



acatech **STUDIE**

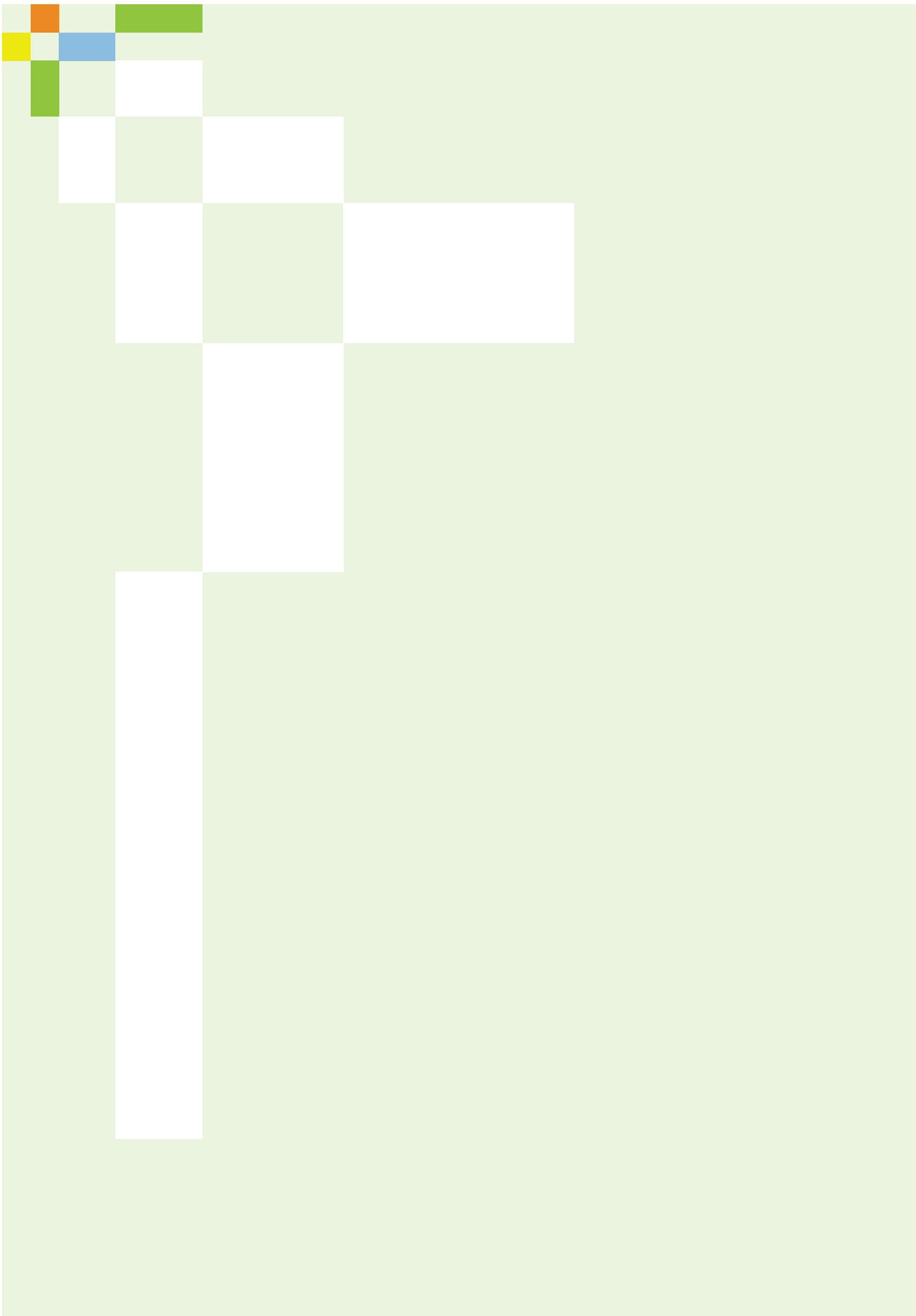
Engineering im Umfeld von Industrie 4.0

Einschätzungen und Handlungsbedarf

Michael Abramovici, Otthein Herzog (Hrsg.)

 **acatech**

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



acatech STUDIE

Engineering im Umfeld von Industrie 4.0

Einschätzungen und Handlungsbedarf

Michael Abramovici, Otthein Herzog (Hrsg.)



Die Reihe acatech STUDIE

In dieser Reihe erscheinen die Ergebnisberichte von Projekten der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften. Die Studien haben das Ziel der Politik- und Gesellschaftsberatung zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.

Inhalt

Vorwort	5
Kurzfassung	7
Projekt	9
1 Einleitung	11
2 Konzept der Studie	12
2.1 Zielsetzung	12
2.2 Vorgehensweise und Methodik	12
3 Ergebnisse	14
3.1 Professioneller Hintergrund der Befragten	14
3.2 Themenfeld Industrie 4.0	15
3.3 Themenfeld smarte Produkte und Services	17
3.4 Themenfeld Engineering	22
3.5 Themenfeld Engineering-Methoden und Engineering-IT-Werkzeuge	24
3.6 Themenfeld Migration von Organisationsstrukturen	26
4 Handlungsbedarf für das Engineering im Umfeld von Industrie 4.0	28
Literatur	30
Anhang	34
Abbildungsverzeichnis	45
Abkürzungsverzeichnis	46



Vorwort

Mit Einführung des Begriffs „Industrie 4.0“ vor etwa fünf Jahren ist diese neue Stufe der digitalen Transformation der Industrie zu einer zentralen Angelegenheit geworden – für acatech, die Politik, die Industrie, die Medien und die Gesellschaft. Zahlreiche Publikationen und Studien sind seither zu diesem Thema erschienen. Etliche Fachverbände gründeten eigene Industrie 4.0-Arbeitsgruppen; verbandsübergreifend wurde die Plattform Industrie 4.0 etabliert. In den Jahren 2013 und 2015 erarbeitete acatech konkrete Umsetzungsempfehlungen für die beiden Zukunftsprojekte der Bundesregierung *Industrie 4.0* und *Smart Service Welt*. Auch mehrere Forschungsprogramme, -initiativen und -projekte wurden in den letzten drei Jahren im Umfeld von Industrie 4.0 angestoßen.

Im Jahr 2014 gründete acatech die interdisziplinäre Arbeitsgruppe *Industrie 4.0 – Engineering of Smart Products and Services* mit dem Ziel, bestehende Aktivitäten in diesem Bereich zu analysieren und relevante Lücken aufzudecken. Rasch zeigte sich, dass die aktuellen Publikationen, Umsetzungsempfehlungen und Aktivitäten mehrheitlich die intelligente Fabrik (Smart Factory) fokussierten. Das höchste wirtschaftliche Potenzial von Industrie 4.0 sah aber die Arbeitsgruppe in neuen, „intelligenten“ Produkten und Services (smarte Produkte und Services).

Da für deutsche Unternehmen Produkt/Service Engineering ein Alleinstellungsmerkmal und wichtiger Erfolgsfaktor im internationalen Wettbewerb ist (German Engineering), sah die Arbeitsgruppe einen enormen Handlungsbedarf darin,

traditionelle Engineering-Lösungen an die neue Generation smarterer Produkte und Services im Kontext von Industrie 4.0 anzupassen beziehungsweise zu erweitern (Engineering 4.0).

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Positionierung und den Stellenwert des Engineering im Bereich Industrie 4.0 zu untersuchen sowie Problemschwerpunkte und Handlungsbedarfe in diesem Umfeld zu identifizieren. Dazu führte die acatech Arbeitsgruppe Interviews und einen Workshop mit erfahrenen Fachleuten aus Industrieunternehmen durch.

Die vorliegende Publikation fasst die Ergebnisse der Arbeitsgruppe zusammen und bildet eine solide Grundlage für eine detaillierte Folgestudie, die im Rahmen der Plattform Industrie 4.0 erstellt werden soll.

Für die Mitarbeit an dieser Studie sowie den intensiven Gedankenaustausch bedanken wir uns beim Projektteam, bei den begleitenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von acatech sowie bei allen Fachleuten, die an den Interviews und am Workshop teilgenommen haben. Unser Dank gilt auch dem acatech Förderverein sowie den Firmen Siemens und UNITY für ihre finanzielle Unterstützung, ohne die diese Studie nicht realisierbar gewesen wäre.

**Prof. Dr.-Ing.
Michael Abramovici**
Ruhr-Universität Bochum

**Prof. Dr.
Otthein Herzog**
Jacobs University und
Universität Bremen



Kurzfassung

Engineering im Zusammenhang mit Industrie 4.0 stellt eine gänzlich neue Herausforderung mit einer Vielzahl offener Fragen für alle Phasen des Produktlebenszyklus dar. Vernetzte smarte Produkte und Services eröffnen grundlegend neue Potenziale für Innovationen und neue Geschäftsfelder. Im Rahmen intensiver Gespräche mit Vertreterinnen und Vertretern aus der Wirtschaft wurden einige dieser Fragen und Innovationspotenziale adressiert und bewertet. Die wichtigsten Erkenntnisse werden im Folgenden zusammengefasst:

Das Thema Industrie 4.0 ist in der Industrie angekommen. Die meisten Unternehmen in Deutschland befassen sich bereits mit verschiedenen Aspekten von Industrie 4.0 in Form von Potenzialanalysen, Forschungs- oder Pilotprojekten.

Ein zunehmend breites Verständnis von Industrie 4.0 setzt sich in der Wirtschaft durch.

Immer mehr Unternehmen in Deutschland verbinden mit Industrie 4.0 über die intelligente Fabrik (Smart Factory) hinaus auch die digitale Transformation von Produkten, Services, Geschäftsmodellen sowie allen Phasen der Produkt- und Service-Lebenszyklen. Industrie 4.0 wird heute als Ergebnis der Durchdringung der traditionellen Industrie mit den neuesten IKT-Innovationen und dem Internet der Daten, Menschen, Services und Dinge (Internet of Everything) verstanden.

Im Mittelpunkt von Industrie 4.0 stehen neben der Smart Factory auch smarte Produkte und Services.

Die deutsche Industrie erkennt zunehmend, dass die neue Stufe der Digitalisierung zunächst traditionelle Industrieprodukte zu smarten Produkten machen wird. Smarte Produkte werden verstärkt als intelligente mechatronische Systeme mit einer Kommunikationsfähigkeit (Cyber-Physische Systeme) verstanden, die zusätzlich digitale Services (smarte Services) beinhalten. Smarte Services können in das physische Produkt entweder eingebettet

oder über das Internet mit ihm vernetzt sein. Die Grenze zwischen physischen Produktanteilen und Services smarter Produkte ist fließend. Somit sind smarte Produkte nichts anderes als smarte Produkt-Service-Systeme (PSS), die in Verbindung mit neuen disruptiven Geschäftsmodellen die größten wirtschaftlichen Potenziale innerhalb von Industrie 4.0 versprechen.

Ein effektives Engineering smarter Produkte innerhalb von Industrie 4.0 (Engineering 4.0) wird zum zentralen Erfolgsfaktor für deutsche Unternehmen.

Der Rolle des Engineering in deutschen Unternehmen wird eine zunehmende Bedeutung im Kontext von Industrie 4.0 zugesprochen.

Bestehende Engineering-Lösungen sind für smarte Produkte innerhalb von Industrie 4.0 nur begrenzt geeignet.

Aktuelle Prozesse, Methoden, IT-Werkzeuge, Organisationsstrukturen und Kompetenzen im Engineering sind zum Teil zu komplex, zu unflexibel und nicht ausreichend für das Engineering 4.0 geeignet.

Es besteht ein enormer Bedarf an Forschung und Kompetenzentwicklung im Bereich des Engineering 4.0.

Vorhandene Engineering-Lösungen müssen für smarte Produkte und für eine Integration mit anderen Industrie 4.0-Komponenten angepasst und erweitert werden. Eine Vielzahl neuer Engineering-Lösungen muss entwickelt werden, die von den neuesten Innovationen der Informations- und Kommunikationstechnologien Gebrauch machen (Smart Engineering). Für die im Engineering benötigten Kompetenzen ergibt sich daraus ein hoher Entwicklungsbedarf.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass Engineering innerhalb von Industrie 4.0 eine zentrale und zunehmende Bedeutung hat – und in diesem Umfeld enorme Handlungsbedarfe bestehen. Die Studie bildet somit eine solide Basis für eine detailliertere empirische Untersuchung. Die konkreten Bedarfe und detaillierte Handlungsempfehlungen für Forschung, Industrie und Politik sollen anhand einer Folgestudie zum Engineering smarter Produkte erarbeitet und definiert werden; diese ist im Rahmen der nationalen Plattform Industrie 4.0 bis Mitte 2017 geplant.



Projekt

Projektleitung

- Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici, Ruhr-Universität Bochum/acatech
- Prof. Dr. Otthein Herzog, Universität Bremen und Jacobs University Bremen/acatech

Autoren

- Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici, Ruhr-Universität Bochum/acatech
- Philip Gebus, Ruhr-Universität Bochum
- Prof. Dr. Otthein Herzog, Universität Bremen und Jacobs University Bremen/acatech

Projektgruppe

- Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl, Technische Universität Darmstadt/acatech
- Dr.-Ing. Roman Dumitrescu, Exzellenzcluster it's OWL
- Prof. Dr.-Ing. Martin Eigner, Technische Universität Kaiserslautern
- Prof. em. Dr.-Ing. José Luis Encarnação, Technische Universität Darmstadt/acatech
- Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg/acatech
- Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Gerhard Fettweis, Technische Universität Dresden/acatech

- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer, Karlsruher Institut für Technologie/acatech
- Philip Gebus, Ruhr-Universität Bochum
- Dr.-Ing. Haygazun Hayka, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik
- Dr.-Ing. Jorge Posada, Vicomtech-IK4
- Prof. Dr. Martin Schottenloher, Ludwig-Maximilians-Universität München/acatech
- Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark, Technische Universität Berlin
- Dr.-Ing. Daniel Steffen, UNITY AG
- Prof. Dr. André Stork, Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD
- Prof. Dr. Michael Waidner, Technische Universität Darmstadt
- Prof. Dr.-Ing. habil. Petra Winzer, Bergische Universität Wuppertal/acatech

Projektkoordination

- Dr.-Ing. Christoph Vornholt, acatech Geschäftsstelle

Projektlaufzeit

01/2015 bis 06/2016

Finanzierung

acatech dankt dem acatech Förderverein und den Firmen Siemens sowie UNITY für ihre finanzielle Unterstützung.



1 Einleitung

Die vierte industrielle Revolution – bezeichnet als Industrie 4.0 – wird die Wirtschaft in den kommenden Jahren vor enorme Herausforderungen stellen. Die Echtzeit-Vernetzung von Produkten, Prozessen und Infrastrukturen wird sich in erheblichem Maße auf Produktion, Geschäftsmodelle, Produkte und Services sowie die Arbeitswelt auswirken. Diese Veränderungen gilt es wissenschaftlich und interdisziplinär vernetzt zu begleiten.

Eine Vielzahl an Studien zum Thema Industrie 4.0 wurde in den vergangenen Jahren bereits veröffentlicht (siehe Anhang A). Branchenverbände wie der Verein Deutscher Ingenieure (VDI), der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI), der Verband der Automobilindustrie (VDA) und der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (Bitkom) gründeten eigene Arbeitsgruppen; verbandsübergreifend wurde die nationale Plattform Industrie 4.0 geschaffen. Im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung haben die Arbeitsgruppen *Industrie 4.0*¹ und *Smart Service Welt*² in den Jahren 2013 bis 2015 unter Beteiligung mehrerer acatech Mitglieder Umsetzungsempfehlungen für die Industrie 4.0 erarbeitet. Im selben Zeitraum haben die Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) sowie für Wirtschaft und Energie (BMWi) mehrere Forschungsprogramme ausgeschrieben, aus denen eine Vielzahl an laufenden und bereits abgeschlossenen Forschungs-Verbundprojekten resultierte. Eine von acatech und dem BMBF realisierte internationale Industrie 4.0-Benchmarkstudie (INBENZHAB) ist kürzlich erschienen.³

Der Fokus der aktuellen Forschungsprogramme und -initiativen im Kontext von Industrie 4.0 liegt zumeist auf der Produktion oder Infrastrukturthemen (IT-Plattformen, Datensicherheit, Arbeitsplatzveränderungen, wirtschaftliche Potenziale etc.). Selten wird hingegen thematisiert, wie sich Produkte, Services und die entsprechenden Geschäftsmodelle im Rahmen von Industrie 4.0 verändern; insbesondere die mit ihr verbundene Umgestaltung des Engineering wurde in bestehenden Studien, Arbeitskreisen und Projekten bislang kaum adressiert.

