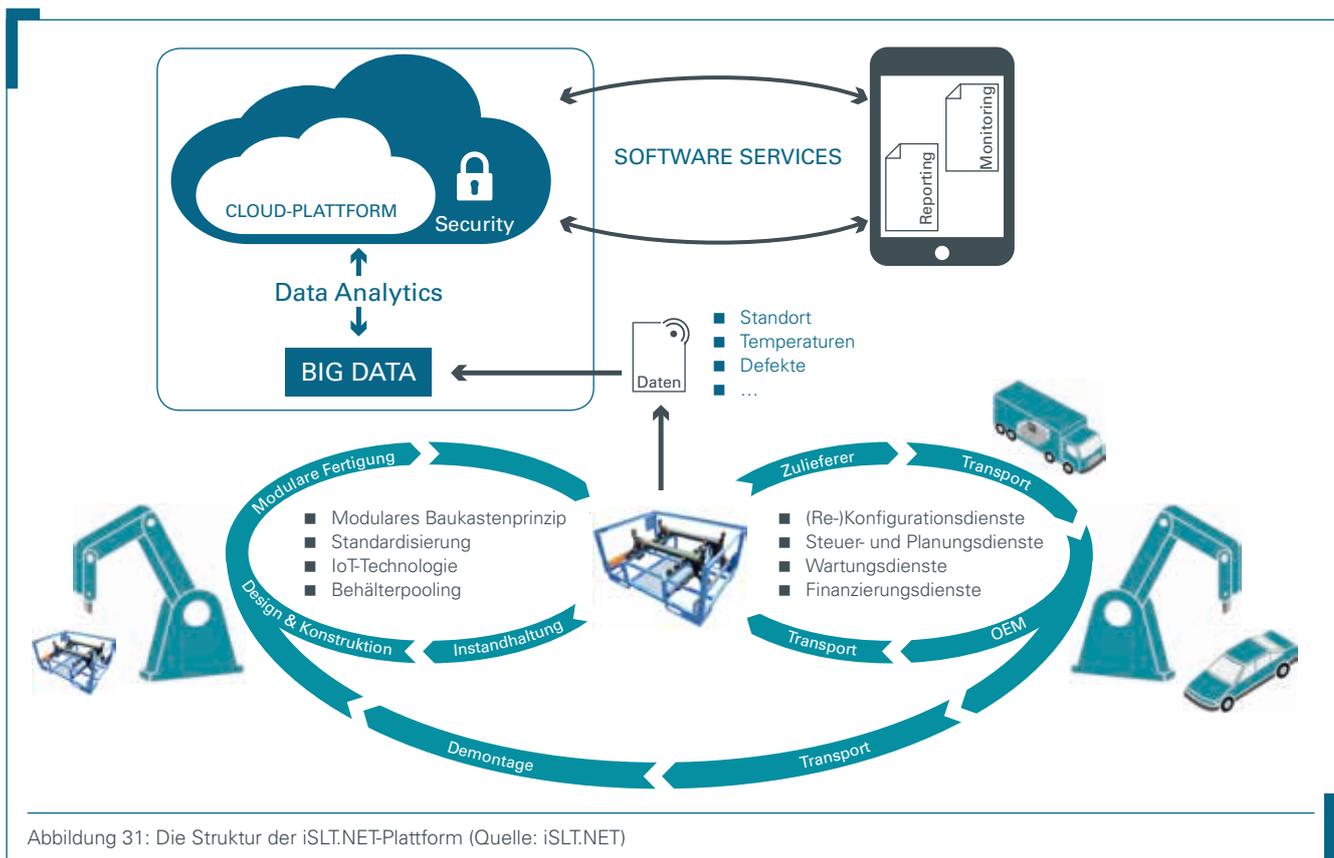


Abbildung 31: Die Struktur der iSLT.NET-Plattform (Quelle: iSLT.NET)

kosten eines Ladungsträgers nur in etwa ein Sechstel der gesamten Lebenszykluskosten über eine Laufzeit von sieben Jahren betragen.

In einem weiteren Schritt soll nun der Nutzen durch den Einsatz eines iSLTs qualitativ bewertet werden. Außerdem sollen die beeinflussbaren Positionen in der Lebenszyklusbetrachtung nach dem Prinzip des Target Costing kalkuliert werden. Dabei wurde das Geschäftsmodell des Behälterherstellers Gebhardt Logistic Solutions analysiert, um es danach über die gesamte Projektlaufzeit konzeptionell neu auszurichten und von einem Anbieter eines Produkts zu einem Anbieter von Dienstleistungen zu transformieren. Für die Neuausrichtung des Geschäftsmodells wurden unter anderem erarbeitete Dienstleistungen bewertet. Dabei konnte festgestellt werden, dass 13 von insgesamt 22 Dienstleistungen tatsächlich für die Anwendungspartner interessant sind und im Rahmen eines neuen Geschäftsmodells in Anspruch genommen würden. Diese sind in einem nächsten Schritt in Dienstleistungskonzepte zu konkretisieren und in Soll-Prozesse auszuarbeiten.

Für kritische und für den Erfolg des künftigen Geschäftsmodells maßgebliche Themen wie das Erarbeiten von Modularitätskonzepten von Ladungsträgern ist die Abnahme Anfang 2018 geplant. Auch die Auswahl der Sensorik wird Anfang 2018 stattfinden. Bestehende Technologien, die die im Lastenheft dokumentierten Anforderungen erfüllen, sind unter anderem Telematik, LPWAN, WiFi/WLAN und Bluetooth. Teilweise werden zu den genannten Technologien bereits Tests durchgeführt oder befinden sich in Planung. Die finale Abnahme der jeweiligen Meilensteine und die Entscheidung für die Sensorik bzw. das Modularitätskonzept erfolgt durch den Lenkungskreis der Projektpartner.

Im März 2017 wurde das Projekt iSLT.NET auf der Logistikmesse Logimat in Stuttgart vorgestellt. Im November 2017 wurde das Projektvorhaben, insbesondere der Wandel des Geschäftsmodells, auf dem Digital Day in Fulda präsentiert. Im Dezember 2017 hat das Projekt iSLT erste Ergebnisse in der Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb ZWF publiziert.

Konsortium

GEBHARDT Logistic Solutions GmbH (Konsortialführer),
Dräxlmaier Industrial Solutions GmbH, BMW Group,
Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services,
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Landshut
– Professur für Produktionsmanagement und Logistik,
TU München – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss
Logistik

Ansprechpartner

Martin Graßl, GEBHARDT Logistic Solutions GmbH
mgrassl@gebhardt.eu

SaSCh

Digitale Services für vernetzte Lieferketten



Kurzsteckbrief

Im Projekt SaSCh wird ein System für eine intelligente, vernetzte Lieferkette entwickelt, die qualitäts- und zustandsrelevante Daten durchgängig erfasst. Weiterhin kommen mobile und stationäre Sensoren zum Einsatz. Basierend auf den gesammelten Daten werden digitale Services für die beteiligten Unternehmen bereitgestellt, die es ermöglichen, Transportprobleme frühzeitig zu erkennen und Hilfestellungen zu liefern. Das Ziel sind schlanke und robuste Lieferketten ohne Sondertransporte, Nacharbeiten, Produktionsstillstände und Rückrufaktionen.

www.sasch-projekt.de

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Zur Entwicklung des SaSCh-Konzepts einer agilen Supply Chain wurden für die Anwendungsszenarien die Anforderungsanalyse und Lastenhefterstellung durchgeführt. Die Szenarien decken die Qualitätssicherung bei der Produktion sowie den mit Sensoren überwachten Straßen- und Seetransport von Zulieferteilen zu einem Autowerk in den USA ab (siehe Abbildung 32). Analysen und Lastenheft beinhalteten die Aufnahme der Prozesse in den Szenarien, eine Schwachstellenanalyse zur Identifizierung von Qualitätsrisiken sowie das Verfassen eines Maßnahmenkatalogs. Hieraus wurden Handlungsfelder abgeleitet und die Anforderungen an das System identifiziert. Weiterhin haben die Partner begonnen, den EPCIS-Standard weiterzuentwickeln, auf den sich SaSCh stützt. Sie haben unter anderem konzeptioniert, wie der EPCIS-Standard zum Austausch von Sensor- und Qualitätsdaten genutzt werden kann. Hierfür wurden die EPCIS-Erfassungsschnittstellen und die gewonnenen Informationen in EPCIS-XML-Strukturen beschrieben. Ebenso wurde ein Work Request zur globalen Standardisierung zum Austausch von Sensor- und Qualitätsdaten erarbeitet. Die Entwicklung des Sensorsystems setzt auf einem eigens erstellten Systementwurf für die sensorbasierte Objektüberwachung in der Supply Chain auf. Grundlage ist ein neuer, kleiner und kostengünstiger Sensor, welcher in Zukunft neben Temperatur und Schock auch die Feuchtigkeit messen wird. Die Infrastruktur in Form eines Sensor-Gateway-Systems wurde getestet und erste Messwerte wurden generiert. Dazu wurden Überlandfahrten sowie eine interkontinentale Fahrt in die USA durchgeführt. Die Entwicklung von Bilderkennungsmethoden zur Qualitätsbewertung konzentriert sich auf die Überprüfung der korrekten Anzahl von Produkten in Kleinladungsträgern. Dafür haben die Partner verschiedene 3D-Kameramodelle getestet, wobei sich auch preisgünstige Modelle aus dem Konsumbereich als prinzipiell geeignet erwiesen.

Weiterhin hat die Entwicklung und softwaretechnische Umsetzung von digitalen Services begonnen. Die Identifikation der digitalen Services ist abgeschlossen, für die Entwicklung digitaler Services ist ein Architekturmodell erstellt. Ebenso haben sich die Partner der Entwicklung von Geschäftsmodellen unter Berücksichtigung rechtlicher Fragestellungen, den Verwertungsmöglichkeiten und der Öffentlichkeitsarbeit gewidmet. Ein Modelldemonstrator ist in Entwicklung bzw. im Bau. Der EPCIS-basierte Austausch von Sensordaten wurde in der Fachzeitschrift Industrie 4.0 Management veröffentlicht. Das Projekt wurde durch einen Fachvortrag zum Thema „Digitale Services zur Gestaltung agiler Supply Chains“ auf dem Tag der Logistik vorgestellt.