Erfolgreiche Beispiele aus der digitalen Wirtschaft sowie erste industrielle Pilotprojekte dieser neuen Produkt- und Dienstleistungsgeneration (sogenannte smarte Produkte und smarte Services)

deuten jedoch darauf hin, dass hier in Verbindung mit neuen, zum Teil disruptiven Geschäftsmodellen große Chancen für die Industrie liegen. Für deutsche Unternehmen, zu deren Stärken das Engineering innovativer Produkte und Dienstleistungen zählt (German Engineering), ist das Thema von zentraler Bedeutung, um die langfristige Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

Von acatech wurde der große Handlungsbedarf beim Engineering im Umfeld von Industrie 4.0 früh erkannt und bereits 2012 in einer Publikation⁴ dokumentiert. Ziel der 2014 gegründeten interdisziplinären acatech Arbeitsgruppe *Industrie 4.0 – Engineering of Smart Products and Services* ist es, diesen wichtigen Themenkomplex näher zu beleuchten. Mit der vorliegenden Studie will die Arbeitsgruppe eine solide Grundlage für die weitere Forschung und die Ableitung von Handlungsempfehlungen für das Engineering im Bereich Industrie 4.0 schaffen. Zu diesem Zweck wurde analysiert, welche Sicht Fachleute aus der Industrie auf das Engineering von smarten Produkten und Services haben.

Dabei sollten folgende Fragen geklärt werden:

- Wie interpretieren Unternehmen den Begriff „Industrie 4.0“ und welche Aktivitäten treiben sie in diesem Bereich voran?
- Werden in den Unternehmen die großen Veränderungspotenziale für Produkte, Services und Geschäftsmodelle im Industrie 4.0-Umfeld erkannt?
- Werden diese als Teil der Industrie 4.0-Transformation betrachtet?
- Sind die Begriffe „smartes Produkt“ und „smarter Service“ in der Industrie geläufig?
- Welche Eigenschaften und Komponenten werden dort damit assoziiert?
- Wie wird das Engineering in der Industrie heute positioniert und interpretiert?
- Werden die Veränderungen des Engineering im Umfeld von Industrie 4.0 erkannt?
- Welche Bedeutung hat das Engineering innerhalb von Industrie 4.0-Strategien im Unternehmen?
- Welche Veränderungen der Organisation sind im Engineering innerhalb von Industrie 4.0 zu erwarten?
- Worin bestehen die wichtigsten Probleme beim Engineering in der Industrie 4.0-Transformation?
- Sieht die Industrie grundsätzlich Handlungsbedarf für das Engineering im Bereich Industrie 4.0? Falls ja, welche sind die wichtigsten?

1 | Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft/acatech 2013.

2 | Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech 2015.

3 | HNI/WZL 2016.

4 | Anderl et al. 2012.



2 Konzept der Studie

2.1 Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Studie ist es, anhand eines intensiven Dialogs mit Fachleuten aktuelle Interpretationen und die Wahrnehmung von Engineering-bezogenen Themen im Bereich Industrie 4.0 zu erörtern sowie Problemschwerpunkte und erste Handlungsbedarfe zu identifizieren; diese sollen in einer detaillierten, voraussichtlich 2017 abgeschlossenen Folgestudie genauer untersucht werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen sollen konkrete Handlungsempfehlungen für Wissenschaft, Industrie und Politik abgeleitet werden.

2.2 Vorgehensweise und Methodik

Die Durchführung der Studie gliederte sich in drei konsekutive Phasen (siehe Abbildung 1).

In einem ersten Schritt wurden vorhandene Studien und Forschungsinitiativen im Umfeld von Industrie 4.0 erfasst und analysiert. Ein Auszug der betrachteten Studien ist dem Anhang A zu entnehmen. Es wurde festgestellt, dass sich bisherige Studien und Forschungsinitiativen überwiegend mit Infrastrukturthemen (beispielsweise Plattformen, IT-Sicherheit) befassen oder ihren Fokus auf die Bereiche Smart Factory beziehungsweise Smart Logistics legen. Engineering-bezogene Themen innerhalb von Industrie 4.0 wurden nicht oder lediglich punktuell adressiert. Nur wenige Industrie 4.0-Forschungsprojekte (zum Beispiel „mecpro“⁵ oder „It's OWL System Engineering“⁶) haben einen Engineering-Schwerpunkt.

In einer zweiten Phase wurden telefonische Interviews mit 67 Fachleuten aus der Industrie geführt. Wichtigstes Kriterium bei der Auswahl waren mehrjährige Erfahrungen im Engineering innerhalb der Industrie 4.0. Die Interviews wurden zwischen August und Oktober 2015 geführt. Da das Ziel der Studie darin bestand, das Meinungsbild ausgewiesener Industriefachleute zu erheben, wurde bewusst auf einen statistisch repräsentativen Anspruch verzichtet. Aufgrund der umfangreichen Erfahrung der Fachleute sowie des durch sie abgedeckten breiten Spektrums an Unternehmensbereichen, Branchen und Firmengrößen haben die Ergebnisse jedoch eine hohe Aussagekraft. Sie zeigen wichtige Tendenzen und Einschätzungen von Vorreiterfirmen der Industrie 4.0 auf und können zur Orientierung beziehungsweise als Grundlage für detaillierte Studien dienen.

Für die Interviews wurden ein einheitlicher Fragenkatalog sowie ein Leitfaden erstellt. Letzterer enthielt Hinweise zur Gesprächsführung sowie eine Einteilung möglicher Antworten in vorgegebene Antwortoptionen, die durch die befragten Fachleute ergänzt werden konnten und sollten. Die Fragen (siehe Anhang B) bezogen sich auf folgende Themenkomplexe:

- Persönlicher professioneller Hintergrund
- Verständnis von Industrie 4.0 und aktueller Stand der firmenspezifischen Aktivitäten
- Smarte Produkte und smarte Services
- Verständnis von Engineering und zukünftig dafür benötigte Kompetenzen
- Engineering-Methoden und -IT-Werkzeuge
- Migration von Engineering-Organisationsstrukturen

Die Antworten der Befragten sowie weitere Kommentare, Hinweise und detaillierte Ausführungen wurden während der Interviews protokolliert und die Ergebnisse anschließend statistisch ausgewertet (siehe Kapitel 3).



Abbildung 1: Vorgehensweise bei der Durchführung der Studie

5 | Mecpro 2016.

6 | It's OWL 2016.

Abschließend wurden die Ergebnisse ausgewählten Fachleuten im Rahmen eines Workshops vorgestellt und diskutiert. Ziel war es, aktuelle Problemschwerpunkte sowie erste Handlungsbedarfe für das Engineering im Umfeld von Industrie 4.0 zu identifizieren. An dem ganztägigen Workshop, der am 3. März 2016 bei der Firma UNITY in Paderborn stattfand, nahmen 32 Fachleute teil, darunter 23 Vertreterinnen und Vertreter von Unternehmen,

sieben Professorinnen und Professoren mit starkem Industrie-Background sowie zwei Beschäftigte von acatech. Die Mehrheit der Workshop-Beteiligten hatte zuvor an den Interviews teilgenommen. Bei der Auswahl wurde insbesondere auf eine mehrheitliche Vertretung der Industrie geachtet (nähere Informationen siehe Anhang D).



3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die aus den persönlichen Interviews mit den Fachleuten aus der Industrie gewonnenen Erkenntnisse sowie deren Auswertung dargestellt. Dabei erfolgt eine Gliederung in die sechs übergeordneten Themenkomplexe: Hintergrund der Interviewten, Industrie 4.0, smarte Produkte und Services, Engineering, Methoden und IT-Werkzeuge sowie Organisationsstrukturen. Am Ende jedes Themenkomplexes werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den Gesprächen kurz zusammengefasst und diskutiert.

3.1 Professioneller Hintergrund der Befragten

Im Rahmen der persönlichen Interviews wurden insgesamt 67 Fachleute telefonisch anhand des Fragenkatalogs und Interviewleitfadens befragt. Eine namentliche Auflistung der Befragten findet sich im Anhang C.

Bei den ausgewählten Fachleuten handelt es sich um renommierte Führungspersönlichkeiten aus der Industrie mit mindestens zehn bis 15 Jahren Engineering-Erfahrung. Sie sind im Industrie 4.0-Bereich aktiv, in den Fachkreisen sichtbar und gehören verschiedenen Unternehmensbereichen, Branchen und Firmen unterschiedlicher Größe an.

42 Prozent der Interviewten tragen eine unternehmensweite Verantwortung, 29 Prozent sind unmittelbar im Engineering-Bereich

(Produktentwicklung und Produktion) und 10 Prozent in IT-Dienstleistungsunternehmen tätig (siehe Abbildung 2).

Mehr als die Hälfte (54 Prozent) der Befragten sind zudem Mitglied in Industrie 4.0-bezogenen Fachgremien, wie beispielsweise dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI), dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), dem Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (Bitkom), dem Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie (ZVEI) oder dem ProSTEP iViP Verein. Diese Gremienzugehörigkeit unterstreicht die hohe Kompetenz der Interviewten im Bereich Industrie 4.0.

Gegliedert nach Branchen stammt mehr als ein Drittel der Befragten aus dem Maschinen- und Anlagenbau (23 Prozent Maschinenbau, 3 Prozent Anlagenbau und 9 Prozent Automatisierungstechnik). Die Informations- und Kommunikationstechnologie ist mit 18 Prozent und der Wirtschaftszweig Automotive mit 9 Prozent vertreten. Einige weitere Branchen sind Aerospace, Medien, Consulting, Forschung und Entwicklung beziehungsweise Entwicklungsdienstleistungen.

30 Prozent der Befragten gehören Unternehmen mit maximal 499 Beschäftigten, sogenannten kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), an. Davon sind 11 Prozent in Unternehmen mit maximal 49 Beschäftigten, 20 Prozent in Unternehmen mit 50 bis 249 Beschäftigten und 1 Prozent in Unternehmen mit 250 bis 499 Beschäftigten tätig. 70 Prozent der Befragten arbeiten in Großkonzernen, wovon 9 Prozent zwischen 500 und 999 und 59 Prozent mehr als 1.000 Arbeitskräfte beschäftigen (siehe Abbildung 3).

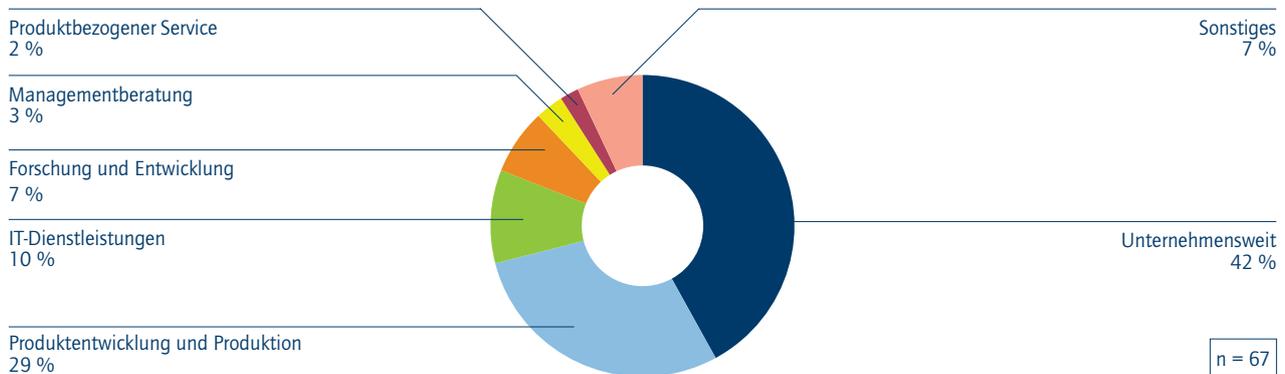


Abbildung 2: Verantwortlichkeit der Befragten

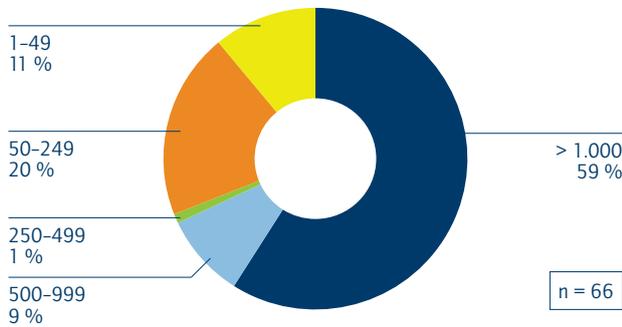


Abbildung 3: Größe der Unternehmen, in denen die Befragten tätig sind

3.2 Themenfeld Industrie 4.0

Zu Beginn der Interviews wurden das Verständnis der Befragten von Industrie 4.0 sowie eine Einschätzung zu deren Durchdringungsgrad in den jeweiligen Unternehmen erfasst. Im Folgenden werden die detaillierten Ergebnisse zu diesem Themenkomplex vorgestellt.

3.2.1 Verständnis von Industrie 4.0

Die Industrie 4.0-Interpretationen sind in der Industrie sehr heterogen und unscharf. Die Analyse von Forschungsprojekten und Studien im Umfeld von Industrie 4.0 hat ergeben, dass der Begriff hauptsächlich mit der intelligenten Fabrik (Smart Factory) in Verbindung gebracht wird; dies wird auch von 94 Prozent der

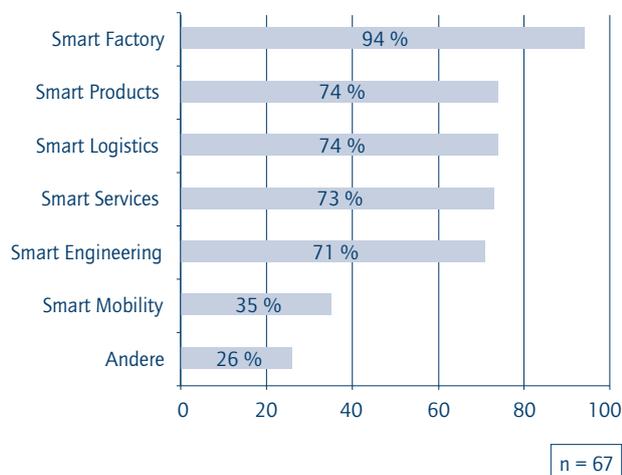


Abbildung 4: Persönliches Verständnis von Industrie 4.0

Fachleute bestätigt (siehe Abbildung 4). Allerdings setzt sich in der Industrie allmählich eine weitergehende Interpretation durch: Mehr als 70 Prozent der Befragten sind der Meinung, dass sowohl intelligente Produkte (smarte Produkte) als auch intelligente Services (smarte Services) ein integraler Bestandteil von Industrie 4.0 sind. Außerdem vertreten etwa zwei Drittel der Interviewten die Ansicht, dass das Engineering dieser smarten Produkte und Services (Smart Engineering) ebenso wie Smart Logistics wichtige Elemente von Industrie 4.0 sind. 35 Prozent der Befragten verbinden auch Aspekte der smarten Mobilität mit Industrie 4.0. Nur einzelne wenige Fachleute betrachten Themen wie Smart Home, Smart Security und Smart Data als Bestandteile von Industrie 4.0.

Das Ergebnis der Befragung hat gezeigt, dass smarte Produkte und Services beziehungsweise Smart Engineering neben der Smart Factory und Smart Logistics zu den wichtigsten Bestandteilen von Industrie 4.0 zählen.

3.2.2 Stand der Potenzialanalysen von Industrie 4.0

Ein überraschendes Ergebnis der Befragung ist, dass bereits 84 Prozent der Fachleute die Potenziale von Industrie 4.0 zumindest teilweise für ihr Unternehmen erfasst haben. Dieser Aussage stimmen 42 Prozent voll und 42 Prozent eher zu. Nur 16 Prozent der Befragten haben noch keine Potenzialanalyse durchgeführt; davon haben sich nur 5 Prozent noch gar nicht mit den Potenzialen von Industrie 4.0 für ihr Unternehmen beschäftigt (siehe Abbildung 5).

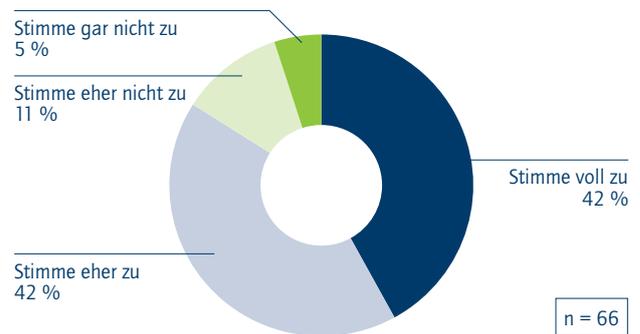


Abbildung 5: Umsetzung von Potenzialanalysen zu Industrie 4.0

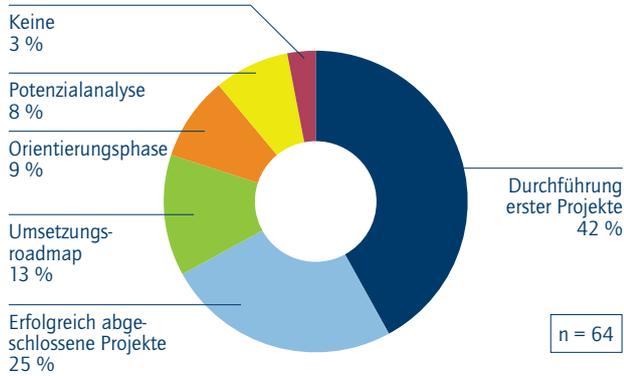


Abbildung 6: Stand der Industrie 4.0-Aktivitäten

3.2.3 Unternehmensaktivitäten im Industrie 4.0-Umfeld

Neben einer individuellen Auseinandersetzung mit dem Thema Industrie 4.0 und den damit für das eigene Unternehmen einhergehenden Potenzialen für das eigene Unternehmen sind auch konkrete unternehmensweite Aktivitäten in diesem Kontext relevant.