Auf der Hannover Messe im April 2018 ist die Präsentation des SaSch-Projekts mit dem Modelldemonstrator geplant. Bis zum Herbst 2018 soll die Entwicklung der Sensorsysteme abgeschlossen sein und die Integration und Validierung der entwickelten Systemkomponenten beginnen. Die digitalen Services sollen Ende 2018 fertiggestellt werden und mit Beendigung der restlichen Arbeitspakete wird das Projekt Ende 2019 abgeschlossen sein.

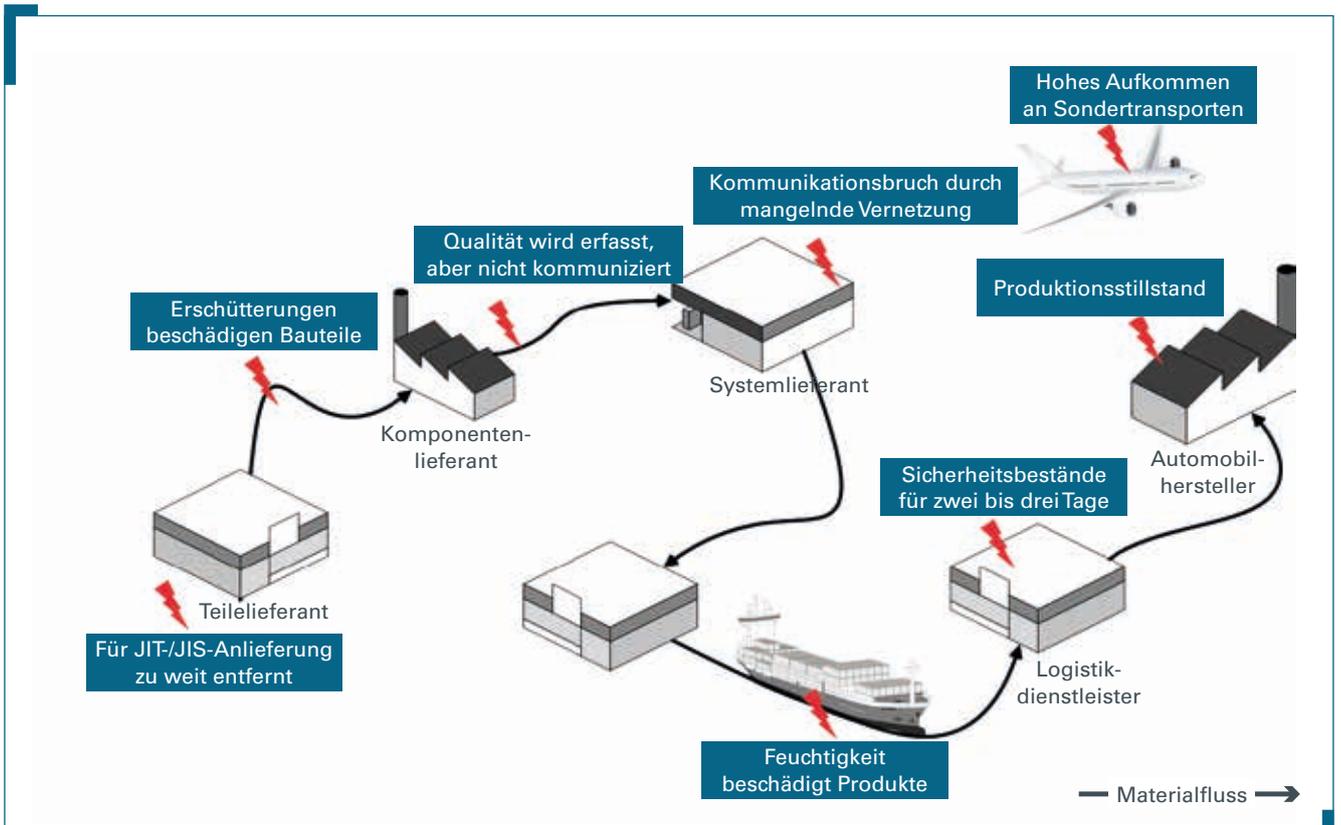


Abbildung 32: Die Verfolgung eines Bauteil-Transports im Projekt SaSch (Quelle: SaSch)

Konsortium

queo GmbH (Konsortialführer), BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, BLG INDUSTRIELOGISTIK GmbH & Co. KG, GS1 Germany GmbH, Robert Bosch GmbH

Ansprechpartner

Matthes Winkler, queo GmbH
 m.winkler@queo-group.com

6 Cluster Kommunikation

Systemarchitekturen für die industrielle Kommunikation

Die Industrieautomatisierung setzt heute weitgehend auf der digitalen Steuerung von Maschinen, Anlagen und Logistikkomponenten sowie auf deren Vernetzung mit übergeordneter Planungs- und Steuerungs-Software auf. Diese „industrielle Kommunikation“ bringt spezifische Besonderheiten und Anforderungen mit sich, denn Verfahren, Technologien und Systemarchitekturen der gängigen Kommunikationstechnik können nicht eins zu eins übertragen werden. Im Programm PAiCE befasst sich das Leuchtturmprojekt IC4F daher mit der Entwicklung einer Referenzarchitektur für die industrielle Kommunikation.

6.1 Marktanalyse

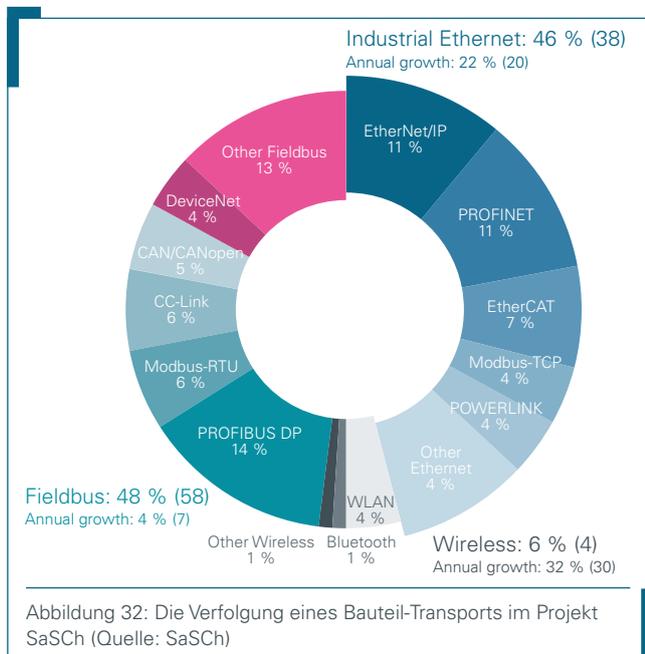
Die industrielle Kommunikation ist ein Segment des Marktes für Automatisierungstechnik, das heißt für solche Produkte und Dienstleistungen, mit denen technische Anlagen in Produktion, Logistik, Energieerzeugung und -versorgung sowie Verkehr weitgehend ohne menschliche Eingriffe gesteuert werden können. Die Automatisierungstechnik ist eine der Stärken der deutschen Wirtschaft. Deutsche Unternehmen der Elektroindustrie setzten 2016 für Automationstechnik (ohne elektrische Antriebe) 40,9 Mrd. EUR um, davon gingen 71 Prozent in den Export.⁵⁶

Die Automatisierungsbranche ist wie der gesamte Anlagen- und Maschinenbau mittelständisch geprägt, große Anbieter wie Siemens sind die Ausnahme. Mit der zunehmenden horizontalen und vertikalen Vernetzung der Produktions- und Logistiksysteme in Industrie 4.0 entstehen aber neue Produkte und Dienstleistungen für die industrielle Kommunikation und es treten neue Wettbewerber in den Markt ein. Prinzipiell besteht der Markt für die industrielle Kommunikation aus drei Bereichen. Das ist zunächst der etablierte Markt der Netzwerkgeräte und -komponenten. Daneben treten die Telekommunikationsdienste und die vergleichsweise neuen Cloud-basierten Systeme für weiterreichende Mehrwertdienste. Vor allem in den letzten beiden Segmenten positionieren sich zunehmend Unternehmen, die nicht mehr aus der Automatisierungstechnik kommen, sondern vielmehr aus der IKT-Industrie.

6.1.1 Netzwerktechnik

Geräte und Komponenten für die industrielle Kommunikation werden traditionell von Systemanbietern für schlüsselfertige Automatisierungslösungen wie etwa Siemens, ABB und Rockwell Automation angeboten, daneben aber auch von einer Vielzahl mittelständischer Unternehmen. Wie bei anderen Kommunikationssystemen auch spielen die technischen Standards eine bedeutende Rolle. Der Markt für die älteren Netzwerksysteme („Feldbusse“) wird von den Herstellern der sogenannten speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) dominiert, mit denen Maschinen oder Anlagen überwacht und gesteuert werden (siehe Abbildung 33). Die großen SPS-Hersteller bevorzugen jeweils einen Feldbus-Standard, den sie besonders gut unterstützen. Das sind bei Siemens etwa Profibus, bei Schneider Electric (Frankreich) Modbus, bei Rockwell Automation (USA) ControlNet und bei Mitsubishi (Japan) CC-Link. Seit einigen Jahren kommen aber auch vermehrt Kommunikationssysteme zum Zuge, die auf den sehr weit verbreiteten Ethernet-Standards für IT-Netzwerke aufsetzen und an die besonderen Anforderungen der Industrie angepasst sind, etwa hinsichtlich der Robustheit und der garantierten Laufzeiten der Nachrichten („Industrial Ethernet“). Wie bei den Feldbussen hat sich hier ebenfalls eine Vielfalt von Industriestandards entwickelt, die häufig von den SPS-Herstellern aus bestehenden Feldbus-Standards fortentwickelt wurden, wie etwa Profinet aus Profibus. Auch wenn die Mehrzahl aller Maschinen und Anlagen noch über Feldbusse kommuniziert, gehen Experten davon aus, dass sich auf lange Sicht die

56 ZVEI: Elektroindustrie in Zahlen, 2017. Zusammengefasst werden dabei Schaltgeräte, Schaltanlagen, Industriesteuerungen, Messtechnik und Prozessautomatisierung.