Bei 67 Prozent der befragten Unternehmen laufen aktuell konkrete Projekte zum Thema Industrie 4.0; davon haben 25 Prozent bereits Projekte erfolgreich abgeschlossen, 42 Prozent führen aktuell erste Projekte durch. 13 Prozent der Unternehmen haben hierzu bereits eine Roadmap für die Umsetzung ausgearbeitet,

8 Prozent haben die Potenziale analysiert, und 9 Prozent befinden sich noch in der Orientierungsphase. Nur 3 Prozent der Unternehmen haben noch überhaupt keine Aktivitäten in diesem Bereich gestartet (siehe Abbildung 6).

Diese sehr positiven Aussagen überraschen, zumal andere Studien wie etwa der VDE-Trendreport 2015⁷ ermittelt haben, dass sich nur etwa zehn Prozent der deutschen Unternehmen überhaupt operativ mit Industrie 4.0 beschäftigen. Ein Interviewpartner begründet diese optimistischen Aussagen insbesondere mit der heutigen Unschärfe der Industrie 4.0-Definition: „Das Verständnis von Industrie 4.0 wird aktuell völlig unterschiedlich eingeschätzt. Das liegt zum einen an der Unschärfe der Definition und zum anderen an der Bedeutung von Industrie 4.0 für das Unternehmen. Letztere unterscheidet sich maßgeblich in Abhängigkeit von der Größe des Unternehmens.“ Ein weiterer Experte ergänzt: „Es wurden zwar viele Projekte im Umfeld abgeschlossen. Jedoch stellt sich die Frage nach dem Umfang und dem Ziel der Projekte. Man muss hierbei klar differenzieren zwischen kleinen Pilotprojekten oder umfangreichen Projekten mit einem konkreten Praxisbezug.“

3.2.4 Zur Umsetzung von Industrie 4.0 erforderliche Unternehmensmaßnahmen

Obwohl die interviewten Fachleute Industrie 4.0 primär mit der smarten Fabrik in Verbindung bringen, sehen sie die prioritären Maßnahmen für die Umsetzung der Industrie 4.0-Vision bis zum Jahr 2020 in der zunehmenden Vernetzung bestehender Produkte (66 Prozent), in der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle

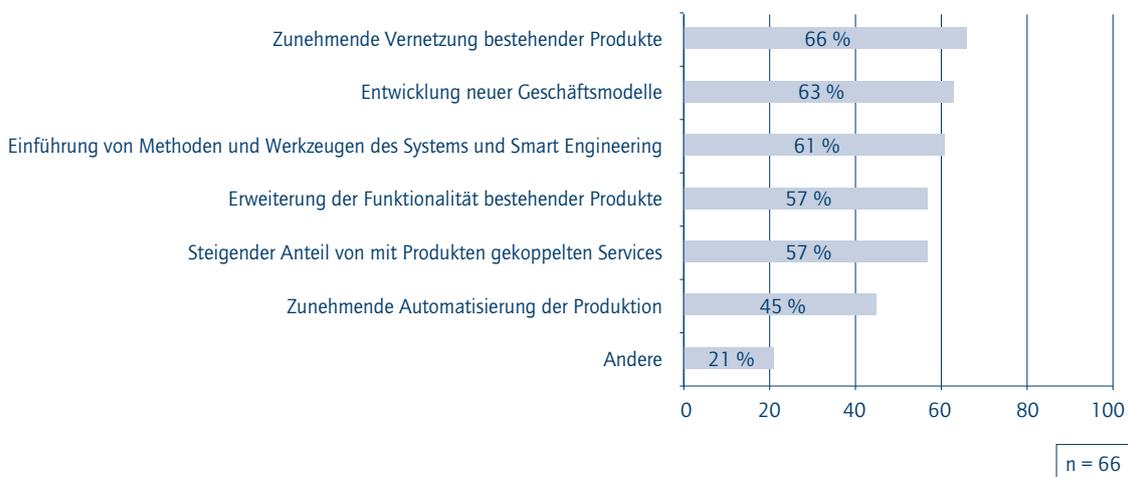


Abbildung 7: Erforderliche Entwicklungen zur Realisierung von Industrie 4.0

7 | VDE 2015.

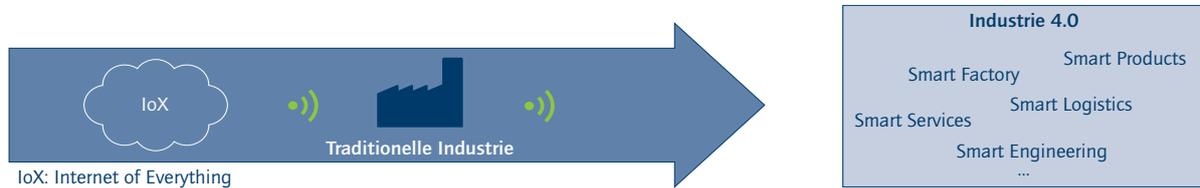


Abbildung 8: Umfassendes Verständnis von Industrie 4.0 (Quelle: eigene Darstellung)

(63 Prozent) sowie in neuen Engineering-Methoden und -Werkzeugen (61 Prozent). Außerdem sind nach Meinung der Befragten eine erweiterte Funktionalität bestehender Produkte (57 Prozent) und produktbezogene Services (57 Prozent) essenzielle Entwicklungsrichtungen. Eine zunehmende Automatisierung der Produktion – die Befragten verstehen darunter eine flexible Automatisierung – für die Realisierung der Industrie 4.0-Vision betrachten nur 45 Prozent der Interviewten als prioritäre Maßnahme bis 2020 (siehe Abbildung 7).

3.2.5 Zusammenfassung

Wenngleich Industrie 4.0 heute primär mit der Smart Factory assoziiert wird, wird der Begriff doch zunehmend breiter verstanden, im Sinne einer Durchdringung der traditionellen Industrie mit dem Internet of Everything (IoX). Diese umfassendere Interpretation von Industrie 4.0 beinhaltet zunehmend smarte Produkte und Services entlang ihrer gesamten Lebenszyklen.

Das Engineering dieser smarten Produkte und Services (Smart Engineering) wird ebenso wie Smart Logistics in der Industrie neben der smarten Produktion als zentraler Bestandteil von Industrie 4.0-Lösungen betrachtet (siehe Abbildung 8).

Unternehmen aller Branchen und Größen befassen sich bereits in zunehmendem Maße mit dem Thema Industrie 4.0, führen Projekte durch oder haben schon erste Projekte abgeschlossen. Eine aussagekräftige quantitative Einschätzung hierzu erweist sich aufgrund der unscharfen Definition von Industrie 4.0 beziehungsweise der unterschiedlichen Projektarten jedoch als sehr schwierig.

Obwohl der Begriff Industrie 4.0 heute primär mit Smart Factory assoziiert wird, sehen die befragten Fachleute prioritäre Handlungsbedarfe für die Umsetzung von Industrie 4.0 in der Vernetzung bestehender Produkte sowie in der Entwicklung neuer produktbezogener Services und neuer Geschäftsmodelle für diese smarten Produkte und Services.

3.3 Themenfeld smarte Produkte und Services

Im zweiten Teil des Interviews wurde zunächst ermittelt, ob die Befragten mit den Begriffen „smartes Produkt“ und „smarte Services“ vertraut sind. Da eine einheitliche Definition fehlt, wurden die Fachleute nach den Merkmalen und Komponenten gefragt, die sie mit diesen Begriffen verbinden. Die Auswertung dieser Angaben soll die Perspektive der Industrie wiedergeben und zu einer einheitlichen Definition beitragen.

3.3.1 Vertrautheit mit den Begriffen „smartes Produkt“ und „smarte Services“

Der Mehrheit der Interviewten sind smarte Produkte bekannt (siehe Abbildung 9). 91 Prozent geben an, sich über die Bedeutung des Begriffs im Klaren zu sein, 56 Prozent kennen sich sogar sehr gut mit smarten Produkten aus. Lediglich 9 Prozent der Befragten wissen mit dem Terminus nichts anzufangen; davon sind nach eigenen Angaben nur 6 Prozent eher nicht und lediglich 3 Prozent gar nicht mit dem Begriff und seiner Bedeutung vertraut.

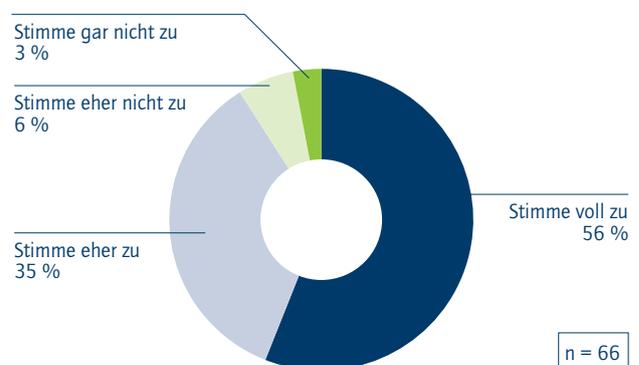


Abbildung 9: Kenntnis des Begriffs „smartes Produkt“ und seiner Bedeutung

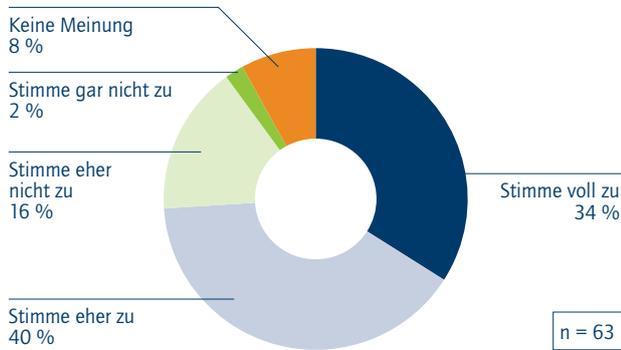


Abbildung 10: Kenntnis des Begriffs „smarter Service“ und seiner Bedeutung

Die Bedeutung smarter Services ist den Befragten weniger klar als die von smarten Produkten: Drei Viertel der Teilnehmenden geben an, die Bedeutung des Begriffs „smarter Service“ zu kennen, jedoch sind 40 Prozent nur zum Teil damit vertraut, während 34 Prozent eine konkrete Vorstellung davon haben. 18 Prozent der Befragten ist der Begriff nicht geläufig, 8 Prozent wollten sich nicht dazu äußern (siehe Abbildung 10).

3.3.2 Merkmale und Komponenten von smarten Produkten und Services

Bezüglich der Merkmale smarter Produkte betrachtet ein Großteil der interviewten Fachleute (88 Prozent) deren Kommunikations- und Vernetzungsfähigkeit als zentrale Eigenschaft (siehe Abbildung 11). Ein zweites wesentliches Merkmal sieht etwa die Hälfte der Befragten in der Intelligenz der Produkte. Weitere wichtige Eigenschaften von smarten Produkten sind nach Meinung von über 40 Prozent der Befragten Autonomie, Integration von Internet Services, eingebettete Safety und Security, Personalisierbarkeit und Interdisziplinarität. Weniger als ein Drittel der Interviewten sieht in der Benutzerfreundlichkeit, Interoperabilität, Robustheit, Rekonfigurierbarkeit, Lernfähigkeit, Benutzerzentriertheit und hohen Komplexität wichtige Eigenschaften.

Smarte Produkte setzen sich nach Meinung der befragten Fachleute aus einer Vielzahl von Komponenten zusammen (siehe Abbildung 12). Für 89 Prozent stellen Kommunikationsschnittstellen eine Hauptkomponente dar. Dieses Ergebnis bestätigt Abbildung 11, in der zu erkennen ist, dass die Kommunikationsfähigkeit für 88 Prozent der Teilnehmenden das zentrale Merkmal von smarten Produkten ist. Eingebettete Sensoren und

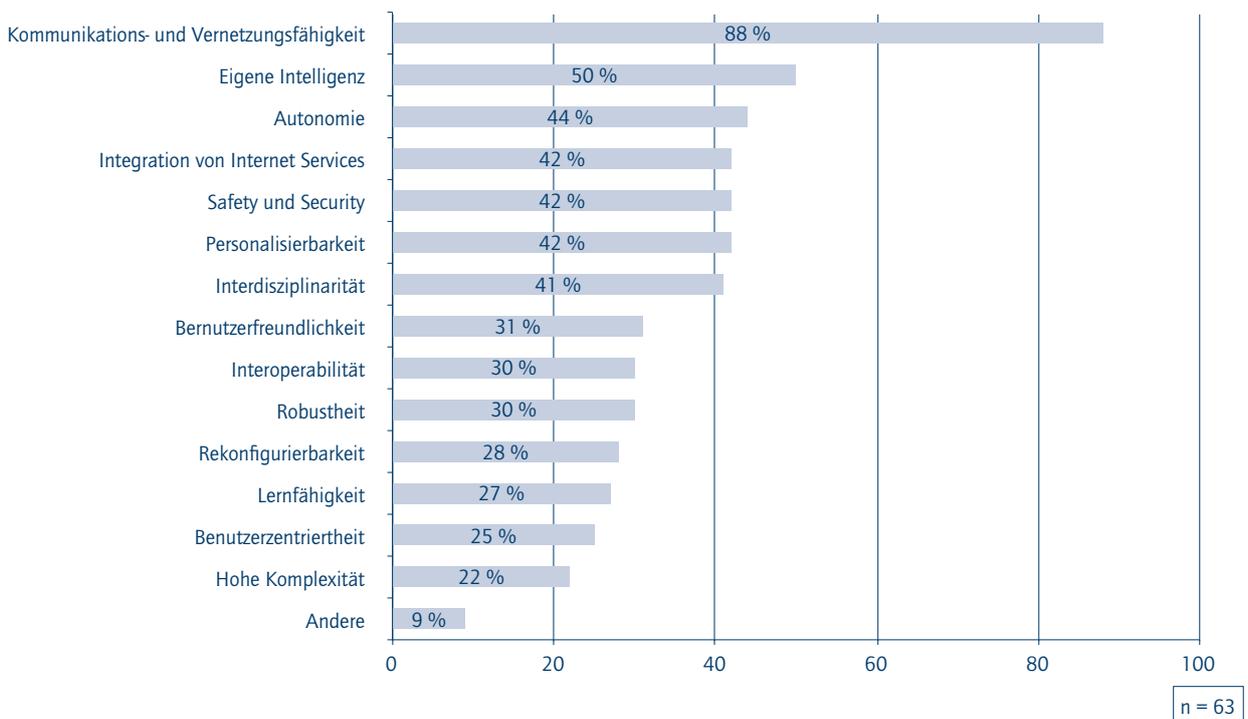


Abbildung 11: Wesentliche Merkmale und Eigenschaften von smarten Produkten

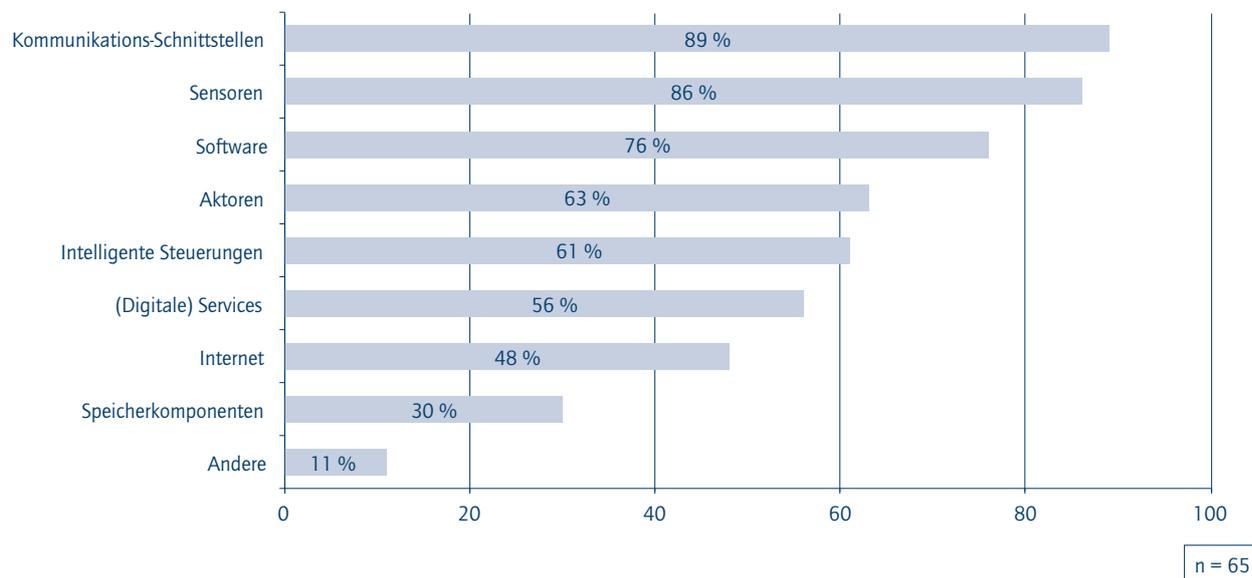


Abbildung 12: Hauptkomponenten von smarten Produkten

Software sind für 86 Prozent beziehungsweise 76 Prozent der Befragten Hauptkomponenten von smarten Produkten. Aktoren und intelligente Steuerungen gehören für über 60 Prozent zu den wichtigsten Komponenten von smarten Produkten. Für mehr als die Hälfte der Befragten zählen digitale Services und das Internet als Enabler zu den wesentlichen Bestandteilen smarter Produkte. 30 Prozent nennen auch Speicherkomponenten als notwendige Komponenten smarter Produkte.

In Bezug auf smarte Services wurde deren Konnektivität mit smarten Produkten als wichtigste Eigenschaft bezeichnet (83 Prozent). Etwa drei Viertel der Befragten nennen in diesem Kontext die Möglichkeit, einen Mehrwert durch Daten und Algorithmen zu schaffen sowie eine Anbindung an IT-Plattformen und Datenbanken zu haben (siehe Abbildung 13). Ferner ist die Nutzerintegration für mehr als die Hälfte der Befragten (56 Prozent) ein wesentliches Merkmal von smarten Services.

Etwa ein Drittel der Interviewten erwähnt in diesem Zusammenhang auch eine hohe Skalierbarkeit sowie die Agilität von smarten Services und Aspekte der Verlässlichkeit und Teilautomatisierung. Nur jede fünfte befragte Person hält die Vollautomatisierung dieser Services für eine wichtige Eigenschaft.

Auch bei smarten Services heben die Fachleute die Wichtigkeit der Kommunikation hervor (siehe Abbildung 14): 83 Prozent erwähnen die internetbasierte Kommunikation als wesentliche

Komponente, 73 Prozent sehen Big-Data-Analysen als essenziellen Bestandteil smarter Services. Die Produkt-Instandhaltung wird von 59 Prozent der Befragten als wichtiges Anwendungsfeld genannt. Weitere Einsatzbereiche smarter Services sind den Interviewten zufolge Produktentwicklung, Logistik und Produktion, aber auch nicht digitalisierte Dienstleistungen.

Die Definition und Bedeutung des Begriffs „smarter Service“ ist im Gegensatz zum Terminus „smartes Produkt“ weniger klar. Ein Teilnehmer des Workshops äußerte sich diesbezüglich zu seinen Erfahrungen: „Smarte Produkte ist ein Thema, welches in der Automobilindustrie schon angekommen ist. Bei smarten Services sieht das im Moment jedoch noch anders aus, weil insbesondere die Wertschöpfungspotenziale noch unklar sind.“ Diese Aussage fasst die Erkenntnisse aus den Interviews treffend zusammen. In den Gesprächen konnte die Mehrheit der Fachleute konkrete Beispiele für smarte Produkte nennen; ein kleiner Teil war der Ansicht, dass aktuell noch keine derartigen Produkte auf dem Markt verfügbar seien. Im Business-to-Consumer(B2C)-Segment wurden als Beispiele häufig Smartphones oder Smart Tablets genannt. Aber auch einige Beispiele aus dem Smart-Home-Bereich wurden angeführt, etwa ein via Internet ansprechbarer Herd oder intelligente Zähler (Smart Meter), die den Strom-, Wasser- oder Gasverbrauch messen, die Verbrauchswerte automatisch an den Anbieter senden und eine Auswertung der Nutzungsstatistik über entsprechende Portale erlauben. Für smarte Services konnten die Fachleute weniger Beispiele nennen. Auch hier gingen

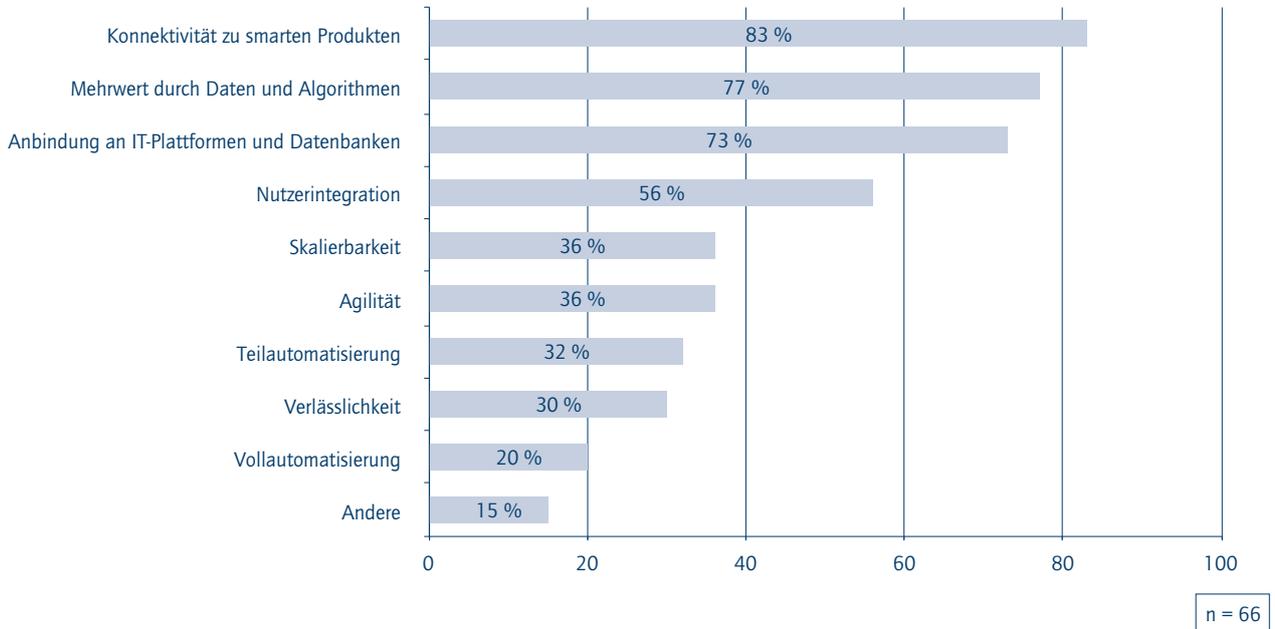


Abbildung 13: Wesentliche Merkmale von smarten Services

Ergebnisse

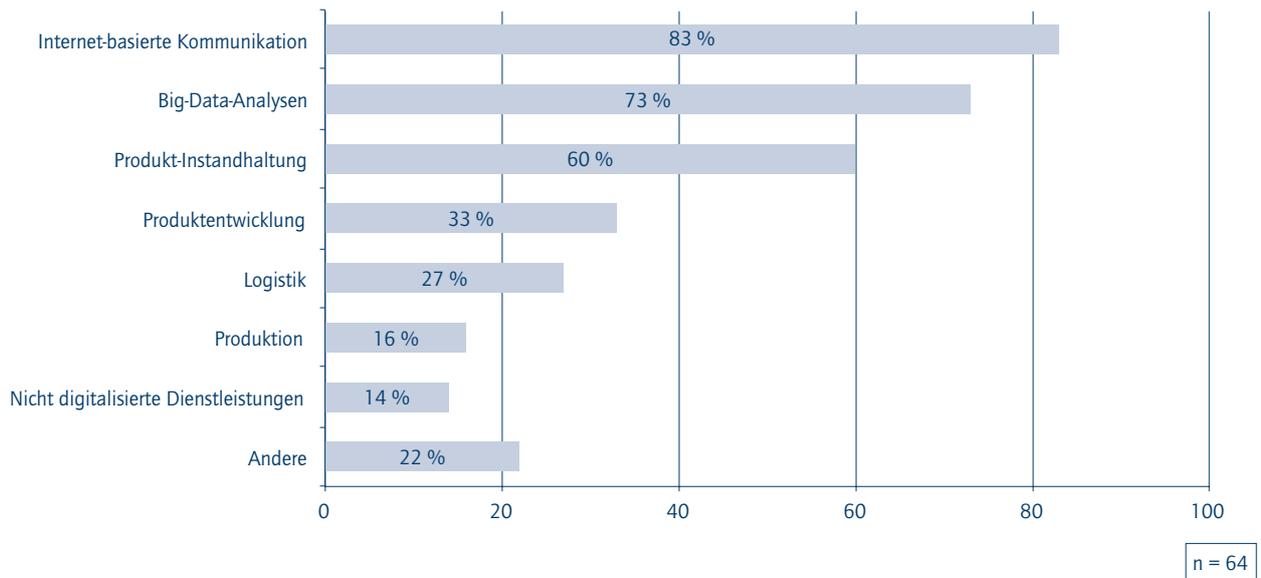


Abbildung 14: Hauptkomponenten von smarten Services

die Meinungen zu der Frage auseinander, ob überhaupt schon smarte Services im Einsatz seien. Prädiktive Instandhaltung wurde in diesem Zusammenhang häufig erwähnt und bedeutet das Sammeln, Analysieren und Auswerten von historischen und Sensordaten, um den Ausfall von Maschinen vorauszusagen und entsprechende Präventivmaßnahmen treffen zu können.

3.3.3 Zusammenfassung

Obwohl für Produkte im Bereich Industrie 4.0 eine Vielzahl unscharfer Termini wie „intelligente Objekte“, „intelligente Systeme“ oder „Cyber-Physische Systeme (CPS)“ genutzt werden, setzt sich der Begriff „smarte Produkte“ in der Industrie immer stärker durch.

Smarte Produkte werden als nächste Evolutionsstufe von Cyber-Physischen Systemen betrachtet. Während es sich bei diesen um intelligente mechatronische Produkte mit zusätzlicher Kommunikations- und Vernetzungsfähigkeit handelt, werden smarte Produkte von den Fachleuten als Cyber-Physische Systeme mit zusätzlich eingebetteten oder verbundenen Internet Services (smarte Services) definiert. Smarte Services im Kontext smarter

Produkte sind nach Meinung der Befragten vollständig mit dem physischen Produkt vernetzt beziehungsweise fester Bestandteil der physischen smarten Produkte und können im Rahmen von kundenspezifischen Gesamtlösungen unter Anwendung neuer Geschäftsmodelle angeboten werden.

Dieses Verständnis der interviewten Fachleute von smarten Produkten deckt sich mit dem Grundverständnis des acatech Projektteams sowie mit internationalen Definitionsvorschlägen, wie zum Beispiel aus dem CIRPedia-Lexikon (siehe Abbildung 15).

Die wichtigsten Merkmale smarter Produkte sind in Abbildung 16 zusammengefasst. Ein smartes Produkt muss jedoch nicht all diese Eigenschaften besitzen, sondern kann mehrere Leistungsstufen aufweisen. Die höchste Leistungsstufe zum Beispiel ist das autonome Verhalten. Die sinnvolle Leistungsstufe eines smarten Produktes muss immer firmen- beziehungsweise aufgabenspezifisch nach wirtschaftlichen Kriterien definiert werden.

Smarte Services, die zu einem smarten Produkt gehören, können entweder als Software innerhalb physischer Produkte eingebettet

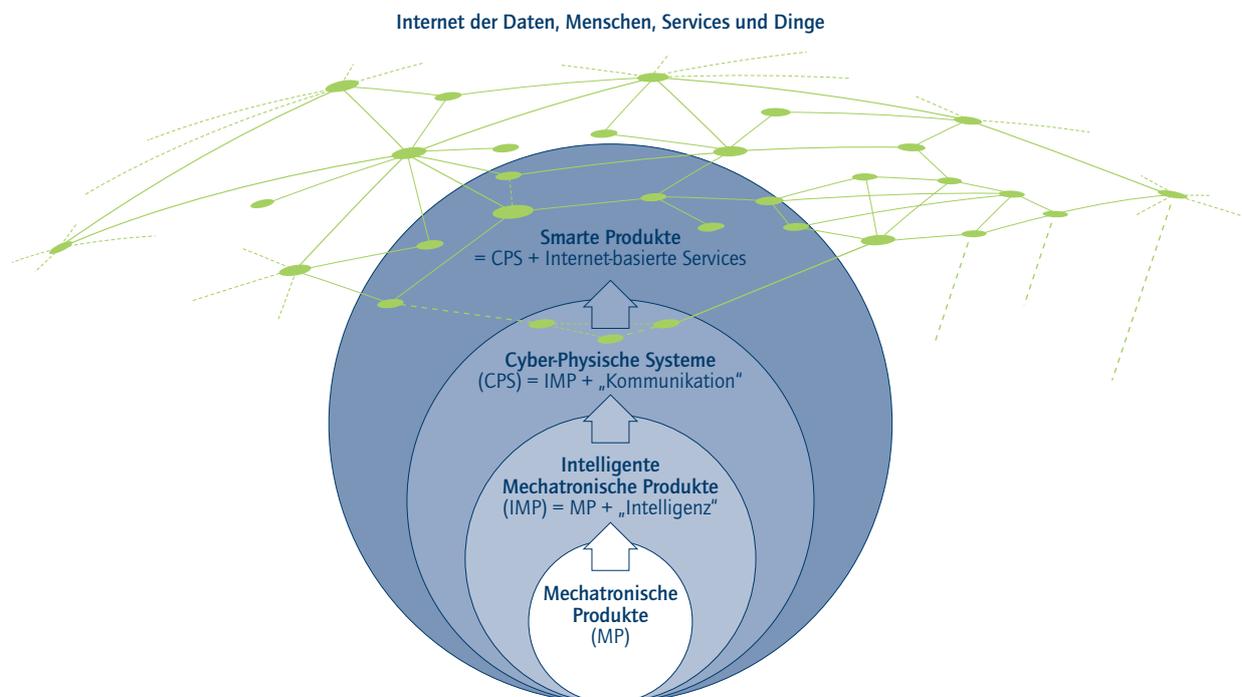


Abbildung 15: Evolutionsstufen von mechatronischen zu smarten Produkten (Quelle: Abramovici 2014)



Abbildung 16: Wichtigste Merkmale von smarten Produkten (Quelle: eigene Darstellung)

oder in der Cloud mit dem jeweiligen smarten Produkt vernetzt sein. Einfache, mit einem physischen Produkt verbundene smarte Services können Authentifizierungs- und IT-Sicherheitsservices, Monitoring des Produktverhaltens, Ferndiagnose oder Fern-Services sein. Die vielversprechendsten produktbezogenen smarten Services aber sind solche, die sich aus der Auswertung, Analyse und Prognose großer Mengen an Produkt- beziehungsweise Produktionsnutzungsdaten zusammensetzen.

3.4 Themenfeld Engineering

In diesem Teil des Interviews wurden das Verständnis der Fachleute von Engineering erfasst, dessen zukünftige Rolle bei der Umsetzung der Industrie 4.0 thematisiert und in der Zukunft zusätzlich erforderliche Engineering-Kompetenzen erfragt.

3.4.1 Verständnis von Engineering

Engineering assoziieren fast alle Fachleute mit der Produktentwicklung (siehe Abbildung 17). Zunehmend wird der Begriff jedoch breiter ausgelegt und umfasst dann alle Phasen des Lebenszyklus. 77 Prozent der Befragten betrachten die Produktionsplanung als eine Phase des Engineering, 70 Prozent auch die Serviceplanung. Die Logistik- sowie die End-of-Life-Planung zählen für jeweils 56 Prozent der Befragten zum Engineering. Mit über 50 Prozent der Nennungen gelten diese fünf Phasen als wichtigste Schritte im Engineering. 42 Prozent der Interviewten betrachten auch die Auftragsabwicklung als Teil des Engineering.

Einig sind sich die befragten Fachleute darin, dass neben den Prozessen auch die Methoden und IT-Werkzeuge Teil des

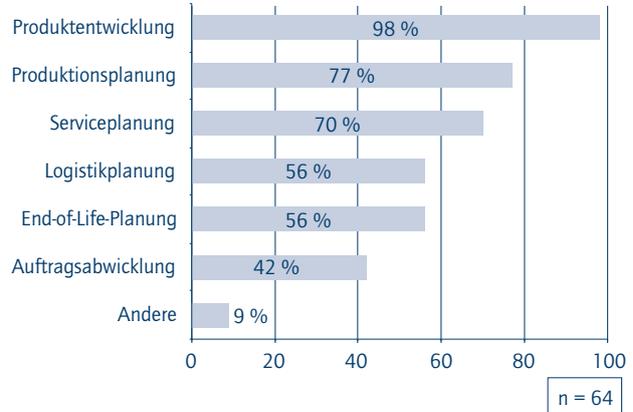


Abbildung 17: Phasen des Engineering

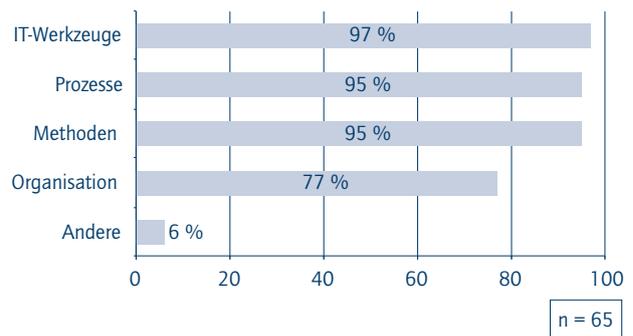


Abbildung 18: Bestandteile und Komponenten des Engineering

Engineering sind (siehe Abbildung 18). Die Engineering-Organisation stellt für knapp 77 Prozent der Interviewten eine wichtige Komponente dar.