Ethernet-Systeme durchsetzen werden. Sie bieten bessere technische Eigenschaften, etwa hinsichtlich der verfügbaren Bandbreite, und sind zudem kompatibel mit gängigen Netzwerktechnologien.⁵⁷ Damit öffnet sich der Markt für neue Gerätehersteller. Im wichtigen Teilsegment für die sogenannten Managed Industrial Ethernet Switches⁵⁸ hat etwa Cisco, einer der führenden Hersteller für Netzwerktechnik, mittlerweile eine bedeutende Rolle eingenommen und tritt neben bestehende Anbieter aus der Automatisierungstechnik wie Siemens, Beckhoff, Rockwell Automation und Schneider Electric.⁵⁹

6.1.2 Telekommunikationsdienste

Für die Verbindung verschiedener Standorte von Produktions- und Logistiksystemen kommen bislang vor allem leitungsgebundene Verbindungen zum Tragen, die von Telekommunikationsunternehmen angeboten werden. Die Anbieter stehen allerdings unter einem hohen Preisdruck, die Umsätze nehmen seit Jahren stetig ab, obwohl die Datenvolumina seit Jahren (ebenso kontinuierlich) steigen. Das gilt auch für

das Geschäftskundengeschäft, das in Deutschland derzeit mit 21,4 Mrd. EUR etwa 36 Prozent des Gesamtmarktes für Festnetz und Mobilfunk ausmacht.⁶⁰

Eine relevante Barriere für standortübergreifende Industrie-4.0-Anwendungen sind die in Deutschland nach wie vor im Vergleich mit anderen Industriestaaten nur durchschnittliche Ausstattung mit Breitbandanschlüssen⁶¹ und die deutlichen Versorgungslücken im ländlichen Raum.⁶² Viele Experten führen die mangelnde flächendeckende Ausstattung mit Glasfasernetzen auf die nach wie vor dominante Rolle der Deutschen Telekom als ehemaliger Monopolist zurück.⁶³

Es ist aber absehbar, dass Maschinen und Anlagen nicht nur über drahtgebundene Netzwerke kommunizieren. Häufig ist eine funkbasierte Kommunikation einfacher und kostengünstiger umzusetzen. Bei mobilen Maschinen, wie etwa fahrerlosen Transportfahrzeugen oder nichtstationären Servicerobotern, ist die Anbindung an ein Netzkabel ohnehin nicht möglich. Aus diesem Grund werden noch weitere Akteure in den Markt eintreten. Das betrifft zum einen die Technologieanbieter von Lösungen für die Nahfeldkommunikation über Standards wie WLAN, Bluetooth oder Zigbee, die zukünftig auch vermehrt Produkte für industrielle Anwender anbieten werden.

Bedeutender ist aber zum anderen der Mobilfunk. In weiträumigen Logistikanwendungen ist der Einsatz von Datennachrichten über Mobilfunknetze schon gängige Praxis. Aber auch für den Einsatz in Produktionsstätten und Fabrikgeländen ist der Mobilfunk häufig eine sinnvolle Alternative, weil keine separate Struktur für WLAN Access Points oder Ähnliches aufgebaut

57 Michael Volz: Trends in der industriellen Kommunikation, in: Polyscope 8, 2016.

58 Switch: Komponente zur Verbindung verschiedener Geräte zu einem Netzwerk.

59 Technavio: Global Managed Industrial Ethernet Switches Market 2017–2021, 2016.

60 Dialog Consult, VATM: 19. TK-Marktanalyse Deutschland 2017, 2017.

61 Acami: State of the Internet. Q1 2017 Report, 2017.

62 Siehe den Breitbandatlas des BMVI: www.breitbandatlas.de.

63 Bernd Beckert: Ausbastrategien für Breitbandnetze in Europa. Was kann Deutschland vom Ausland lernen?, Bertelsmann Stiftung, 2017.

werden muss. Angesichts des hohen Preisdrucks sehen viele Telekommunikationsunternehmen die M2M-Kommunikation (Machine-to-Machine) als ein wichtiges neues Geschäftsfeld. Das gilt umso mehr, als mit der derzeit stattfindenden Festlegung des neuen Mobilfunkstandards 5G die Möglichkeit besteht, die besonderen Anforderungen der industriellen Anwender von vornherein zu berücksichtigen. Das ist vor allem wichtig, weil viele industrielle Anwender dem Mobilfunk noch skeptisch gegenüberstehen und hinsichtlich der Verfügbarkeit Bedenken haben.⁶⁴

Schätzungen zufolge wird der Telekommunikationsmarkt für M2M weltweit bis 2019 auf 35 Mrd. EUR steigen (2015: 19,4 Mrd. EUR). Neben dem Markt für die Datenkommunikation (2019: 35 Mrd. EUR) wachsen auch die Märkte für die entsprechenden Kommunikationsmodule (2019: 5,1 Mrd. EUR) sowie für Software und Dienstleistungen (2019: 15,1 Mrd. EUR).⁶⁵ Auch hier dürften die Anbieter nicht aus der Automatisierungstechnik kommen, sondern eher aus der Telekommunikationsindustrie.

Ein Hemmnis für die Entwicklung dieses Markts könnten Vorbehalte der Industrieanwender sein, sich zu eng an einen Mobilfunknetzanbieter zu binden. Sie haben insbesondere den Wunsch, das Netzwerkmanagement auf dem eigenen Gelände selbst in die Hand zu nehmen, sei es, um neue Geräte anzumelden oder um die Netzabdeckung an die eigenen Bedürfnisse anzupassen. Ob das Berücksichtigung im neuen 5G-Standard findet, bleibt abzuwarten.

6.1.3 Cloud-basierte Plattformen für das Industrial Internet of Things

Seit etwa 2014 kommen verstärkt Cloud-basierte Plattformen für das Industrial Internet of Things (IIoT) auf den Markt. Diese Plattformen bieten typischerweise zwei Grundfunktionen an: Funktionen für die Konsolidierung und Analyse der Daten, die in großen vernetzten Produktions- oder Logistikanwendungen anfallen, und Funktionen für die Steuerung von Prozessen in den Netzwerken. Neben den etablierten Unternehmen der Automatisierungstechnik wie Siemens, Bosch oder General Electric sind hier auch Unternehmen aus der IT-Branche aktiv, unter anderem SAP, IBM, Microsoft oder Amazon.⁶⁶

Der Markt hat sich allerdings noch nicht konsolidiert: Die Plattformen unterscheiden sich noch sehr stark in ihren Funktionen und die Systeme werden bislang erst in Individual- und Pilotprojekten eingesetzt. Zudem kommen auch noch neue Akteure auf den Markt, etwa das erst 2017 gegründete Gemeinschaftsunternehmen ADAMOS, das von Maschinenbauunternehmen, unter anderem DMG Mori, Dürr und Carl Zeiss Jena sowie der Software AG, getragen wird und einen herstellerunabhängigen Ansatz für eine IIoT-Plattform verspricht.⁶⁷ Marktabschätzungen, wie etwa der Umsatz von 10,1 Mrd. EUR für IIoT-Plattformen im produzierenden Gewerbe in Deutschland,⁶⁸ können daher derzeit nur spekulativ sein.

6.2 Start-up-Umfeld

Die meisten Start-ups im Bereich der industriellen Kommunikation bieten naturgemäß entweder Hardware- oder Softwareprodukte an, die sich mit vergleichsweise begrenztem Aufwand entwickeln und produzieren lassen, während das Angebot von Telekommunikationsdiensten wegen der sehr hohen Kosten für die Infrastrukturen den großen und etablierten Telekommunikationsunternehmen vorbehalten bleibt.

64 Michaela Rothhöft: Marktstudie Industrielle Kommunikation, Herner, 2017.

65 IDATE: DigiWorld Yearbook, Montpellier, 2016. Aktuelle Zahlen für den deutschen Markt liegen nicht vor.

66 Eine erste Übersicht der am Markt verfügbaren Plattformen bietet: www.mandsconsulting.com/industrial-iiot-platform-comparison.

67 www.de.adamos.com (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

68 Deloitte: Industrielles Internet der Dinge und die Rolle von Telekommunikationsunternehmen. Hype oder vernetzte Revolution?, 2016.

Neugründungen, die Hardware für IT-Netzwerke entwickeln, kommen fast durchgehend aus den USA (ohne Differenzierung nach Hardware für Industrie- und sonstige Anwendungen). Im Jahr 2016 gingen zum Beispiel alle 17 öffentlich bekannten Finanzierungsrunden in diesem Segment an 14 Unternehmen aus den Vereinigten Staaten (siehe Abbildung 34). Investiert wurden 244 Mio. EUR.