3.4.2 Rolle des Engineering im Bereich Industrie 4.0

Die Rolle des Engineering bei der Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0 ist nach Meinung von 70 Prozent der Befragten essenziell (siehe Abbildung 19). Nur 23 Prozent teilen diese Auffassung nicht, knapp 7 Prozent haben dazu keine Meinung.

Für die Implementierung von Industrie 4.0 ist Engineering essenziell; 90 Prozent der Fachleute erwarten, dass es im Jahr 2020 eine zentrale Rolle spielen wird (siehe Abbildung 20). Lediglich 6 Prozent der Befragten sehen im Engineering keine Bedeutung, 4 Prozent haben sich zu dieser Frage nicht geäußert.

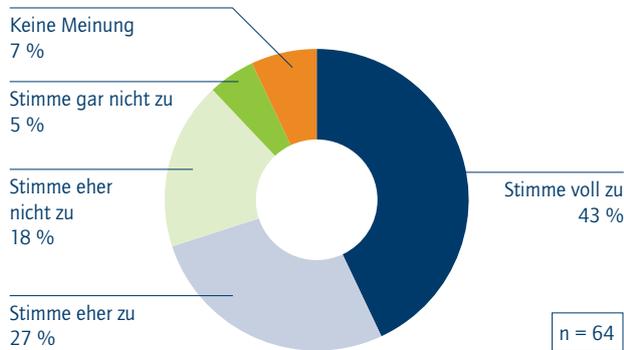


Abbildung 19: Aktive Rolle des Engineering bei der Umsetzung von Industrie 4.0

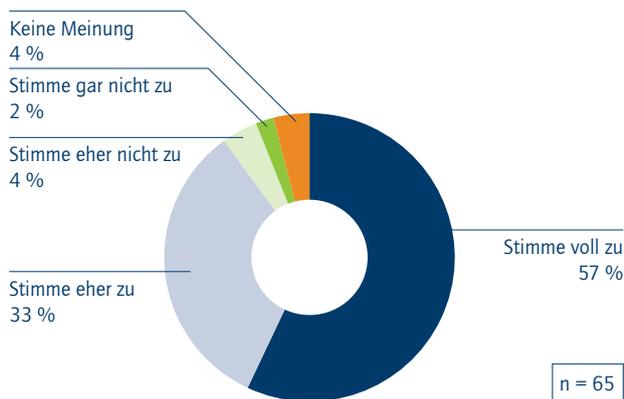


Abbildung 20: Engineering als künftig zentraler Bestandteil bei der Umsetzung von Industrie 4.0

3.4.3 Zukünftig zusätzlich erforderliche Engineering-Kompetenzen

Für die Umsetzung des Engineering im Bereich Industrie 4.0 sind erweiterte Kompetenzen erforderlich. Nach Meinung der Fachleute müssen sie vor allem hinsichtlich Systems Engineering und Service Engineering sowie smarter Produkte ausgebaut werden. Zusätzlich geben die Befragten an, dass zukünftig Kompetenzen bei Produkt-Service-Systemen (39 Prozent), agilen Methoden (38 Prozent) und Embedded Systems (29 Prozent) für die Realisierung der Industrie 4.0 von entscheidender Bedeutung sein werden (siehe Abbildung 21).

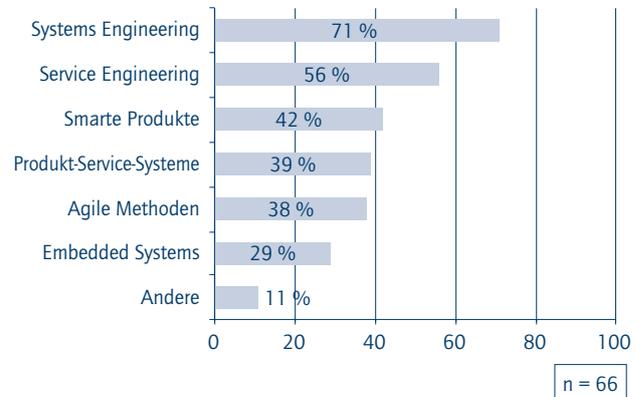


Abbildung 21: Wichtigste Engineering-Kompetenzen im Jahr 2020

3.4.4 Zusammenfassung

Das Engineering im Bereich Industrie 4.0 (Engineering 4.0) umfasst mehr als nur die Produktentwicklung. Obwohl Engineering heute noch überwiegend damit assoziiert wird, wird es zunehmend als Teil ganzer Produkt- und Service-Lebenszyklen verstanden. Diese schließen auch die Phasen Produktions-, Service-, Logistik- und End-of-Life-Planung sowie sogar Teile der Auftragsabwicklung mit ein (siehe Abbildung 22). Demnach lassen sich Engineering-Prozesse als die technisch-orientierten Planungs-, Definitions-, Konzeptions-, Dokumentations- und Simulationsprozesse von Produkten und Services im gesamten Produkt- sowie Service-Lebenszyklus definieren. Engineering ist heute primär ein Informationsprozess, der vor allem im Umfeld von Industrie 4.0 immer enger in Materialprozesse eingebunden wird (siehe Abbildung 22).

Neben den Prozessen beinhaltet das Engineering auch die entsprechenden Methoden, IT-Werkzeuge und Organisationsstrukturen sowie die hierzu erforderlichen Kompetenzen (siehe Abbildung 23).

Die aktuelle Bedeutung des Engineering bei der Realisierung von Industrie 4.0 wird als essenziell erachtet; es ist zum jetzigen Zeitpunkt aktiv in die Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0 involviert. Die befragten Fachleute sind sich einig: Engineering wird auch in Zukunft eine zentrale Rolle im Umfeld von Industrie 4.0 spielen.

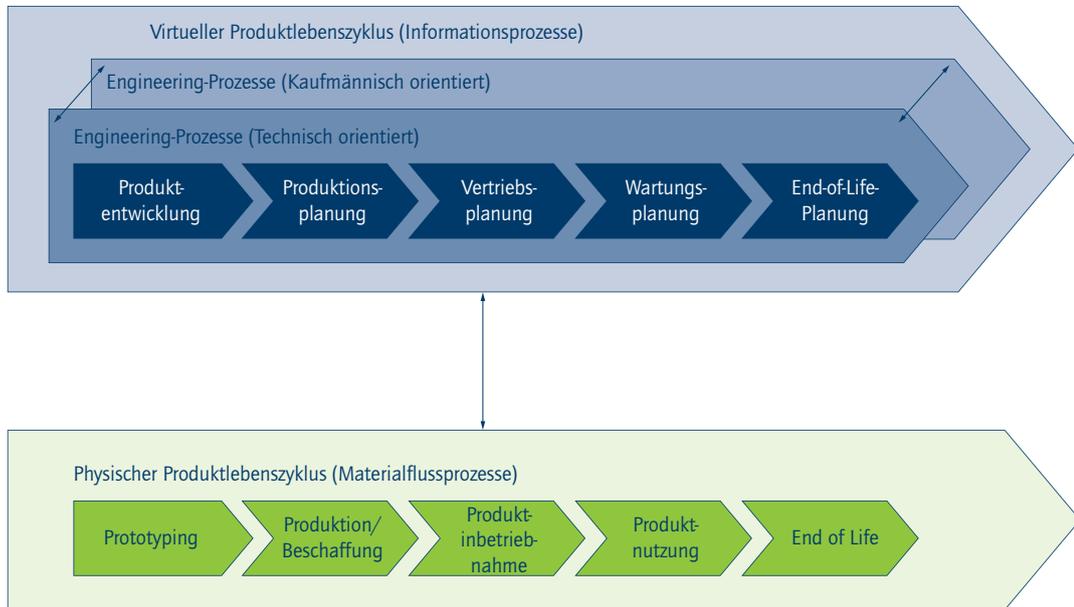


Abbildung 22: Engineering als Teil gesamter Produkt-/Service-Lebenszyklen (Quelle: eigene Darstellung)

Um der Komplexität des vielschichtigen und interdisziplinären Engineering 4.0 zu begegnen, benötigen die Ingenieure von morgen insbesondere zusätzliche Kompetenzen in den Bereichen Systems Engineering, Service Engineering und smarte Produkte. Für das Engineering smarterer Produkte und Services sind neben methodischen Fertigkeiten auch Prozess-, Organisations- und IT-Werkzeug-Kompetenzen relevant.



Abbildung 23: Die Bestandteile des Engineering im Kontext von Industrie 4.0 (Quelle: eigene Darstellung)

3.5 Themenfeld Engineering-Methoden und Engineering-IT-Werkzeuge

Dieser Themenkomplex drehte sich in den Interviews hauptsächlich um die Frage, inwieweit aktuelle Methoden und IT-Werkzeuge für ein Engineering im Bereich Industrie 4.0 (Engineering 4.0) geeignet sind.

3.5.1 Eignung von Systems Engineering und Product Service Systems Engineering für Industrie 4.0

80 Prozent der Fachleute halten Systems Engineering für das Engineering smarterer Produkte und Services im Bereich Industrie 4.0 grundsätzlich für geeignet. Nur 20 Prozent bewerteten Systems Engineering als ungeeignet: Zum einen seien dessen Methoden einigen Unternehmen noch unbekannt, zum anderen gebe es zu wenig Unterstützung durch bestehende IT-Werkzeuge. Einige der Befragten erachteten Systems Engineering auch für heutige Produkte und Unternehmensstrukturen in der Praxis als ungeeignet.

Product Service Systems (PSS) Engineering ist nach Meinung der interviewten Fachleute in seiner aktuellen Form für smarte Produkte und Services nur bedingt geeignet. 63 Prozent sehen eine grundsätzliche Eignung, 37 Prozent halten es für ungeeignet. Die Gründe hierfür sind die gleichen wie bei Systems Engineering. Als Schwachstellen von PSS-Engineering gelten die geringe Unterstützung durch IT-Werkzeuge sowie seine Komplexität und Theorielastigkeit. Trotz seiner Komplexität erfüllt PSS nicht die Anforderungen industrieller Unternehmen. Vielen ist es gänzlich unbekannt.

3.5.2 Engineering-Methoden

Gefragt nach den wichtigsten Anforderungen an Engineering-Methoden für smarte Produkte und Services gaben die Fachleute sehr unterschiedliche Antworten. 51 Prozent fordern eine stärkere Interdisziplinarität der Methoden. Als wesentlich bewerten sie auch neue Methoden zur Echtzeit-Entscheidungsunterstützung (43 Prozent). Weiterhin genannt wurden Methoden zur Hierarchisierung und Vernetzung von Teilsystemen (38 Prozent) sowie die Konfigurierbarkeit der Methoden-Bausteine (38 Prozent). Zusätzliche Anforderungen an künftige Engineering-Methoden sind deren Agilität (33 Prozent) und die Steigerung der Methoden-Flexibilität (27 Prozent).

Für die Zukunft erwarten die Befragten eine verstärkte Anwendung intuitiver Visualisierungstechniken, generischer Entwicklungs-Prozessmodelle sowie die Einfachheit und Autonomie der Methoden (siehe Abbildung 24).

3.5.3 IT-Werkzeuge

73 Prozent der Fachleute geben an, dass in ihren Unternehmen bereits IT-Werkzeuge zur Entwicklung von smarten Produkten und Services im Einsatz sind. Bestehende IT-Werkzeuge sind nach Meinung der Befragten nur bedingt für smarte Produkte und Services geeignet. 57 Prozent halten die heutigen IT-Werkzeuge für ungeeignet.

In Zukunft gilt dies umso mehr: 61 Prozent der Befragten halten die aktuell verfügbaren IT-Werkzeuge nicht für geeignet, um die zukünftige Dynamik ihrer Produkte, Unternehmensprozesse und Organisation abzubilden. 35 Prozent erachten sie hingegen als ausreichend (siehe Abbildung 25).

3.5.4 Zusammenfassung

Aus Sicht der interviewten Fachleute bedarf es für das Engineering von smarten Produkten und Services keiner gänzlich neuen Methoden. Vorhandene Methoden – insbesondere Systems

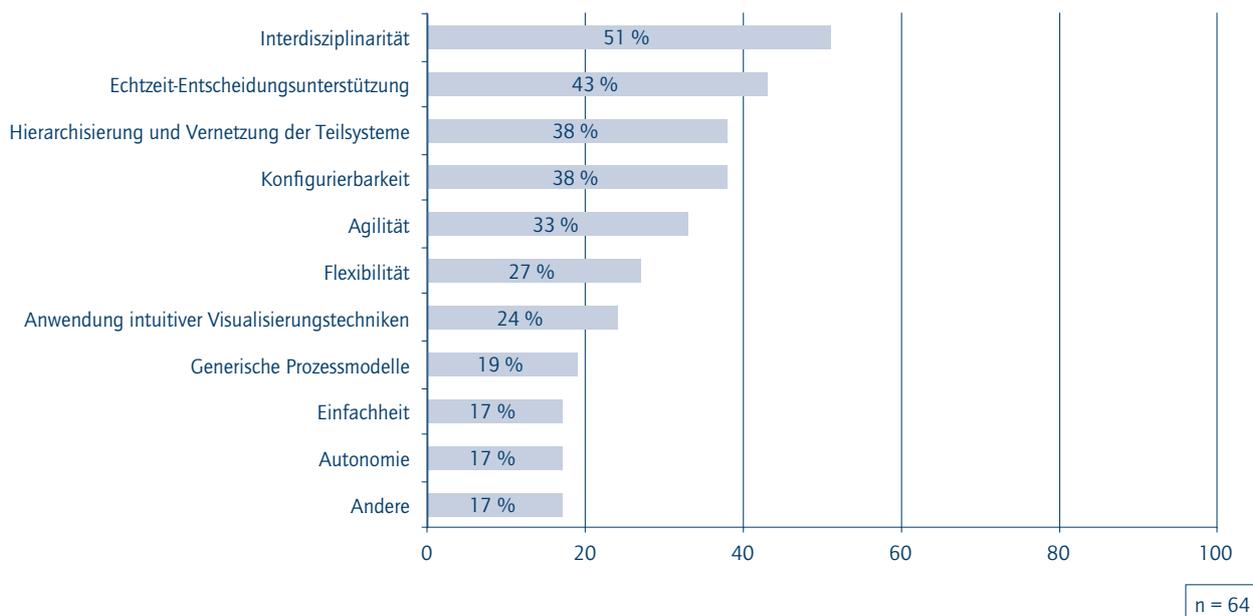


Abbildung 24: Anforderungen an Engineering-Methoden für smarte Produkte und Services

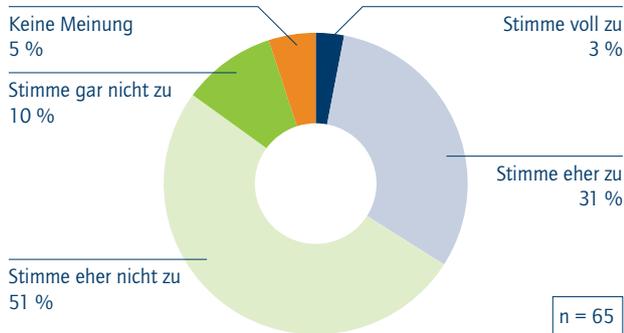


Abbildung 25: Eignung heutiger IT-Werkzeuge für die Anforderungen von Engineering 4.0

Engineering und Product Service Systems Engineering – scheinen prinzipiell geeignet, müssten aber umfassend erweitert beziehungsweise angepasst werden. Beide Methoden gelten noch als zu theoretisch, zu komplex und werden in den Unternehmen aktuell noch wenig eingesetzt; teilweise sind sie noch nicht einmal bekannt. Ein weiteres Problem sehen die Befragten in der geringen Unterstützung für diese Methoden durch geeignete IT-Werkzeuge.

Heutige IT-Werkzeuge eignen sich nach Meinung der Befragten nur bedingt für das Engineering von smarten Produkten und Services; die zukünftig zu erwartende Dynamik von Produkten,

Prozessen und Organisationen könne damit nicht ganzheitlich abgebildet werden. Die begrenzte Eignung lässt sich mitunter durch die Uneinigkeit über die Ansprüche an die IT-Werkzeuge begründen: Die Fachleute sehen unterschiedlichste Anforderungen, weshalb eine klare Priorisierung nicht möglich ist. Ein weiterer Grund für die begrenzte Eignung heutiger IT-Werkzeuge ist die heterogene IT-Landschaft zur Realisierung der Prozesse im Rahmen des Engineering und die daraus resultierende hohe Datenvielfalt.

3.6 Themenfeld Migration von Organisationsstrukturen

Abschließend wurde die Migration von Organisationsstrukturen besprochen und abgefragt. Dabei standen die Veränderungen in der Organisation im Vordergrund, die für ein erfolgreiches Engineering von smarten Produkten und Services (Engineering 4.0) notwendig sind.