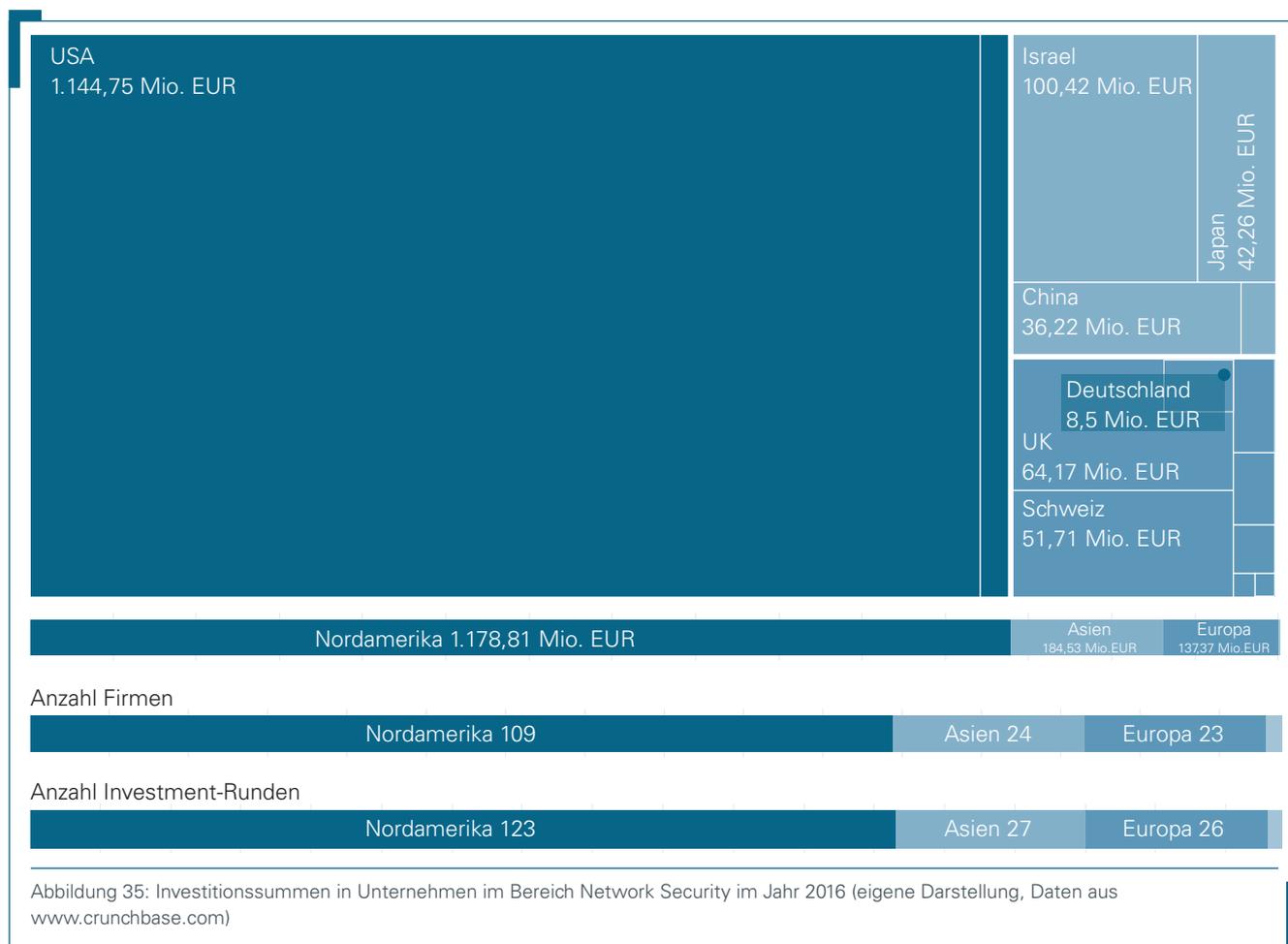


Auch im Langzeitvergleich von 435 Investments in Unternehmen mit Netzwerk-Hardware in den Jahren 1997 bis 2017 dominieren die USA den Ländervergleich mit einem Anteil von 84 Prozent. Das ist angesichts der nach wie vor dominierenden Rolle der Vereinigten Staaten in der IT-Industrie wenig überraschend.

Auch bei Start-ups, die sich mit dem kommenden Mobilfunkstandard 5G beschäftigen und damit sehr Hardware-nah sind, ist das Bild ähnlich. Neben fünf im Jahr 2016 finanzierten Unternehmen aus den Vereinigten Staaten stehen zwei aus Europa (Großbritannien, Frankreich) und eines aus der Türkei, und die Investments in die amerikanischen Unternehmen überwiegen mit 31 Mio. EUR bei Weitem die in die anderen Firmen. Die vergleichsweise geringe Investitionssumme zeigt, dass die meisten Investoren in 5G-spezifischen Gründungen ein Nischenthema sehen und eher erwarten, dass bestehende Unternehmen 5G-Technologien im Laufe der regulären Produktweiterentwicklung ohnehin aufgreifen werden.

Ein etwas abgewandeltes Bild ergibt sich für die Finanzierung von Unternehmen, die sich, meist Software-basiert, mit Netzwerksicherheit beschäftigen (siehe Abbildung 35). Auch wenn hier die USA im Jahr 2016 ebenfalls das Feld beherrschten, gab es doch auch Investments in anderen Ländern, namentlich Israel, Großbritannien, der Schweiz, Japan, China und Deutschland. Zwei der drei deutschen Start-ups in dieser Liste beschäftigen sich mit Cloud-Systemen (Viprinet, Secucloud), eines mit mobilen Anwendungen (Appvisory). Das Investitionsvolumen betrug insgesamt 1,5 Mrd. EUR und lag damit sehr deutlich über den Finanzierungssummen für Netzwerk-Hardware und 5G. Darin drückt sich die zentrale Bedeutung der IT-Sicherheit für das Industrial Internet of Things aus und die Erwartung, dass Start-ups hier neue Impulse im Markt setzen können – oder sogar setzen müssen, weil etablierte Unternehmen zu langsam agieren.

Schwach besetzt ist dagegen das Feld der Finanzierung von Gründungsunternehmen, die Cloud-basierte Plattformen für das Industrial Internet of Things anbieten. In 2016 gab es hier lediglich zwei kleine Investments über insgesamt 299.000 EUR in die schwedische Evothings (mobile Anwendungsplattform) und in die südkoreanische ulalaLAB (IIoT-Plattform).⁶⁹ Grund für das schwache Enga-



69 Quelle: Crunchbase. Abfrage: (iiot OR „industrial internet of things“ OR automation) AND (platform OR saas).

gement der Investoren dürfte sein, dass in diesem Segment bereits große finanzstarke Akteure aus der Automatisierungstechnik und der IT-Branche am Markt tätig sind und Start-ups nur geringe Chancen eingeräumt werden, sich erfolgreich zu etablieren.

6.3 Stand der Technik

Kommunikationssysteme sind essenziell auf gemeinsame technische Standards angewiesen. Der Stand der Technik spiegelt sich daher direkt in den aktuellen Industriestandards und Normen wider. Das betrifft sowohl die Basisebene der leitungsgebundenen Kommunikation und der Funk-Kommunikation als auch die eigentlichen Systemarchitekturen.

Für die leitungsgebundene Kommunikation werden die bisherigen seriellen Feldbusse zunehmend durch Systeme abgelöst, die mehr oder weniger auf dem bei IT-Netzwerken gängigen Ethernet-Standard aufsetzen. Ethernet genügt von sich aus aber nicht den besonderen Anforderungen in Industrieanwendungen. Beispielsweise gibt es keine deterministischen Laufzeiten von Nachrichten, die aber für eine Steuerung von Maschinen und Anlagen in Echtzeit notwendig sind. Daher sind Anpassungen der Standards notwendig, um tatsächlich zu einem „Realtime Ethernet“ zu kommen. Je nach benötigter Durchlaufzeit der Nachrichten haben sich verschiedene Klassen von Realtime-Ethernet-Verfahren und -Standards entwickelt, die zum Teil auch nicht mehr kompatibel zu den ursprünglichen Ethernet-Standards sind. Obwohl es schon seit Jahren praxisreife Lösungen gibt, sind die Entwicklungen in diesem Feld bei Weitem noch nicht abgeschlossen, gearbeitet wird zum Beispiel an Verfahren mit geringeren Schwankungen bei den Laufzeiten oder mit einem verbesserten Schutz der IT-Sicherheit.⁷⁰

Noch anspruchsvoller ist die Anpassung gängiger Standards für die drahtlose Kommunikation an die Industrieanforderungen. Das gilt insbesondere, insofern die meisten dieser Verfahren auf die Nutzung der frei nutzbaren ISM⁷¹-Frequenzbänder setzen und es damit aber zur Konkurrenz mit anderen Anwendungen kommt, die ebenfalls die Bänder nutzen. Auch bei der Funkkommunikation werden gängige Verfahren wie WLAN oder Bluetooth entsprechend erweitert, um deterministische Laufzeiten und eine hohe Robustheit zu erreichen. In bestimmten Anwendungsbereichen mit geringeren Anforderungen (Prozesssteuerung, Sensornetzwerke, Anbindung an ERP-Systeme) werden solche Systeme bereits eingesetzt. Für die Maschinen- oder Anlagensteuerung, bei der die Anforderungen an Echtzeit und Robustheit sehr hoch sind, sind die Verfahren aber noch nicht geeignet.⁷²

Für die Architektur von Systemen für die industrielle Kommunikation ist derzeit OPC-UA (Open Platform Communications Unified Architecture) der vorherrschende Ansatz, der sich in den letzten Jahren insbesondere in Europa durchgesetzt hat. Träger ist die OPC Foundation, ein Industriekonsortium von Unternehmen aus der Automatisierungstechnik und der IT. OPC-UA ist eine offene Standardarchitektur, die eine durchgängige Kommunikation vom ERP-System bis hin zur Maschinensteuerung ermöglicht. Dabei werden die Daten auch semantisch annotiert, um die Integration von Drittsystemen zu erleichtern. Das Kommunikationsprotokoll OPC-UA Time Sensitive Network (TSN) integriert gängige Realtime-Ethernet-Standards und ermöglicht innerhalb der technischen Grenzen eine echtzeitfähige

⁷⁰ Martin Wollschläger, Thilo Sauter und Jürgen Jasperneite: The Future of Industrial Communication. Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0, in: IEEE Industrial Electronics Magazine, 11, 2017.

⁷¹ ISM: Industrial, Scientific, Medical.

⁷² Andreas Frotzschner u. a.: Requirements and current solutions of wireless communication in industrial automation, in: Proc. 2014 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), 2014.

Kommunikation.⁷³ Für die Spezifikation sowie eine Referenzimplementierung von OPC-UA wurde vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) eine IT-Sicherheitsanalyse durchgeführt, die die Freiheit von systematischen Fehlern aufzeigte. Insbesondere bei deutschen Maschinenbauern und Automatisierungstechnikern gilt OPC-UA als zentrale Kommunikationstechnologie für Industrie 4.0, weil Maschinen mit Steuerungen verschiedener Hersteller problemlos in einem System koordiniert werden.

Neben diesem vertikalen, auf die industrielle Produktion fokussierten Ansatz gibt es derzeit eine Vielzahl anderer Architekturmodelle, die stattdessen den Anspruch haben, eine einheitliche technische Struktur für das Internet of Things vorzugeben, horizontal über alle Anwendungsbereiche hinweg. Wie OPC-UA setzen sie dabei ebenfalls auf den grundlegenden Internet-Protokollen wie TCP/IP, HTTP etc. auf. Zu den wichtigsten Vertretern zählen das von der Telekommunikationsindustrie getragene oneM2M, der Data Distribution Service (DDS) der in der IT-Industrie angesiedelten Object Management Group und das Web of Things des Internet-Standardisierungsgremiums W3C.