3.6.1 Veränderungsbedarf

Als Voraussetzung, um smarte Produkte und Services erfolgreich anbieten zu können, sehen die Fachleute Veränderungsbedarf in den Bereichen Produkt- und Service-Entwicklung (85 Prozent), Geschäftsmodellplanung (65 Prozent) und Service-Erbringung (53 Prozent) (siehe Abbildung 26). Grundsätzlich werden in

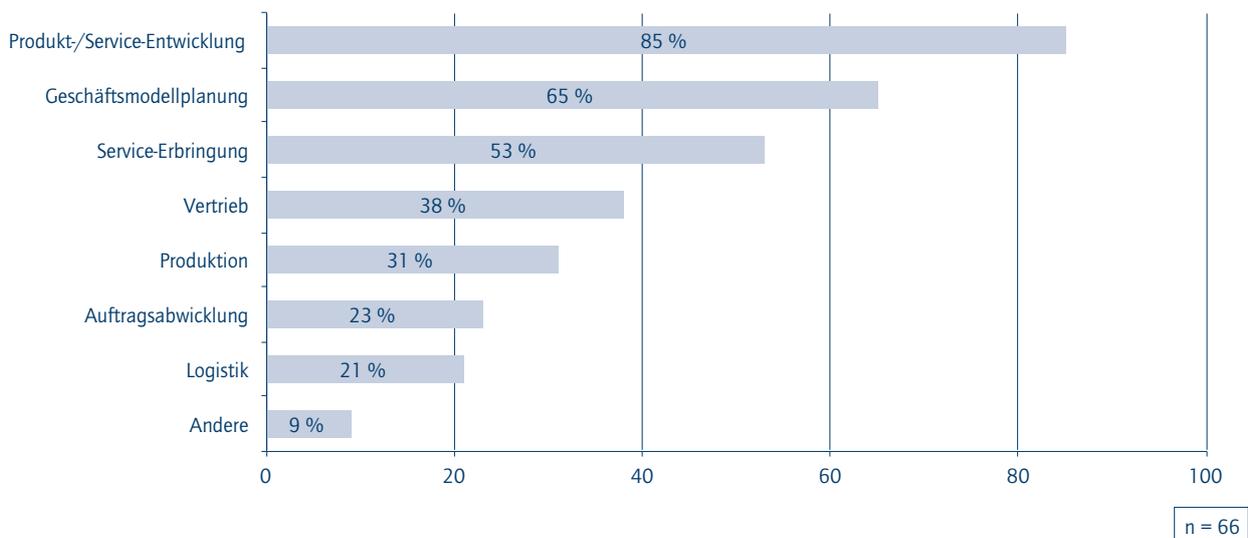


Abbildung 26: Organisatorischer Veränderungsbedarf für die Entwicklung von smarten Produkten und Services

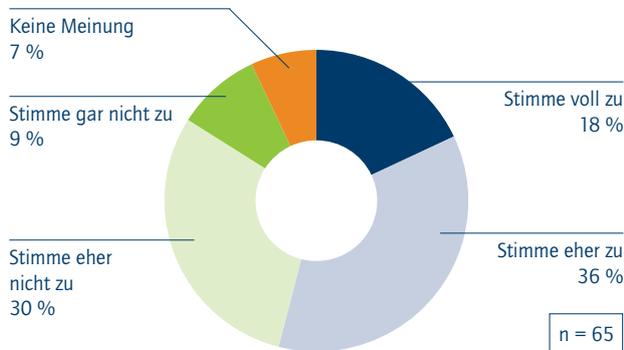


Abbildung 27: Strategien zur Transformation von Organisationsstrukturen

allen Phasen des Lebenszyklus schwerwiegende Veränderungen erwartet. Im Vertrieb sehen 38 Prozent der Befragten einen Bedarf, in der Produktion 31 Prozent. Die Bereiche Auftragsabwicklung und Logistik stufen 23 Prozent beziehungsweise 21 Prozent als veränderungsbedürftig ein.

Mehr als die Hälfte der Befragten verfolgt Strategien, um die Organisationsstrukturen für das Engineering in der Industrie 4.0 zu

transformieren (siehe Abbildung 27). 18 Prozent haben konkrete Strategien entwickelt, 36 Prozent haben sich damit zumindest auseinandergesetzt. 39 Prozent der Interviewten haben keine konkreten Transformationsstrategien, 7 Prozent haben sich zu dem Thema nicht geäußert.

3.6.2 Zusammenfassung

Die Migration der Organisationsstrukturen im Engineering umfasst alle Lebenszyklusphasen. Obwohl der größte Veränderungsbedarf insbesondere in der Produkt- und Service-Entwicklung gesehen wird, werden in allen Phasen des Lebenszyklus Veränderungen notwendig sein, damit Unternehmen erfolgreich smarte Produkte und Services anbieten können.

Die steigende Komplexität von smarten Produkten und Services stellt neue Herausforderungen an die Organisationsstrukturen, weshalb konkrete Transformationsstrategien benötigt werden. Bei der Migration von Organisationsstrukturen sollte insbesondere die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle sowie neuer smarter Product Service Systems im Fokus stehen (siehe Abbildung 28).

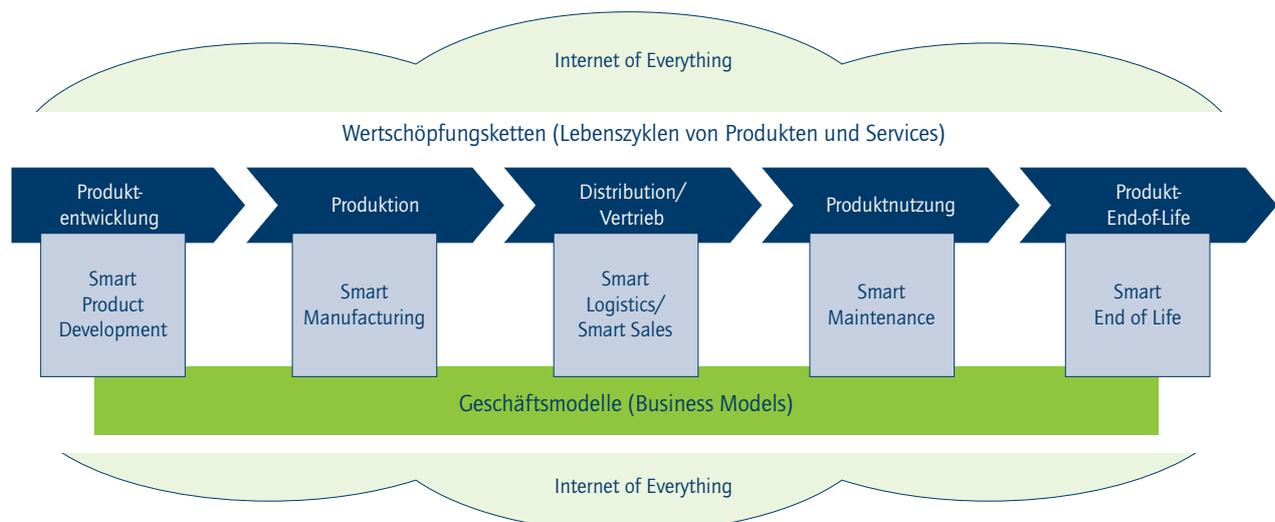


Abbildung 28: Reichweite der Organisationsveränderungen in Unternehmen (Quelle: eigene Darstellung)



4 Handlungsbedarf für das Engineering im Umfeld von Industrie 4.0

Basierend auf den Ergebnissen der Interviews diskutierten ausgewählte Fachleute in einem Workshop die identifizierten Problemschwerpunkte und brachten dabei ihre fachspezifische Expertise, Erfahrungen und Ansichten mit ein. Daraus wurden für das Engineering im Bereich Industrie 4.0 folgende Handlungsbedarfe abgeleitet:

Allgemein

- Permanente Sensibilisierung des Top-Managements für die künftige Bedeutung des Engineering
- Erhöhung des Unternehmensbudgets für Engineering 4.0
- Entwicklung von Stakeholder-spezifischen beziehungsweise Produkttypen-spezifischen Implementierungsleitfäden (vor allem für KMU)
- Entwicklung von Methoden zum Assessment des Engineering-Reifegrades in Unternehmen und zur Qualifizierung von Verbesserungspotenzialen
- Entwicklung von Engineering-IT-Sicherheitskonzepten innerhalb der unternehmensübergreifenden Cybersicherheit-Strategie
- Entwicklung generischer Geschäftsmodelltypen (kurz-, mittel- und langfristig)
- Verstärkte Standardisierungsmaßnahmen und Definition von Zuständigkeiten für Standardisierung
- Definition und Aufbau zusätzlicher Engineering-Kompetenzen/Kompetenzprofile für smarte Produkte im Kontext von Industrie 4.0
- Begleitende Weiterentwicklung der Unternehmensstruktur für ein Engineering 4.0

Prozesse

- Entwicklung generischer Engineering-Prozessmodell-Frameworks für smarte Produkte
- Entwicklung flexibler und agiler Engineering-Prozesse
- Anpassung von Engineering-Prozessen an die Weiterentwicklung von Organisationsstrukturen (zum Beispiel Collaborative Engineering)

- Differenzierte Betrachtung verschiedener Stakeholder bei der Neugestaltung von Engineering-Prozessen
- Stärkere Synchronisation zwischen disziplinspezifischen Engineering-Prozessen (Mechanik, Elektronik, Software, Services)
- Stärkere Synchronisation zwischen virtuellen und physischen Prozessen
- Stärkere Abstimmung zwischen Produktentwicklungs-, Produktionsplanungs-, Vertriebs- und Produktbetriebsprozessen
- Bessere Abstimmung zwischen formalisierten und autonom laufenden Prozessschritten
- Stärkere Einbeziehung von Informations-Feedbackprozessen
- Stärkere Synchronisation/Abstimmung von Engineering- und betriebswirtschaftlichen Unternehmensprozessen

Methoden

- Entwicklung eines generischen Gestaltungsrahmens für Engineering 4.0
- Entwicklung einfacher Methoden unter Nutzung standardisierter Modell-Bibliotheken
- Erweiterung bestehender Engineering-Methoden, Entwicklung neuer Engineering-Methoden für smarte Produkte
- Weiterentwicklung des Model Based Systems Engineering und des Product Service Systems Engineering
- Anpassung und stärkere Nutzung agiler Methoden, vor allem für das Engineering neuer smarterer Produkte
- Methoden zur simultanen Entwicklung von smarten Produkten und zugeordneten Geschäftsmodellen
- Entwicklung neuer Methoden zur Produkt-/Service-Modellierung
- Entwicklung digitaler Zwillinge von realen Produkten und deren Simulation im gesamten Produktlebenszyklus
- Stärkere Nutzung von Feedbackinformationen aus der Produktion/Produktnutzung für die Optimierung von Engineering-Prozessen
- Entwicklung von Engineering-Methoden beziehungsweise -Modellen für autonome Systeme
- Aufbau produktypspezifischer virtueller Modellbibliotheken mit unterschiedlichen Abstraktionsstufen
- Stärkere Nutzung und Entwicklung von semantischen Modellen für das Wissensmanagement in Engineering 4.0
- Entwicklung/Ausbau eines unternehmensübergreifenden Wissensmanagements
- Entwicklung eines Qualitätsmanagementkonzeptes für Engineering 4.0

IT-Werkzeuge

- Weiterentwicklung bestehender Engineering-Werkzeuge für smarte Produkte
- Entwicklung neuer IT-Werkzeuge für das Engineering, vor allem Werkzeuge zur semantischen Analyse und Auswertung von Produktnutzungsdaten
- Stärkere Modularisierung, Standardisierung vorhandener IT-Systeme im Engineering
- Flexibilisierung von IT-Architekturen
- Stärkere Integration zwischen Engineering IT und kaufmännischer IT
- Stärkere Einbeziehung von Produktnutzungsdaten in die Unternehmens-IT
- Entwicklung eines durchgehenden Wissensmanagementsystems für Engineering 4.0

Organisation

- Flexibilisierung, höhere Wandlungsfähigkeit und Agilität bestehender Organisationsstrukturen

- Stärkere Kooperation mit externen Partnern
- Stärkere Kooperation zwischen beziehungsweise Integration von Produktentwicklungsbereichen und nachgelagerten Lebenszyklus-Phasen-Bereichen (Produktion, Produktvertrieb, Produktnutzung)
- Stärkere Integration disziplinspezifischer Unternehmensbereiche
- Anpassung der Organisationsstruktur an neue veränderliche Geschäftsmodelle
- Entwicklung von Roadmaps für die Transformation der Organisationsstrukturen

Kompetenzen

- Ausbau neuer Methodenkompetenzen für Engineering 4.0
- Entwicklung von Kompetenzprofilen (Fachwissen und Querschnittskompetenzen) für Engineering 4.0
- Definition neuer Berufsbilder im Engineering 4.0
- Permanente Steigerung der Awareness für Engineering 4.0 in Unternehmen



Literatur

Abramovici 2014

Abramovici, M.: „Smart Products“. In: Laperrière, L./Reinhart, G. (Hrsg.): *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*, Berlin: Springer Verlag 2014, S. 1-5.

Accenture/General Electric 2014

Accenture/General Electric: *Industrial Internet Insights Report FOR 2015*, 2014. URL: https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/Accenture/next-gen/reassembling-industry/pdf/Accenture-Industrial-Internet-Changing-Competitive-Landscape-Industries.pdf [Stand: 28.04.2016].

acatech 2010

acatech (Hrsg.): *Cyber-Physical Systems: Innovationen durch softwareintensive eingebettete Systeme* (acatech DISKUSSION), Heidelberg: Springer Verlag 2010.

Accenture 2015

Accenture: *Driving Unconventional Growth through the Industrial Internet of Things*, 2015. URL: <https://www.accenture.com/us-en/labs-insight-industrial-internet-of-things> [Stand: 26.07.2016].

Anderl et al. 2012

Anderl, R./Eigner, M./Sendler, U./Stark, R. (Hrsg.): *Smart Engineering – Interdisziplinäre Produktentstehung* (acatech DISKUSSION), Berlin 2012.

Anderl/Fleischer 2015

Anderl, R./Fleischer, J.: *Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand*, Frankfurt 2015.

Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech 2015

Arbeitskreis Smart Service Welt/acatech (Hrsg.): *Smart Service Welt. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft*, Berlin 2015.

Auffermann et al. 2013

Auffermann, C./Kamagaev, A./Nettsträter, A./ten Hompel, M./Vastag, A./Verbeek, K./Wolf, O.: *Cyber Physical Systems in der Logistik*, Mülheim an der Ruhr: EffizienzCluster Management GmbH, 2013.

Bauer et al. 2014

Bauer, W./Schlund, S./Marrenbach, D./Ganschar, O.: *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland*, 2014. URL: <https://www.bitkom.org/Publikationen/2014/Studien/Studie-Industrie-4-0-Volkswirtschaftliches-Potenzial-fuer-Deutschland/Studie-Industrie-40.pdf> [Stand: 27.07.2016].

Bauernhansl et al. 2015

Bauernhansl, T./Emmerich, V./Paulus-Rohmer, D./Döbele, M./Schatz, A./Weskamp, M.: *Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0: Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau*, München 2015.

Bauernhansl/Lickefett 2014

Bauernhansl, T./Lickefett, M. (Hrsg.): *Strukturstudie »Industrie 4.0 für Baden-Württemberg«*, Stuttgart 2014.

Bauernhansl et al. 2014

Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*, Wiesbaden: Springer Verlag 2014.

Bischoff 2015

Bischoff, J. (Hrsg.): *Erschließen der Potenziale der Anwendung von »Industrie 4.0« im Mittelstand*, Mülheim 2015.

Buhr 2015

Buhr, D.: *Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0*, Bonn: FES 2015.

BMBF 2015

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.): *Zukunftsbild Industrie 4.0*, Bonn 2015.

BMWi 2015

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): *Industrie 4.0. Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland*, Berlin 2015.

Capgemini 2015

Capgemini: *Big and Fast Data: The Rise of Insight-Driven Business Insights at the Point of Action Will Redefine Competitive-ness*, Stuttgart 2015.

Fraunhofer IPA/IHK Rhein-Neckar und Darmstadt Rhein Main Neckar 2015

Fraunhofer IPA/IHK Rhein-Neckar und Darmstadt Rhein Main Neckar (Hrsg.): *Industrie 4.0 – Chancen und Perspektiven für Unternehmen der Metropolregion Rhein-Neckar*, Stuttgart 2015.

Frost & Sullivan 2015a

Frost & Sullivan (Hrsg.): *Industrie 4.0 Business-Ökosystem – Definition der neuen Normalität*, Frankfurt 2015.

Frost & Sullivan 2015b

Frost & Sullivan: *The Future of IT in the Manufacturing Industry – North America, Latin America, and Europe (Sample). An End-User Perspective*, 2015. URL: <http://www.marketresearch.com/product/sample-8773207.pdf> [Stand: 28.04.2016].

Geisberger/Broy 2012

Geisberger, E./Broy, M. (Hrsg.): *agendaCPS Integrierte Forschungsagenda Cyber Physical Systems*, Heidelberg: Springer Verlag 2012.

General Electric 2012

Evans, P. C./Annunziata, M.: *Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines*, 2012. URL: http://www.ge.com/docs/chapters/Industrial_Internet.pdf [Stand: 27.07.2016].

General Electric 2013

General Electric: *Industrial Internet – Eine europäische Perspektive. Neue Horizonte für „Minds and Machines“*, 2013. URL: http://www.handelsblatt.com/downloads/8407916/2/industrial-internet_handelsblatt-and-ge-at-work.pdf [Stand: 28.04.2016].