Das Konsortium oneM2M definiert Standards für die M2M-Kommunikation und setzt sich aus Vertretern von Standardisierungsgremien, Foren und Unternehmen der Telekommunikationsbranche zusammen. Im Gegensatz zu OPC-UA ist oneM2M darauf ausgerichtet, anwendungsneutral zu sein. Erklärtes Ziel ist es, so unterschiedliche Bereiche wie Verkehr, Gesundheit, Hausautomatisierung und die Industrieproduktion abzudecken. Erste Pilotprojekte befassen sich insbesondere mit der Vernetzung städtischer Infrastrukturen (smart city).⁷⁴

Die Standardarchitektur DDS (data distribution service) der Object Management Group (OMG) adressierte bislang vor allem den Austausch von Daten in großen, massiv verteilten Systemen der Finanzwirtschaft, der Energiewirtschaft und der Luftfahrtkontrolle. Die OMG ist ein vor allem von der IT-Industrie in den USA getragenes Standardisierungsgremium. Seit 2014 führt die OMG zusätzlich die Geschäfte des überwiegend US-basierten Industrieforums Industrial Internet Consortium (IIC) und platziert DDS seitdem auch als Lösung für industrielle Kommunikationsarchitekturen. Die Architektur unterstützt den Datenaustausch in Echtzeitkommunikationssystemen auf der Basis eines Publish/Subscribe Messaging Architekturmodells.⁷⁵

Das Standardisierungsgremium W3C, bekannt für seine Web-Standards wie HTML oder XML, bündelt unter dem Begriff „Web of Things“ Standards und Architekturprinzipien für den Aufbau eines Internet of Things. Der Ansatz basiert auf bereits etablierten Web-Technologien, die unabhängig von den einzelnen darunterliegenden Kommunikationsprotokollen sind. Ähnlich wie Websites im klassischen World Wide Web sollen die einzelnen physikalischen „Dinge“ über eindeutige Identifikationen (Uniform Resource Identifier, URI) erreicht und über die in Metainformationen beschriebenen Funktionen angesteuert werden. Das W3C adressiert mit Web of Things ebenfalls sehr viele Anwendungsbereiche, darunter Heimautomatisierung, Office-IT, Gesundheit und Medizin, aber auch Städte (Smart Cities), Energie, Handel und die Fabrikautomatisierung.⁷⁶

73 www.opcfoundation.org (zuletzt abgerufen am 12.01.2018).

74 www.onem2m.org (zuletzt abgerufen am 12.01.2018).

75 www.portals.omg.org/dds (zuletzt abgerufen am 12.01.2018).

76 www.w3.org/WoT (zuletzt abgerufen am 12.01.2018).

Noch hat sich keiner dieser allgemeinen Architekturansätze beim Internet of Things durchgesetzt. In der Praxis sind die Unterschiede zum Teil eher gering, insbesondere weil alle Modelle, auch OPC-UA, auf grundlegenden Basisstandards aufsetzen oder sie zumindest integrieren können wie unter anderem HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) für die sichere Kommunikation oder MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) für den Austausch von M2M-Nachrichten in unzuverlässigen Netzwerken.

6.4 FuE-Entwicklungen

Viele Forschungsprojekte widmen sich zurzeit gezielt der Weiterentwicklung der Kommunikationstechnologien für industrielle Anwendungen. Dabei spielt insbesondere der zukünftige Mobilfunkstandard 5G eine zentrale Rolle, weil die drahtlose Kommunikation in vielen Anwendungsszenarien unverzichtbar ist, heutige Mobilfunkstandards aber nur sehr bedingt den Ansprüchen von Industrienetzwerken genügen.

Im Kern vieler Projekte steht dabei das Netzwerkmanagement. Grundlagen sind in der Regel Konzepte für Software Defined Networks, das heißt die zentrale Software-basierte Steuerung von Netzwerkkomponenten, und die Netzwerkvirtualisierung, also die Abstraktion des technischen Managements eines Netzwerks von den physikalischen Komponenten. Darauf baut dann mit den sogenannten Network Slices ein zentrales Konzept für die industrielle Kommunikation auf. Ein Slice bündelt virtuelle Netzwerkressourcen, die nun als ein Dienstleistungspaket mit für die jeweilige Anwendung notwendigen Dienstqualitäten, etwa für Laufzeiten und Bandbreiten, angeboten werden können. Dynamische Allokationsverfahren sorgen dafür, dass sich die Slices automatisch an die Erfordernisse der Anwendungen anpassen.

Eine weitere grundlegende Frage ist derzeit die Verteilung der Rechenleistung im System. Noch vor einigen Jahren dominierten zentralisierte Cloud-Computing-Architekturen die Überlegungen. Die zentralisierte Speicherung und Verwaltung der produktions- und unternehmensspezifischen Daten hat sich in vielen Situationen aber doch nicht als optimal erwiesen. Für Unternehmen stellt es ein hohes Risiko dar, wenn ihre Produktionsprozesse stark von der Verfügbarkeit der zentralisierten Cloud-Infrastruktur abhängen. Darüber hinaus steigen die Anforderungen an Datendurchsatz, Bandbreite, Echtzeitkommunikation und IT-Sicherheit in der industriellen Kommunikation, sodass die zentralen Cloud-Systeme auch ansonsten zu einem technischen Engpass werden.

Im Modell des Edge Computing gibt es daher zusätzlich oder auch anstatt einer zentralen Cloud-Kommunikationseinheit für die Datenspeicherung und -verarbeitung verteilte Kommunikationsknoten (Edges), an denen zeitkritische Berechnungen lokal durchgeführt werden können. Somit wird die zentrale Cloud-Instanz entlastet und die sensiblen Prozessdaten gelangen nicht nach außen, sondern verbleiben im Unternehmen, wo sie lokal verarbeitet werden. Auf diese Weise wird nicht nur eine höhere technische Effizienz erreicht, sondern es werden auch Bedenken hinsichtlich des Schutzes von internen Betriebsdaten ausgeräumt.

Der Telekommunikationsausrüster Cisco hat für einen solchen verteilten Ansatz den Begriff des Fog Computings geprägt. Das von Cisco initiierte Industriekonsortium Open Fog Consortium arbeitet gegenwärtig an einer entsprechenden Referenzarchitektur. Zum Open Fog Consortium gehören Hardware-Hersteller wie Cisco, Dell und Intel, Cloud-Computing-

Provider wie Microsoft sowie Forschungseinrichtungen aus den USA, China und Europa. Zwischen dem Konsortium und OPC-UA wurde 2016 bereits eine Zusammenarbeit zur Abstimmung der Standardisierungsarbeiten vereinbart.⁷⁷

In Deutschland greifen zum einen die Programme 5G – Industrielles Internet, 5G – Taktiles Internet und Zuverlässige drahtlose Kommunikation in der Industrie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung diese Forschungsthemen auf. Im Rahmen dieser drei Programme laufen aktuell 19 Forschungs- und Entwicklungsprojekte, darunter die folgenden großen Projekte:

Im Projekt 5G-NetMobil wird etwa eine Infrastruktur für das vernetzte Fahren und Platooning von Autos entwickelt.⁷⁸ Das Projekt TACNET erarbeitet Konzepte zum Management von Funkverbindungen sowohl für den firmeninternen Gebrauch als auch übergreifend auf der Basis von Cloud-Computing-Technologien mit besonderem Schwerpunkt auf die IT-Sicherheit.⁷⁹ In SiNSeWa werden Kommunikationsinfrastrukturen für Wartungsnetze in der Flugzeug- und Bahntechnik erforscht.⁸⁰ Das Projekt ParSec arbeitet an effizienten, Hardware-basierten kryptografischen Verfahren.⁸¹ Im Rahmen des Projekts HiFlecs wird ein industrielles Funksystem für regelungstechnische Echtzeitanwendungen mit der Möglichkeit zur Integration von älteren Systemen entwickelt.⁸² Große Bedeutung hat das Projekt FIND, das neue Ansätze zum Management von komplexen Kommunikationssystemen auf Basis des Network-Slicing erforscht. Das Konsortium von FIND plant, auf der Basis seiner flexiblen Netzwerkmanagementkonzepte ein Referenzarchitekturmodell für 5G-Kommunikationstechnologien zu entwickeln.⁸³

Deutlich anwendungsnäher als diese Vorhaben ist das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Projekt IC4F (Industrial Communication for Factories), das zahlreiche Unternehmen aus der Telekommunikation und der Automatisierungstechnik sowie Forschungseinrichtungen zusammenbringt und seine Projektergebnisse in mehreren Use Cases erproben wird.

Auch die Europäische Kommission fördert eine Reihe von Projekten, die 5G-Technologien in verschiedenen Marktsegmenten erforschen. Gerade angelaufen sind zwei Projekte:⁸⁴

Das Projekt 5G-RANGE adressiert die 5G-Netzabdeckung in ländlichen Gebieten. Im Rahmen von 5G-RANGE soll eine Infrastruktur für mobile Funknetze geschaffen werden, die auch in dünn besiedelten Gebieten rentable Geschäftsmodelle für den Betreiber ermöglichen. Das Projekt NECOS arbeitet am Konzept einer Lightweight-Slice-Defined-Cloud, das alle verfügbaren Netzwerkressourcen virtualisiert und damit eine hohe Flexibilität für die dynamische Zusammenstellung (Orchestrierung) dieser Ressourcen schafft. Im Rahmen von NECOS wird Slice-as-a-Service als neues Geschäftsmodell für Telekommunikationsanbieter realisiert.

77 www.openfogconsortium.org (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

78 www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/5g-netmobil (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

79 www.tacnet40.de (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

80 www.ip45g.de/projekte/sinsewa (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

81 www.parsec-projekt.de (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

82 www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/hiflecs (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

83 www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/find (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

84 www.cordis.europa.eu/project/rcn/212224_en.html (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

6.5 Projekt des Clusters Kommunikation

Der Fortschritt des Förderprojekts IC4F seit Beginn des Technologieprogramms PAiCE wird auf den folgenden Seiten dargestellt.

IC4F



Baukasten für eine vertrauenswürdige industrielle Kommunikations- und Computing-Infrastruktur

Kurzsteckbrief

IC4F hat die Entwicklung von sicheren, robusten und echtzeitfähigen Kommunikationslösungen für die verarbeitende Industrie zum Ziel. Im Projekt werden eine offene und domänenübergreifende Referenzarchitektur und ein Technologiebaukasten für eine ganzheitliche Kommunikations- und Computing-Infrastruktur für die industrielle Kommunikation und Datenverarbeitung erarbeitet. Auch eine modulare Erweiterung für neue Anwendungen und Kommunikationstechnologien ist möglich. Ausgewählte Anwendungsszenarien/Use Cases werden prototypisch umgesetzt.

www.ic4f.de

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Die Analyse von industriellen Anwendungsfällen aus dem IC4F-Anwenderkreis wurde erfolgreich durchgeführt und relevante Anwendungsfälle für die Umsetzung der Referenzarchitektur klassifiziert und dokumentiert. Zu den Anwendungsfällen gehören unter anderem ein massives Fabrik-Sensornetzwerk, sicherer Fernzugriff und hoch zuverlässige Echtzeit-Maschinensteuerung. Im Mai 2017 fand das erste IC4F-Anwenderforum mit über 60 Teilnehmern aus über 30 Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen aus der Informations- und Kommunikationstechnik sowie der Automatisierungstechnik bei der Bosch GmbH in Renningen bei Stuttgart statt. Mittlerweile tragen über zehn assoziierte Partner zur Erarbeitung der Anwendungsfälle bei. Die Analyse und Dokumentation der internen und externen Anwendungsfälle ist weitgehend abgeschlossen. Das zweite IC4F-Anwenderforum wird im März 2018 bei Siemens in München stattfinden.

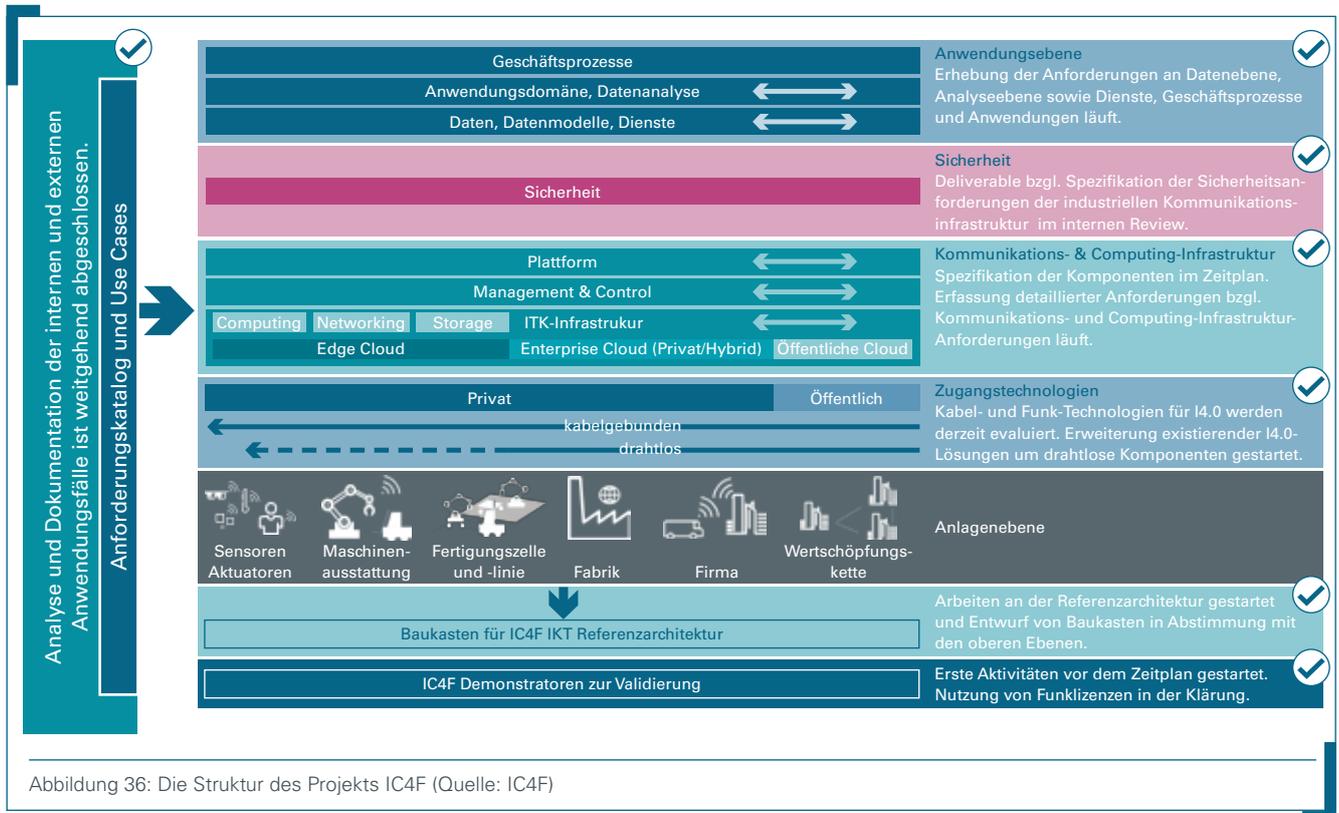
Die Arbeiten an der Referenzarchitektur sowie den Technologiebausteinen wurden gestartet (siehe Abbildung 36). Die Demonstratoren befinden sich in Vorbereitung, der Erwerb oder die Reservierung von Funklizenzen derzeit in der Klärung. Für die Teilprojekte Zugangstechnologien, Kommunikations- und Computing-Infrastruktur, Anwendungsebene sowie Sicherheit zur Referenzarchitektur liegen erste Spezifikationen vor.

Partner aus dem IC4F-Projekt haben in enger Zusammenarbeit mit Unternehmen aus dem Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) für die „Fabrik der Zukunft“ grundlegende Anwendungsfälle in den Report zur Festlegung von Kommunikationsanforderungen (3GPP TR 22.804) der Standardisierungsorganisation 3GPP erfolgreich eingebracht. Diese sind für die produzierende Wirtschaft in Deutschland von zentraler Bedeutung und nun international richtungsgebend.⁸⁵ Ferner wurden in das Standardisierungsgremium oneM2M⁸⁶ mehrere Aspekte zum Thema Industrie 4.0 und RAMI 4.0 in den TR-0018 „Industrial Domain Enablement“ eingebracht. Die Projektergebnisse fließen außerdem in die AG 1 „Referenzarchitekturen, Standards und Normung“ der Plattform Industrie 4.0, hier unter dem Thema „Verwaltungsschale“, und in die AG 3 „Sicherheit vernetzter Systeme“ ein. Mit dem Deutschen Institut für Normung (DIN) werden Gespräche geführt, um geeignete Standards für die horizontalen und vertikalen Schnittstellen der Rahmenarchitektur zu identifizieren.

⁸⁵ 3GPP: Technical Report 22.804. Study on Communication for Automation in Vertical domains (CAV). Draft, 15.3.2017 (<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3187>, zuletzt abgerufen am 05.03.2018).

⁸⁶ oneM2M ist eine Standardisierungsorganisation der Telekommunikationsindustrie, die technische Spezifikation für die Kommunikation zwischen Maschinen entwickelt (M2M).

IC4F wird auf der Hannover Messe auf dem Stand des BMWi in Halle 2 vertreten sein und am 24. April 2018 einen Fachworkshop zum Thema IT-Sicherheitskonzepte und Kommunikationsarchitekturen für die Industrie 4.0 abhalten. Zur Hannover Messe wird auch ein White Paper zur IC4F-Referenzarchitektur unter Berücksichtigung der Anwendungsfälle veröffentlicht. Die bisherigen Ergebnisse wurden außerdem in drei wissenschaftlichen peer-reviewed Publikationen zu den Themen Industrie 4.0, situationsabhängige Zugangskontrolle, automatisierte Provisionierung und Einrichtung von Services und IoT-Anwendungen publiziert.



Konsortium

Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI (Konsortialführung), Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Robert Bosch GmbH, Deutsche Telekom AG, Gesellschaft für Produktionssysteme GmbH, brown-ippss GmbH, MAG IAS GmbH, Nokia, rt-solutions.de GmbH, Schindler Fenster + Fassaden GmbH, Siemens AG, STILL GmbH, TU Berlin, TU Kaiserslautern, Universität Stuttgart

Assoziierte Partner im Anwenderforum

ITQ GmbH, Samson KT Electronic GmbH, Schmalz, Benteler, TE Connectivity, Arena2036, HMS, Komsa; Seele, Labs Network Industrie 4.0, BSH Hausgeräte GmbH, Carl Zeiss, Dürr Systems AG

Ansprechpartner

Projektkoordination:
Prof. Dr.-Ing. Slawomir Stanczak, Fraunhofer HHI

Projektleitung:
Dr.-Ing. Julius Schulz-Zander, Fraunhofer HHI

info@ic4f.de

7 Begleitforschung

Systemarchitekturen für die industrielle Kommunikation

Im März 2017 hat die wissenschaftliche Begleitforschung zu PAiCE unter Leitung des Instituts für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH ihre Arbeit aufgenommen. Partner des iit sind das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN), Prof. Dr.-jur. Susanne Beck, Juristische Fakultät der Leibniz Universität Hannover, HK2 Rechtsanwälte, der Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik e. V. (VDE) sowie die Kommunikationsagentur LoeschHundLiepold Kommunikation GmbH (LHLK).

Aufgaben der Begleitforschung sind die Vernetzung der Projekte mit anderen nationalen und internationalen Initiativen, die Bearbeitung von Querschnittsthemen in Fachgruppen, Studien und Veranstaltungen, das Monitoring der Projekte, die Unterstützung der Projekte bei der Verwertung der Projektergebnisse sowie bei der Standardisierung und Normung und der Ergebnistransfer.

7.1 Aktuelles aus den Fachgruppen

Fachgruppe Kooperative Geschäftsmodelle

Systematische sowie praxiserprobte Vorgehensweisen und Methoden sind hilfreich für die strukturierte Erarbeitung neuer Geschäftsmodelle. Im Rahmen des Vorgängerprogramms AUTONOMIK für Industrie 4.0 stand der Erfahrungsaustausch zur strukturierten Entwicklung der Geschäftsmodelle von der Ideengenerierung bis zur Operationalisierung im Vordergrund. Thematisiert wurden Methoden und Instrumente, Chancen und Risiken, erfolgversprechende Geschäftsmodellmuster sowie Möglichkeiten der Erweiterung oder Erneuerung bestehender Geschäftsmodelle. Ergebnis war der Leitfaden „Neue Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodelle in Industrie 4.0“⁸⁷. Dieser Leitfaden gibt Orientierung und Hilfestellung für Unternehmen, die im Rahmen der Umsetzung von Industrie 4.0 neue Geschäftsmodelle entwickeln und neue Wege der Wertschöpfung zur nachhaltigen Stärkung ihrer Marktposition nutzen möchten. Neben den bekanntesten und in der Praxis weit verbreiteten allgemeinen Methoden zur Geschäftsmodellentwicklung beschreibt der Leitfaden die spezifischen auf Industrie 4.0 fokussierten Methoden und die Instrumente, die im Rahmen des Projekts GEMINI⁸⁸ entwickelt wurden.