HNI et al. 2013

Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn/Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie, Projektgruppe IPT Entwurfstechnik Mechatronik/UNITY AG: *Systems Engineering in der industriellen Praxis*, 2013. URL: https://www.hni.unipaderborn.de/fileadmin/Fachgruppen/Seniorprofessur_Gausemeier/systemsengineerings/Studie_Systems-Engineering.pdf [Stand: 28.04.2016].

HNI/WZL 2016

Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn/Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen (Hrsg.): *Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung*, Paderborn 2016.

Hirsch-Kreinsen/Weyer 2014

Hirsch-Kreinsen, H./Weyer, J.: *Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“*, Dortmund: Wirtschafts- u. Sozialwiss. Fak., Techn. Univ. Dortmund 2014.

IBM Institute for Business Value/Saïd Business School der Universität Oxford 2012

IBM Institute for Business Value/Saïd Business School der Universität Oxford: *Analytics: Big Data in der Praxis. Wie innovative Unternehmen ihre Datenbestände effektiv nutzen*, 2012. URL: <http://www-935.ibm.com/services/de/gbs/thoughtleadership/GBE03519-DEDE-00.pdf> [Stand: 27.07.2016].

IDC 2014

IDC Central Europe GmbH: *IDC Studie: Industrie 4.0 durchdringt verarbeitendes Gewerbe in Deutschland, Investitionen für 2015 geplant*, 2014. URL: <http://idc.de/de/ueber-idc/press-center/59106-idc-studie-industrie-4-0-durchdringt-verarbeiten-des-gewerbe-in-deutschland-investitionen-fur-2015-geplant> [Stand: 27.07.2016].

Ingenics 2014

Ingenics AG.: *Industrie 4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung. Wie Automatisierung und Digitalisierung unsere Produktion verändern werden*, 2014. URL: https://www.ingenics.de/assets/downloads/de/Industrie40_Studie_Ingenics_IAO_VM.pdf [Stand: 28.04.2016].

IAB 2015

Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit (IAB) (Hrsg.): *Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft* (IAB Forschungsbericht 8/2015), Berlin 2015.

It's OWL 2016

It's OWL, URL: <http://www.its-owl.de/home> [Stand: 12.04.2016].

Kagermann et al. 2012

Kagermann, H./Wahlster, W./Helbig, J.: *Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0; Handlungsempfehlungen zur Umsetzung* (Bericht der Promotorengruppe Kommunikation), Berlin: Forschungsunion 2012.

**Kelkar et al. 2014**

Kelkar, O./Heger, R./Khanh Dao, D.: *Studie Industrie 4.0 – Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie*, 2014. URL: http://www.mhp.com/fileadmin/mhp.de/assets/studien/MHP-Studie_Industrie4.0_V1.0.pdf [Stand: 28.04.2015].

Koch et al. 2014

Koch, V./Kuge, S./Geissbauer, R./Schrauf, S.: *Industrie 4.0. Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution*, 2014. URL: <http://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industrie-4-0.pdf> [Stand: 27.07.2016].

KPMG/Bitkom 2015

KPMG AG/Bitkom Research GMBH (Hrsg.): *Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland*, Berlin 2015.

Lucke et al. 2014

Lucke, D./Görzig, D./Kacir, M./Volkman, J./Haist, C./Sachsenmaier, M./Rentschler, H.: *Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg“*, 2014. URL: www.afbw.eu/system/files/IPA_Strukturstudie_Industrie_4.0_BW.pdf [Stand: 27.07.2016].

McKinsey Digital 2015

McKinsey Digital: *Industry 4.0. How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector*, 2015. URL: https://www.mckinsey.de/sites/mck_files/files/mck_industry_40_report.pdf [Stand: 28.04.2016].

McKinsey Global Institute 2011

McKinsey Global Institute (Hrsg.): *Big Data: the Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity*, New York 2011.

McKinsey Global Institute 2015a

McKinsey Global Institute (Hrsg.): *Cracking the Digital Code*, New York 2015.

McKinsey Global Institute 2015b

McKinsey Global Institute (Hrsg.): *Disruptive Technologies: Advances that Will Transform Life, Business, and the Global Economy*, New York 2015.

Mecpro 2016

mecpro, URL: <https://www.mecpro.de> [Stand: 12.04.2016].

Parametric Technology Corporation/Oxford Economics 2014

Parametric Technology Corporation/Oxford Economics (Hrsg.): *Manufacturing Transformation. Achieving Competitive Advantage in a Changing Global Marketplace*, Frankfurt 2014.

Plattform Industrie 4.0/BMWi 2015

Plattform Industrie 4.0/Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): *Memorandum der Plattform Industrie 4.0*, Berlin 2015.

Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft/acatech 2013

Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft/acatech (Hrsg.): *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern*, Frankfurt 2013.

Plattform Industrie 4.0 2015

Plattform Industrie 4.0 (Hrsg.): *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0*, Berlin 2015.

PwC 2014

PricewaterhouseCoopers (Hrsg.): *Industrie 4.0. Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution*, München 2014.

Roland Berger 2014

Roland Berger Strategy Consultants (Hrsg.): *Industry 4.0. The New Industrial Revolution. How Europe will Succeed*, München 2014.

Sauter et al. 2015

Sauter, R./Bode, M./Kittelberger, D.: *Wie Industrie 4.0 die Steuerung der Wertschöpfung verändert*, 2015. URL: https://www.horvath-partners.com/fileadmin/horvath-partners.com/assets/05_Media_Center/PDFs/deutsch/WP_Industrie_4.0_Bode-Kittelberger_web_g.pdf [Stand: 27.07.2016].

Schäfer et al. 2012

Schäfer, A./Knapp, M./May, M./Voß, A./Fraunhofer IAIS (Hrsg.): *Big Data – Vorsprung durch Wissen. Innovationspotenzanalyse*, St. Augustin 2012.

Spath et al. 2013

Spath, D. (Hrsg.)/Ganschar, O./Gerlach, S./Hämmerle, M./Krause, T./Schlund, S.: *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*, Stuttgart: Fraunhofer Verlag 2013.

Tschöpe et al. 2015

Tschöpe, S./Aronska, K./Nyhuis, P.: *Was ist eigentlich Industrie 4.0? Eine quantitative Datenanalyse liefert einen Einblick*, Hannover 2015.

VDE 2015

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.: *VDE Trendreport 2015 Elektro- und Informationstechnik*, 2015.

VDMA Kommunikation 2015

VDMA Kommunikation: *Industrie 4.0 – Readiness*, 2015. URL: <http://www.impuls-stiftung.de/documents/3581372/4875835/Industrie+4.0+Readiness+IMPULS+Studie+Oktober+2015.pdf/447a6187-9759-4f25-b186-b0f5eac69974;jsessionid=AD922E7A6E86039440E01BFDF424CAE7> [Stand: 28.04.2016].

Westkämper et al. 2013

Westkämper, E./Spath, D./Constantinescu, C./Lentes, J. (Hrsg.): *Digitale Produktion*, Berlin: Springer Vieweg 2013.

Wirtschaftsrat Deutschland 2015

Wirtschaftsrat Deutschland (Hrsg.): *Positionspapier des Wirtschaftsrates Industrie 4.0. Die Zukunft der deutschen Industrie gestalten*, Berlin 2015.



Anhang A: Auszug gesichteter Studien

agendaCPS Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems

Hrsg.: acatech, 2012

Analytics: Big Data in der Praxis. Wie innovative Unternehmen ihre Datenbestände effektiv nutzen

Hrsg.: IBM Institute for Business Value/Saïd Business School der Universität Oxford, 2012

Big and Fast Data: The Rise of Insight-Driven Business Insights at the Point of Action Will Redefine Competitiveness

Hrsg.: Capgemini, 2015

Big Data – Vorsprung durch Wissen. Innovationspotenzanalyse

Hrsg.: Fraunhofer IAIS, 2012

Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity

Hrsg.: McKinsey Global Institute, 2011

Cracking the Digital Code

Hrsg.: McKinsey Global Institute, 2015

Cyber-Physical Systems: Innovationen durch softwareintensive eingebettete Systeme

Hrsg.: acatech, 2010

Cyber-Physical Systems in der Logistik

Hrsg.: EffizienzCluster LogistikRuhr, 2013

Digitale Produktion

Hrsg.: Westkämper, E./Spath, D./Constantinescu, C./Lentes, J, 2013

Disruptive Technologies: Advances that Will Transform Life, Business, and the Global Economy

Hrsg.: McKinsey Global Institute, 2013

Driving Unconventional Growth through the Industrial Internet of Things

Hrsg.: Accenture, 2014

Erschließen der Potenziale der Anwendung von „Industrie 4.0“ im Mittelstand

Hrsg.: Bischoff, J., 2015

Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0: Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau

Hrsg.: Bauernhansl, T./Emmerich, V./Paulus-Rohmer, D./Döbele, M./Schatz, A./Weskamp, M., 2015

Industrial Internet – Eine europäische Perspektive

Hrsg.: General Electric, 2013

Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines

Hrsg.: General Electric, 2012

Industrial Internet Insights Report for 2015

Hrsg.: Accenture, 2014

Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution

Hrsg.: PwC, 2014

Industrie 4.0 – Chancen und Perspektiven für Unternehmen der Metropolregion Rhein-Neckar

Hrsg.: Fraunhofer IPA/IHK Rhein-Neckar und Darmstadt Rhein Main Neckar, 2015

Industrie 4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung

Hrsg.: Ingenics AG, 2014

Industrie 4.0 – Readiness

Hrsg.: VDMA, 2015

Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland

Hrsg.: Bitkom/Fraunhofer IAO, 2014

Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland

Hrsg.: KPMG/Bitkom Research, 2015

Industrie 4.0. Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution

Hrsg.: PricewaterhouseCoopers, 2014

Industrie 4.0. Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland

Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015

- Industrie 4.0 Business-Ökosystem – Definition der neuen Normalität**
Hrsg.: Frost & Sullivan, 2015
- Industrie 4.0 durchdringt verarbeitendes Gewerbe in Deutschland**
Hrsg.: IDC, 2014
- Industrie 4.0 für Baden-Württemberg**
Hrsg.: Fraunhofer IPA, 2014
- Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration**
Hrsg.: Bauernhansl, T./ten Hompel, M./Vogel-Heuser, B., 2014
- Industry 4.0. The New Industrial Revolution. How Europe Will Succeed**
Hrsg.: Roland Berger Strategy Consultants, 2014
- Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft**
Hrsg.: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit, 2015
- Industry 4.0 How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector**
Hrsg.: McKinsey, 2015
- Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand**
Hrsg.: Anderl, R./Fleischer, J., 2015
- Manufacturing Transformation. Achieving Competitive Advantage in a Changing Global Marketplace**
Hrsg.: Parametric Technology Corporation/Oxford Economics, 2014
- Memorandum der Plattform Industrie 4.0**
Hrsg.: Plattform Industrie 4.0/Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015
- Positionspapier des Wirtschaftsrates Industrie 4.0. Die Zukunft der deutschen Industrie gestalten**
Hrsg.: Wirtschaftsrat Deutschland, 2015
- Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0**
Hrsg.: Fraunhofer IAO, 2013
- Smart Engineering Interdisziplinäre Produktentstehung (acatech DISKUSSION)**
Hrsg.: Anderl, R./Eigner, M./Sendler, U./Stark, R., 2012
- Smart Service Welt. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft**
Hrsg.: acatech Arbeitskreis Smart Service Welt, 2014
- Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0**
Hrsg.: Friedrich-Ebert-Stiftung, 2015
- Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg“**
Hrsg.: Bauernhansl, T./Lickefett, M., 2014
- Studie Industrie 4.0 – Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie**
Hrsg.: MHP, 2014
- Systems Engineering in der industriellen Praxis**
Hrsg.: Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Lehrstuhl für Produktentstehung/Fraunhofer IPT/UNITY, 2013
- The Future of IT in the Manufacturing Industry – North America, Latin America, and Europe**
Hrsg.: Frost & Sullivan, 2015
- Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern**
Hrsg.: Plattform Industrie 4.0/Bitkom/VDMA/ZVE, 2013
- Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0**
Hrsg.: Plattform Industrie 4.0, 2015
- Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“**
Hrsg.: Technische Universität Dortmund, 2014
- Was ist eigentlich Industrie 4.0? Eine quantitative Datenanalyse liefert einen Einblick**
Hrsg.: Tschöpe, S./Aronska, K./Nyhuis, P., 2015
- Wie Industrie 4.0 die Steuerung der Wertschöpfung verändert**
Hrsg.: Horváth & Partners, 2015
- Zukunftsbild Industrie 4.0**
Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2015



Anhang B: Fragenkatalog zur persönlichen Befragung der Fachleute

A. Fragen zu Ihrer Person und Ihrem Unternehmen						
A1	Welche Verantwortlichkeit haben Sie in Ihrem Unternehmen?	<input type="checkbox"/> Unternehmensweit <input type="checkbox"/> Logistik <input type="checkbox"/> Managementberatung	<input type="checkbox"/> Produktentwicklung <input type="checkbox"/> Produktbezogener Service <input type="checkbox"/> IT-Dienstleistungen	<input type="checkbox"/> Produktion <input type="checkbox"/> Forschung/Entwicklung <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____		
A2	Sind Sie in Fachgremien mit Bezug zum Thema dieses Interviews tätig? (Industrie 4.0, Engineering smarter Products und Services)	<input type="checkbox"/> Ja, in welchen? _____ _____ _____		<input type="checkbox"/> Nein		
A3	Welcher Branche gehört Ihr Unternehmen an?	<input type="checkbox"/> Maschinenbau <input type="checkbox"/> Konsumgüter <input type="checkbox"/> Forschung/Entwicklung	<input type="checkbox"/> Anlagenbau <input type="checkbox"/> Logistik <input type="checkbox"/> Consulting	<input type="checkbox"/> Medizintechnik <input type="checkbox"/> Informations- und Kommunikationstechnologie <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____		
A4	Wie viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind in Ihrem Unternehmen insgesamt beschäftigt?	_____ Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter				
B. Fragen zum Thema „Industrie 4.0“						
B1	Was umfasst nach Ihrem Verständnis Industrie 4.0? (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/> Smart Factory <input type="checkbox"/> Smart Logistics <input type="checkbox"/> Smart Mobility <input type="checkbox"/> Smart Products <input type="checkbox"/> Smart Services <input type="checkbox"/> Smart Engineering <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____				
B2	Inwieweit stimmen Sie der folgenden Aussage zu?	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll zu	keine Meinung
B2.1	Sie haben bereits die Potenziale von Industrie 4.0 für Ihr Unternehmen analysiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B3	Welche Aktivitäten im Zusammenhang mit Industrie 4.0 haben Sie bereits in Ihrem Unternehmen abgeschlossen?	<input type="checkbox"/> Orientierungsphase <input type="checkbox"/> Potenzialanalyse <input type="checkbox"/> Umsetzungsroadmap (Potenziale und was getan werden muss) <input type="checkbox"/> Durchführung erster Projekte <input type="checkbox"/> Erfolgreich abgeschlossene Projekte <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____				
B4	Wie viel Prozent des heutigen Jahresumsatzes Ihres Unternehmens planen Sie im nächsten Jahr im Umfeld von Industrie 4.0 zu investieren?	Angabe in Prozent: _____ %				

B. Fragen zum Thema „Industrie 4.0“						
B5	In welche Richtung muss sich Ihr Unternehmen bis zum Jahr 2020 weiterentwickeln, um die Vision von Industrie 4.0 zum Teil verwirklichen zu können? (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/> Komplette Neuentwicklung des Produktportfolios <input type="checkbox"/> Erweiterung der Funktionalität bestehender Produkte <input type="checkbox"/> Zunehmende Vernetzung bestehender Produkte <input type="checkbox"/> Zunehmende Automatisierung der Produktion <input type="checkbox"/> Steigender Anteil von mit Produkten gekoppelten Services <input type="checkbox"/> Entwicklung neuer Geschäftsmodelle <input type="checkbox"/> Einführung von Methoden und Werkzeugen des Systems und Smart Engineering <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____				
C. Fragen zum Thema „Smart Products“ und „Smart Services“						
C1	Inwieweit stimmen Sie der folgenden Aussagen zu?	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll zu	keine Meinung
C1.1	Der Begriff „Smart Product“ und seine Bedeutung sind Ihnen bekannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C2	Aus welchen wichtigsten Bestandteilen/Komponenten setzen sich „Smart Products“ Ihrer Meinung nach zusammen? (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/> Sensoren <input type="checkbox"/> Aktoren <input type="checkbox"/> Kommunikationsschnittstellen <input type="checkbox"/> Internet <input type="checkbox"/> (Digitale) Services <input type="checkbox"/> Software <input type="checkbox"/> Intelligente Steuerungen <input type="checkbox"/> Speicherkomponenten <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____				
C3	Welche wichtigsten Merkmale/Eigenschaften besitzen Ihrer Auffassung nach „Smart Products“? (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/> Hohe Komplexität <input type="checkbox"/> Interdisziplinarität <input type="checkbox"/> Eigene Intelligenz <input type="checkbox"/> Personalisierbarkeit <input type="checkbox"/> Autonomie <input type="checkbox"/> Kommunikations- und Vernetzungsfähigkeit <input type="checkbox"/> Integration von Internet Services <input type="checkbox"/> Rekonfigurierbarkeit <input type="checkbox"/> Benutzerzentriertheit <input type="checkbox"/> Benutzerfreundlichkeit <input type="checkbox"/> Robustheit <input type="checkbox"/> Lernfähigkeit <input type="checkbox"/> Interoperabilität <input type="checkbox"/> Safety und Security <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____				
C4	Kennen Sie Beispiele für „Smart Products“ aus Ihrer Branche?	_____ _____				
C5	Inwieweit stimmen Sie der folgenden Aussage zu?	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll zu	keine Meinung
C5.1	Der Begriff „Smart Service“ und seine Bedeutung sind Ihnen bekannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C6	Aus welchen wichtigsten Bestandteilen/Komponenten setzen sich „Smart Services“ Ihrer Meinung nach zusammen? (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/> Big-Data-Analysen <input type="checkbox"/> Internetbasierte Kommunikation <input type="checkbox"/> Nicht digitalisierte Dienstleistungen <input type="checkbox"/> Produktentwicklung <input type="checkbox"/> Produktion <input type="checkbox"/> Logistik <input type="checkbox"/> Produkt-Instandhaltung <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____				