Die PAiCE-Projekte beschäftigen sich mit kollaborativen Geschäftsmodellen oder setzen kooperative Plattformprojekte mit einer größeren Zahl von Partnern direkt um. Wenn es um die Entwicklung komplexer Geschäftsmodelle oder Plattformökosysteme mit der Beteiligung diverser Akteure geht, stoßen bisher bekannte Methoden zur Entwicklung von linearen Geschäftsmodellen jedoch an ihre Grenzen. Ausgehend von den Ergebnissen des Technologieprogramms AUTONOMIK für Industrie 4.0 liegt der Schwerpunkt in der PAiCE-Begleitforschung auf Erfahrungen, Lösungsansätzen und Methoden zur gemeinsamen Entwicklung kooperativer Geschäftsmodelle mit unterschiedlichen Partnern sowie auf der Berücksichtigung der verschiedenen Marktteilnehmer mit folgenden Fragestellungen:

- Was sind die Herausforderungen, Chancen, Rahmenbedingungen und Lösungsansätze für die Entwicklung und Umsetzung neuer kooperativer Geschäftsmodelle, bei denen Partner aus verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette strukturiert zusammenarbeiten?

⁸⁷ Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0: Leitfaden Band 6. Neue Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodelle in Industrie 4.0, BMWi, 2016. Online verfügbar unter www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Autonomik-leitfaden%206.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

⁸⁸ Geschäftsmodelle für Industrie 4.0: www.geschaeftsmodelle-i40.de (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

- Welche Expertise und Erfahrungen hinsichtlich der Entwicklung und Umsetzung kooperativer Geschäftsmodelle können die Experten aus den Projekten in die Fachgruppenarbeit einfließen lassen?
- Wie können kooperative Ansätze umgesetzt werden? Wie sehen mögliche Rollen für einzelne Partner aus und welcher Partner kann mit welcher Leistung Wertschöpfung generieren?
- Welche Expertise in und Erfahrungen mit neuen Technologien sind von projektübergreifender Bedeutung für kooperative Geschäftsmodelle?
- Welche Methoden zur Entwicklung von kooperativen Geschäftsmodellen gibt es, welche Erfahrungen werden mit deren Anwendung gemacht und welche Vorteile, Nachteile und Grenzen haben die jeweiligen Methoden?
- Welche Auswirkungen haben kooperative/plattformbasierte Geschäftsmodelle auf die Wettbewerbssituation, welche Rolle spielen Netzwerk- und Skaleneffekte für eine erfolgreiche Implementierung von plattformbasierten Geschäftsmodellen in der Industrie und welche Bedeutung haben in diesem Zusammenhang die Offenheit und das Vertrauen in die Plattform?

Eine Sensibilisierung bezüglich des Querschnittsthemas sowie ein erster Austausch der Experten zu den Fragestellungen und Herausforderungen aus den Projekten erfolgten im Rahmen des ersten Workshops in Berlin. Daraus ergab sich ein guter Einblick in Probleme und Fragestellungen der einzelnen Projekte sowie Impulse für die weitere Fachgruppenarbeit. Generell bestand ein großes Interesse am Austausch von Erstanwendererfahrungen aus den einzelnen Projekten, um daraus Lerneffekte zu generieren. Ein besonderes Interesse bestand an folgenden Themen:

- Erfahrungen mit Modellen für die Beteiligung von Partnern und für die Entwicklung einer gemeinsamen Sprache und Kultur sowie von gemeinsamen Standards, um kooperative Geschäftsmodelle funktionsfähig zu machen
- Erfahrungen und Lösungsansätze zur Entwicklung von Open-Source-Businessmodellen

Die weitere Fachgruppenarbeit wird folgendermaßen fortgesetzt:

- Vorstellung und Erprobung unterschiedlicher Methoden zur Geschäftsmodellentwicklung in Fachgruppen-Workshops
- Vorstellung der unterschiedlichen Herausforderungen und der jeweiligen Lösungsansätze, die sich während der Laufzeit in den Projekten und im Rahmen der Fachgruppenarbeit ergeben
- Veröffentlichung von Beispielen und allgemeingültigen Best Practices für die Entwicklung und Umsetzung kooperativer/plattformbasierter Geschäftsmodelle

Fachgruppe Recht

Die Arbeit der Fachgruppe Recht baut auf den bereits im Vorgängerprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0 erarbeiteten Erkenntnissen zur Überwindung rechtlicher Herausforderungen auf. Die Projektpartner wurden zum Auftakt der Fachgruppe in die Erkenntnisse der Vorarbeiten, z. B. in der Studie⁸⁹ „AUTONOMIK: Recht in der industriellen Fertigung“ und den Leitfaden⁹⁰ „Rechtliche Orientierung für digitale Wertschöpfung“ eingeführt. In dem Leitfaden

89 Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0: Juristische Herausforderungen für digitale Wertschöpfung. Strukturierte Lösungswege für KMU, BMWi, 2016. Online verfügbar unter www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Kurzmeldungen/Aktuelles/2016/2016-04-26_Recht%20in%20der%20industriellen%20Fertigung.html (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

90 Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0: Leitfaden Band 3. Rechtliche Orientierung für digitale Wertschöpfung, BMWi, 2016. Online verfügbar unter www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Autonomik-leitfaden3.html (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

wird auch die juristische Referenzarchitektur für Industrie 4.0 (Ju-RAMI) als Referenzmodell beschrieben, um auch für juristische Laien einschätzbar zu machen, welche Rechtsgebiete in ihren Projekten zur Digitalisierung der Produktion berührt werden. Darüber hinaus bilden die Fachbeiträge in dem Buch „Robotics, Autonomics, and the Law“⁹¹ – ebenfalls ein Ergebnis der Begleitforschung des Vorgängerprogramms – eine gute Grundlage für die Fachgruppenarbeit.

Die Projektpartner haben in der Fachgruppe Recht durch die eingebundenen Experten (Frau Prof. Beck und Herr Bartels) folgende wesentlichen Herausforderungen adressiert:

- Datenschutz-/IT-Sicherheitsrecht, Vertragsrecht, Urheberrecht
- Rechtliche Herausforderungen beim Einsatz kollaborativer Systeme in der Industrie

Die Auseinandersetzung mit den Anforderungen der neuen EU-weiten Datenschutzgrundverordnung erfordert neue Strategien zur Modellierung einer gesetzeskonformen Datenverarbeitung in Kollaborationssystemen und eine durchgängige Gewährleistung von IT-Sicherheitsrichtlinien. Den Unternehmensvertretern ist bewusst, dass dies zu Lösungen wie Privacy-by-Design führen muss, die ein neues Denken und eindeutig geregelte Nutzungsrechte erfordern. Besonders im Fokus der Diskussion stand die juristische Einschätzung der Handelbarkeit von industriellen Daten (mit und ohne Personenbezug). Auch die zu treffenden praxistauglichen Regelungen bezüglich der Datenzugriffsrechte sowie der Datennutzung und -auswertung sind von besonderem Interesse. Hier wird im Rahmen von PAiCE die fachliche Diskussion vertieft. Auch die Absicherung von urheberrechtlichen Ansprüchen erscheint wesentlich. Unklarheiten bestehen zu den geeigneten Abläufen der Erhebung und Zuordnung von Maschinen- und Industriedaten.

Die Haftungsfragen wurden insbesondere mit dem Schwerpunkt auf die rechtliche Absicherung von Open-Source-Entwicklungen oder auftretenden Schäden durch Konstruktionsfehler diskutiert. Als juristische Schwerpunkte werden dabei Fragen angesehen wie: „Wer haftet im Falle einer schadhafte Open-Source-Software, die vielleicht sogar ‚unfertig‘ veröffentlicht wurde?“ und „Wie ist nachzuweisen, in welchem Schritt des Fertigungsprozesses ein Fehler aufgetreten ist?“, auf die es Antworten zu finden gilt. Unklarheiten bestehen auch in der Abgrenzung zwischen Nutzungs- und Urheberrechten, so wirft etwa auch der 3D-Druck Klärungsbedarfe bezüglich Original und Fälschung auf. Hierbei stellt sich insbesondere die Frage nach Optionen für ein Lizenzmanagement.

Für die weitere Arbeit der Fachgruppe haben sich die Experten und die Begleitforschung auf folgende nächste Schritte geeinigt:

- Erarbeitung einer Abfragemethodik, die im ersten Quartal 2018 die Einzelinteressen der Projekte befragt.
- Daraus sollten sich die Fokusthemen für die Fachgruppenarbeit 2018 ableiten lassen.

⁹¹ Eric Hilgendorf und Uwe Seidel: Robotics, Autonomics, and the Law, 2017. Online verfügbar unter www.nomos-shop.de/Hilgendorf-Seidel-Robotics-Autonomics-Law/productview.aspx?product=29896 (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

- In 2018 wird eine Tagesveranstaltung zur konkreten Standortbestimmungen der Konsortien und zur vertieften Diskussion der gewählten Themenschwerpunkte organisiert.
- Im weiteren Jahresverlauf werden Webinare zu Spezialthemen angeboten, etwa zum Urnehmerschutz bei additiver Fertigung oder zur Datenhoheit von Prozessdaten.
- Aus der Arbeit der Arbeitsgruppe werden die Projektpartner praktische Handlungsoptionen für die Bewältigung der zu erwartenden rechtlichen Herausforderungen ziehen. Es besteht sowohl die Möglichkeit der Diskussion von Einzelfalllösungen wie auch der Überführung von übergreifenden Erkenntnissen in Leitfäden.
- Erstellung eines Positionspapiers, das die wesentlichen Erkenntnisse zu den PAiCE-relevanten rechtlichen Fragestellungen zusammenfasst.

Fachgruppe Vertrauenswürdige Architekturen

Die sich in den PAiCE-Projekten abzeichnenden Entwicklungen hin zu digitalisierten, stark vernetzten Industrieplattformen führen zu neuen Anforderungen an die zugrundeliegenden Systemarchitekturen industrieller IKT-Systeme. Dabei muss bei starker unternehmensübergreifender Vernetzung zugleich eine hohe funktionale Sicherheit und eine Informationssicherheit gewährleistet werden. Verlangt werden außerdem standardisierte Schnittstellen, die eine umfassende Interoperabilität und teilweise die Erfüllung von Echtzeiteigenschaften garantieren.

Richtlinien und Best-Practice-Empfehlungen für den Entwurf, die Implementierung und den Betrieb von Industrie-4.0-Plattformen und -Systemen befinden sich seit einigen Jahren in der Entwicklung. Auf der Ebene der Architekturen sind dabei vor allem das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) der Plattform Industrie 4.0⁹², das Referenzarchitekturmodell des Industrial Data Space⁹³ und die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) des Industrial Internet Consortium hervorzuheben. Eine erste Einschätzung und ein Vergleich von RAMI 4.0 und IIRA 1.7 wurden im Rahmen des Forschungsprogrammes AUTONOMIK für Industrie 4.0 gemeinsam mit Projekten, aber auch mit Experten der Plattform Industrie 4.0 durchgeführt.⁹⁴ RAMI 4.0⁹⁵ schafft die Strukturierung der Industrie-4.0-Domäne sowie ein gemeinsames Vokabular, das die Welt IT (Information Technologies) und OT (Operation Technologies) zusammenbringt. Im Gegensatz zu RAMI 4.0 adressiert das Industrial Internet Consortium im Referenzarchitekturmodell IIRA nicht nur die Produktion, sondern auch weitere Marktsegmente wie beispielweise Gesundheit, Energie, Smart Cities und Transport.⁹⁶ Das Referenzarchitekturmodell IIRA 1.7 wurde inzwischen überarbeitet. Die zuvor abstrakt gehaltenen Konzepte und Begrifflichkeiten wurden in der aktuellen Version IIRA 1.8 zusammengefasst und konkretisiert. Im Ergebnis der Gegenüberstellung der Referenzarchitekturmodelle stellte sich RAMI 4.0 als eine sinnvolle Orientierung und Strukturierung für die Bereiche Engineering, Automatisierung und Produktion dar.

92 Arbeitsgruppe „Referenzarchitekturen, Standards und Normung“: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Eine Einführung, BMWI, 2016. Online verfügbar unter www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/rami40-eine-einfuehrung.html (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

93 FhG: Reference Architecture Model for the Industrial Data Space, BMBF, 2017. Online verfügbar unter www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/Forschungsfelder/industrial-data-space/Industrial-Data-Space_Reference-Architecture-Model-2017.pdf (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

94 Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0: Softwarearchitekturen für Industrie 4.0 RAMI und IIRA aus Sicht der Projekte im Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0, BMWI, 2016. Online verfügbar unter www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/autonomik-softwarearchitekturen%20studie.html (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

95 ZVEI: Industrie 4.0: The Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0), 2015. Online verfügbar unter www.zvei.org/en/subjects/industry-4-0/the-reference-architectural-model-rami-40-and-the-industry-40-component/ (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

96 www.iiconsortium.org (zuletzt abgerufen am 09.01.2018).

Die Teilnehmer der Fachgruppe Vertrauenswürdige Architekturen haben in ersten gemeinsamen Diskussionen folgende zentrale Herausforderungen identifiziert:

- Es existiert Bedarf an der Schaffung eines klaren Prozessmodells (Stufenmodells) für die Generierung von Vertrauen in die Plattformen. Das Prozessmodell soll mit dem Engineering von Produkten bzw. Produktionsanlagen beginnen und bis zum laufenden Produktionsprozess – Beschaffung, Produktion, Marketing/Vertrieb, Versand/Logistik, Wartung und Kundenbetreuung – reichen. Dabei müssen die Anforderungen aus dem Blickwinkel aller beteiligten Stakeholder – Endanwender, Plattformbetreiber, Komponentenhersteller, Systemintegratoren – erfasst und in dem Prozessmodell berücksichtigt werden. Da der Entwicklungsprozess der einzelnen Komponenten in einem dynamischen Wertschöpfungsnetz verteilt wird, muss die Nachvollziehbarkeit (Traceability) der Eigenschaften der einzelnen Komponenten in diesem strukturell neuen Wertschöpfungsnetz gewährleistet werden.
- Generelle Herausforderungen für produzierende Unternehmen adressieren nach wie vor Themen wie Safety (funktionale Sicherheit), Security (IT-Sicherheit), Interoperabilität der Schnittstellen und Zertifizierung. Ein „Safe & Secure“-Prozess für die kollaborative Entwicklung von Hardware- und Softwarekomponenten muss für die entstehenden digitalen Plattformen allerdings neu definiert werden. Insbesondere bedürfen die Schnittstellen zu den Service- und Komponentenentwicklern klarer Regeln, Standards und Prozessbeschreibungen, aber auch der Kontrolle, um Vertrauen in die Plattformen zu schaffen.

Für die weitere Arbeit der Fachgruppe haben sich die Experten und die Begleitforschung auf folgende nächste Schritte geeinigt:

- Strukturierung der diskutierten Themen anhand von Wertschöpfungsnetzwerken, die in den plattformbasierten Lösungen entstehen.
- Ableitung der Querschnittskomponenten für die Funktionalitäten wie Datenaustausch, Interoperabilitätstests, Management von Identity- und Privacy der Plattformteilnehmer und -nutzer.
- Im Ergebnis sollen Best-Practice-Beispiele für Kommunikationsarchitekturen für Industrie 4.0 unter Berücksichtigung der IT-Sicherheit und der funktionalen Sicherheit ermittelt und in Form eines Leitfadens zusammengefasst werden.

Aktuelle Publikationen

Publikationen in den Jahren 2017 und 2018:

Website: www.paice.de

Präsentation aller Projekte sowie der Begleitforschung und ihrer Veranstaltungen und Publikationen

Ansprechpartnerin: Lynn Rohwer (LHLK), l.rohwer@lhlk.de

App: PAiCE

Erhältlich im Google Play Store und im Apple App Store

Präsentation aller Projekte sowie der Begleitforschung und ihrer Veranstaltungen und Publikationen

Interne Kommunikationsplattform für die PAiCE-Projekte und die Begleitforschung

Ansprechpartnerin: Lynn Rohwer (LHLK), l.rohwer@lhlk.de

Programmbroschüre „PAiCE – Digitale Technologien für die Wirtschaft“

Übersicht zu den Zielen der PAiCE-Projekte und den Arbeiten der Begleitforschung

Kurzstudie „Potenziale der Künstlichen Intelligenz in Industrie 4.0 in Deutschland“

Empirische Studie zum Wertschöpfungspotenzial künstliche Intelligenz für die deutsche Volkswirtschaft (April 2018)

Ansprechpartnerin: Dr. Inessa Seifert, seifert@iit-berlin.de

Kurzstudie „Open Engineering von Produkten – Chancen und Herausforderungen unternehmensübergreifender Kollaboration“

Fallbasierte Studie zu den Voraussetzungen und Herausforderungen eines unternehmens- und wertschöpfungskettenübergreifenden kollaborativen Engineering-Prozesses

(Herbst 2018)

Ansprechpartner: Dr. Matthias Künzel, kuenzel@iit-berlin.de

Kurzstudie „Verantwortungsvolle Servicerobotik für Anwendungen im industriellen Arbeitsumfeld und in Dienstleistungsbereichen“

Toolbox für verantwortungsvolle Technikgestaltung im Bereich der Servicerobotik (Herbst 2018)

Ansprechpartner: Dr. Julian Stubbe, stubbe@iit-berlin.de

Veranstaltungen

Veranstaltungen in den Jahren 2017 und 2018:

- 14.09.2017** Gemeinsamer Auftaktworkshop der drei Arbeitsgruppen Recht, Geschäftsmodelle und Vertrauenswürdige Architekturen, Berlin
Ansprechpartnerin: Birgit Buchholz, buchholz@iit-berlin.de
- 02.11.2017** Synergieworkshop des Clusters Robotik in PAiCE; Stuttgart
Ansprechpartner: Dr. Steffen Wischmann, wischmann@iit-berlin.de
- 19.03.2018** Fachgruppen-Workshops
Smart Data Forum, Berlin
Ansprechpartnerin: Birgit Buchholz, buchholz@iit-berlin.de
- 24.04.2018** Workshop „Blockchain in der additiven Fertigung (3D-Druck)“
Hannover Messe 2018
Ansprechpartner: Dr. Tom Kraus, kraus@iit-berlin.de
- 24.04.2018** Gemeinsamer Workshop mit IC4F
„IT-Sicherheitskonzepte und Kommunikationsarchitekturen für die Industrie 4.0“
Hannover Messe 2018
Ansprechpartnerin: Dr. Inessa Seifert, seifert@iit-berlin.de
- 23.–27.04.2018** Ausstellung von PAiCE-Projekten auf dem BMWi-Gemeinschaftsstand
Hannover Messe 2018
Ansprechpartnerin: Lynn Rohwer (LHLK), l.rohwer@lhk.de
- 29.05.2018** Fachgruppen-Workshops
Smart Data Forum, Berlin
Ansprechpartnerin: Birgit Buchholz, buchholz@iit-berlin.de
- 19.06.2018** Workshop „Digitale Plattformen für die Servicerobotik“
Automatica 2018, München
Ansprechpartner: Dr. Steffen Wischmann, wischmann@iit-berlin.de
- 26.–29.06.2018** Gemeinschaftsstand von PAiCE-Projekten
Automatica 2018, München
Ansprechpartnerin: Lynn Rohwer (LHLK), l.rohwer@lhk.de

8 Ansprechpartner bei Projektträger und Begleitforschung

Projektträger DLR

Gerd Hembach | gerd.hembach@dlr.de
Matthias Kuom | matthias.kuom@dlr

Begleitforschung

Leitung der Begleitforschung, Kurzstudien
Peter Gabriel | gabriel@iit-berlin.de

Stellvertretende Projektleitung, Monitoring
Dr. Steffen Wischmann | wischmann@iit-berlin.de

Projektbüro
Sandra Müller | sandramueller@iit-berlin.de

Fachgruppe Geschäftsmodelle, Verwertungsunterstützung
Birgit Buchholz | buchholz@iit-berlin.de

Fachgruppe Recht
Uwe Seidel | seidel@iit-berlin.de

Fachgruppe Architekturen
Dr. Inessa Seifert | seifert@iit-berlin.de
Filiz Elmas (DIN) | filiz.elmas@din.de

Standards, Normen
Filiz Elmas (DIN) | filiz.elmas@din.de
Roman Grahle (DIN) | roman.grahle@din.de

Ergebnistransfer
Ute Rosin (LHLK) | u.rosin@lhlk.de
Lynn Rohwer (LHLK) | l.rohwer@lhlk.de