C. Fragen zum Thema „Smart Products“ und „Smart Services“						
C7	Welche wichtigsten Merkmale/Eigenschaften besitzen Ihrer Auffassung nach „Smart Services“? (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/> Konnektivität zu Smart Products <input type="checkbox"/> Vollautomatisierung <input type="checkbox"/> Teilautomatisierung <input type="checkbox"/> Nutzerintegration <input type="checkbox"/> Skalierbarkeit <input type="checkbox"/> Agilität <input type="checkbox"/> Anbindung an IT-Plattformen und Datenbanken <input type="checkbox"/> Mehrwert durch Daten und Algorithmen <input type="checkbox"/> Verlässlichkeit <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____				
C8	Kennen Sie Beispiele für „Smart Services“ aus Ihrer Branche?	_____ _____				
C9	Welchen Anteil Ihres Umsatzes machen die folgenden Produkttypen heute (2015) aus?	1-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
C9.1	Physische Produkte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C9.2	Services	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C9.3	Integrierte Product Service Systems	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C10	Welchen Anteil Ihres Umsatzes werden die folgenden Produkttypen im Jahr 2020 ausmachen?	1-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
C10.1	Physische Produkte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C10.2	Services	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C10.3	Integrierte Product Service Systems	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D. Fragen zum Thema „Engineering“						
D1	Aus welchen Bestandteilen/Komponenten setzt sich Ihrer Auffassung nach das Engineering zusammen? (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/> Prozesse <input type="checkbox"/> Methoden <input type="checkbox"/> IT-Werkzeuge <input type="checkbox"/> Organisation <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____		Wo sehen Sie Handlungsbedarf? <input type="checkbox"/> Prozesse <input type="checkbox"/> Methoden <input type="checkbox"/> IT-Werkzeuge <input type="checkbox"/> Organisation <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____		
D2	Aus welchen Phasen setzt sich Ihrer Auffassung nach das Engineering zusammen? (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/> Auftragsabwicklung <input type="checkbox"/> Produktentwicklung <input type="checkbox"/> Produktionsplanung <input type="checkbox"/> Logistikplanung <input type="checkbox"/> Serviceplanung <input type="checkbox"/> End-of-Life-Planung <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____		Wo sehen Sie Handlungsbedarf? <input type="checkbox"/> Auftragsabwicklung <input type="checkbox"/> Produktentwicklung <input type="checkbox"/> Produktionsplanung <input type="checkbox"/> Logistikplanung <input type="checkbox"/> Serviceplanung <input type="checkbox"/> End-of-Life-Planung <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____		

D. Fragen zum Thema „Engineering“						
D3	In welchen Disziplinen im Rahmen des Engineering in Industrie 4.0 sehen Sie insbesondere Handlungsbedarf? (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/> Mechanical Engineering <input type="checkbox"/> Software Engineering <input type="checkbox"/> Electro Engineering <input type="checkbox"/> Service Engineering <input type="checkbox"/> Systems Engineering <input type="checkbox"/> Quality Engineering <input type="checkbox"/> Safety Engineering <input type="checkbox"/> Security Engineering <input type="checkbox"/> Logistic Engineering <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____				
D4	Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll zu	keine Meinung
D4.1	Das Engineering ist aktiv bei der Einführung/Umsetzung von Industrie 4.0 in Ihrem Unternehmen involviert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D4.2	Das Engineering wird im Jahr 2020 eine zentrale Rolle im Rahmen von Industrie 4.0 spielen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D5	Welche drei wichtigsten zusätzlichen Engineering-Kompetenzen werden Ihrer Auffassung nach für das Jahr 2020 benötigt?	<input type="checkbox"/> Embedded Systems <input type="checkbox"/> Product Service Systems <input type="checkbox"/> Agile Methoden <input type="checkbox"/> Systems Engineering <input type="checkbox"/> Smart Products <input type="checkbox"/> Service Engineering <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____				
E. Fragen zum Thema „Methoden“ und „IT-Werkzeuge“						
E1	Beantworten/bewerten Sie bitte die folgenden Fragen und Aussagen zum Thema „Methoden“.					
E1.1	Das Systems Engineering eignet sich für das Engineering von Smart Products und Smart Services.	<input type="checkbox"/> Ja	Nein, weil: (Mehrfachnennung möglich) <input type="checkbox"/> Unbekannt <input type="checkbox"/> Noch nicht genutzt <input type="checkbox"/> Zu komplex <input type="checkbox"/> Zu theoretisch <input type="checkbox"/> Zu wenig Unterstützung durch bestehende IT-Werkzeuge <input type="checkbox"/> Eigene Methoden <input type="checkbox"/> Bereits für heutige Produkte ungeeignet <input type="checkbox"/> Für Smart Products ungeeignet <input type="checkbox"/> Bereits für die heutigen Unternehmensstrukturen ungeeignet <input type="checkbox"/> Für zukünftige Organisationsstrukturen ungeeignet <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____			



E. Fragen zum Thema „Methoden“ und „IT-Werkzeuge“

<p>E1.2</p>	<p>Das Product Service Systems Engineering eignet sich für das Engineering von Smart Products und Smart Services.</p>	<p><input type="checkbox"/> Ja</p>	<p>Nein, weil: (Mehrfachnennung möglich)</p> <p><input type="checkbox"/> Unbekannt <input type="checkbox"/> Noch nicht genutzt <input type="checkbox"/> Zu komplex <input type="checkbox"/> Zu theoretisch <input type="checkbox"/> Zu wenig Unterstützung durch bestehende IT-Werkzeuge <input type="checkbox"/> Eigene Methoden <input type="checkbox"/> Bereits für heutige Produkte ungeeignet <input type="checkbox"/> Für Smart Products ungeeignet <input type="checkbox"/> Bereits für die heutigen Unternehmensstrukturen ungeeignet <input type="checkbox"/> Für zukünftige Organisationsstrukturen ungeeignet</p> <p><input type="checkbox"/> Sonstiges: _____</p>			
<p>E1.3</p>	<p>Welche drei wichtigsten zusätzlichen spezifischen Anforderungen stellen Smart Products und Services an Engineering-Methoden?</p>	<p><input type="checkbox"/> Agilität <input type="checkbox"/> Autonomie <input type="checkbox"/> Flexibilität <input type="checkbox"/> Konfigurierbarkeit <input type="checkbox"/> Generische Prozessmodelle <input type="checkbox"/> Einfachheit <input type="checkbox"/> Echtzeit-Entscheidungsunterstützung <input type="checkbox"/> Anwendung intuitiver Visualisierungstechniken <input type="checkbox"/> Anwendung von Social-Media-Techniken <input type="checkbox"/> Interdisziplinarität <input type="checkbox"/> Hierarchisierung und Vernetzung der Teilsysteme <input type="checkbox"/> Verarbeitung visueller/optischer Informationen (Computer-Vision)</p> <p><input type="checkbox"/> Sonstiges: _____</p>				
<p>E2</p>	<p>Beantworten/bewerten Sie bitte die folgenden Fragen und Aussagen zum Thema „IT-Werkzeuge“.</p>					
<p>E2.1</p>	<p>Heutige IT-Werkzeuge eignen sich für die Entwicklung von Smart Products und Services.</p>	<p><input type="checkbox"/> Ja</p>	<p><input type="checkbox"/> Nein, weil: _____ _____</p>			
<p>E2.2</p>	<p>Existieren heute IT-Werkzeuge in Ihrem Unternehmen, die die Entwicklung von Smart Products und Services unterstützen?</p>	<p><input type="checkbox"/> Ja</p>	<p><input type="checkbox"/> Nein</p> <p>Besteht Bedarf?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja, welcher? <input type="checkbox"/> Nein</p> <p>_____</p>			
<p>E3</p>	<p>Inwieweit stimmen Sie der folgenden Aussage zu?</p>	<p>stimme gar nicht zu</p>	<p>stimme eher nicht zu</p>	<p>stimme eher zu</p>	<p>stimme voll zu</p>	<p>keine Meinung</p>
<p>E3.1</p>	<p>Heutige IT-Werkzeuge sind in der Lage, die zukünftig zu erwartende Dynamik Ihrer Produkte, Unternehmensprozesse und Organisation abzubilden.</p>	<p><input type="checkbox"/></p>	<p><input type="checkbox"/></p>	<p><input type="checkbox"/></p>	<p><input type="checkbox"/></p>	<p><input type="checkbox"/></p>

F. Fragen zum Thema „Migration von Organisationsstrukturen“						
F1	In welchen Unternehmensbereichen sehen Sie organisatorischen Veränderungsbedarf, um erfolgreich Smart Products und Services anbieten zu können? (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/> Auftragsabwicklung <input type="checkbox"/> Produkt-/Service-Entwicklung <input type="checkbox"/> Produktion <input type="checkbox"/> Logistik <input type="checkbox"/> Service-Erbringung <input type="checkbox"/> Vertrieb <input type="checkbox"/> Geschäftsmodellplanung <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____				
F2	Inwieweit stimmen Sie der folgenden Aussage zu?	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll zu	keine Meinung
F2.1	In Ihrem Unternehmen bestehen konkrete Strategien zur Transformation der Organisationsstrukturen in Richtung smarterer Produkte und Services.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G. Abschließendes Statement der Fachleute und Notizen						



Anhang C: Befragte Fachleute (Interviews)

Nachname	Vorname	Unternehmen
Abke	Christian	Zwilling J. A. Henckels AG
Achatz	Reinhold	ThyssenKrupp AG
Ahle	Ulrich	Atos GmbH
Bach	Peter	Volvo CE
Bauer	Klaus	Trumpf GmbH & Co. KG
Baum	Gerhard	Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Beitinger	Gunter	Siemens AG
Benzinger	Klaus-Jürgen	Daimler AG
Breit	Stefan	Miele & Cie. KG
Büttner	Gerd	Airbus Operations GmbH
Conrad	Johannes	Johnsons Controls GmbH
Coruh	Turgay	Airbus SE
Emmrich	Volkhard	Dr. Wieselhuber & Partner GmbH
Ettelt	Jörg	Vaillant GmbH
Eßer	Gerd	inpro Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH
Falke	Jan	ZF Friedrichshafen AG
Frank	Ursula	Beckhoff Automation GmbH & Co. KG
Fries	Michael	Onlineprinters Holding GmbH
Gath	Max	XTL-Kommunikationssysteme GmbH
Gatzmanga	Eckard	Airbus Operations GmbH
Gelner	Rainer	Bosch-Druck GmbH
Gerhardt	Florian	NTT Data Deutschland GmbH
Greif	Paul	John Deere GmbH & Co. KG
Grohner	Steve	Adam Opel AG
Gründer	Willie	TEDATA GmbH
Hiersemann	Rolf	Hiersemann Prozessautomation GmbH
Jantzen	Frank	Audi AG
Kärcher	Bernd	Festo AG & Co. KG
Katzenbach	Rolf	Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH
Ketting	Michael	IAMT mbH
Koettnitz	Matthias	Adam Opel AG
Kress	Holger	BMW Group AG
Löwen	Ulrich	Siemens AG
Lück	Thomas	cirp GmbH
Maier	Marcel	flyeralarm GmbH

Nachname	Vorname	Unternehmen
Mehrmann	Falk	Herbert Kannegiesser GmbH
Meyerhoff	Dirk	Schüco International KG
Michels	Jan	Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
Mogo Nem	Fabrice	Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Müller	Patrick	CONTACT Software GmbH
Neidhold	Thomas	ITI GmbH
Nolting	Friedrich W.	Aegis Software GmbH
Peitz	Thomas	Wincor Nixdorf International GmbH
Pfeiffer	Rolf	DEPRAG Management AG
Preiml	Harald	HEITEC AG
Ranze	Christoph	encoway GmbH
Reinisch	Hubert	Maschinenfabrik NIEHOFF GmbH & Co. KG
Riedel	Oliver	Audi AG
Riepe	Bernd	KNIPEX-Werk KG
Rosen	Roland	Siemens AG
Rosenplänter	Sylke	Adam Opel AG
Schaub	Meike	Adam Opel AG
Schmersal	Heinz	Schmersal AG
Schmich	Matthias	Siemens Industry Software GmbH
Sendler	Ulrich	Selbstständiger Autor, Referent, Berater
Slatter	Rolf	Sensitec GmbH
Spieckermann	Sven	SimPlan AG
Stelter	Peter	KHS GmbH
Stollt	Guido	Smart Mechatronics GmbH
Tillmann	Thomas	Capvidia GmbH
Trippner	Dietmar	dreiconsult GbR
Warschat	Joachim	Fraunhofer IAO
Witt	Hendrik	Ubimax GmbH
Wong	Tina	LEONI Kabel Holding GmbH
Zipper	Bernd	Zipcon Consulting GmbH

Fünf Teilnehmende baten um die Wahrung ihrer Anonymität und sind demnach nicht in der Tabelle gelistet.

Die Fachleute Matthias Koettnitz, Sylke Rosenplänter, Meike Schaub und Steve Grohner der Opel Adam AG wurden als Gruppe interviewt.



Anhang D: Befragte Fachleute (Workshop)

Name	Vorname	Institution/Firma
Abramovici	Michael	Ruhr-Universität Bochum
Anderl	Reiner	DiK, TU Darmstadt
Beitinger	Gunter	Siemens AG
Burchardt	Carsten	Siemens AG
Büttner	Gerd	Airbus Operations GmbH
Conrad	Johannes	Johnson Controls Inc.
Eßer	Gerd	inpro mbH
Frank	Ursula	Beckhoff Automation GmbH
Frösche	Matthias	Siemens PLM Software
Gebus	Philip	Ruhr-Universität Bochum
Gründer	Willi	TEDATA GmbH
Henkel	Thorsten	Fraunhofer-Institut SIT
Hitz	Bastian	Leoni AG
Ketting	Michael	IBAF GmbH Bochum
Kohlhuber	Martina	acatech
Löwen	Ulrich	Siemens AG
Lück	Thomas	Cirp GmbH
Neidhold	Thomas	ITI GmbH
Peitz	Thomas	Wincor Nixdorf AG
Plass	Christoph	UNITY AG
Schottenloher	Martin	LMU München
Spieckermann	Sven	SimPlan AG
Stark	Rainer	IIT, TU Berlin
Steffen	Daniel	UNITY AG
Stelter	Peter	KHS GmbH
Stork	André	TU Darmstadt/Fraunhofer IGD
Tanger	Erwin	Atos SE
Thoben	Klaus-Dieter	BIBA Uni Bremen
Tillmann	Thomas	Accesa IT Group GmbH
Trippner	Dietmar	dreiconsult. GbR
Vornholt	Christoph	acatech
Wong	Tina	LEONI Kabel Holding GmbH
Zeman	Klaus	Johannes Kepler Universität Linz

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehensweise bei der Durchführung der Studie	12
Abbildung 2: Verantwortlichkeit der Befragten	14
Abbildung 3: Größe der Unternehmen, in denen die Befragten tätig sind	15
Abbildung 4: Persönliches Verständnis von Industrie 4.0	15
Abbildung 5: Umsetzung von Potenzialanalysen zu Industrie 4.0	15
Abbildung 6: Stand der Industrie 4.0-Aktivitäten	16
Abbildung 7: Erforderliche Entwicklungen zur Realisierung von Industrie 4.0	16
Abbildung 8: Umfassendes Verständnis von Industrie 4.0	17
Abbildung 9: Kenntnis des Begriffs „smartes Produkt“ und seiner Bedeutung	17
Abbildung 10: Kenntnis des Begriffs „smarter Service“ und seiner Bedeutung	18
Abbildung 11: Wesentliche Merkmale und Eigenschaften von smarten Produkten	18
Abbildung 12: Hauptkomponenten von smarten Produkten	19
Abbildung 13: Wesentliche Merkmale von smarten Services	20
Abbildung 14: Hauptkomponenten von smarten Services	20
Abbildung 15: Evolutionsstufen von mechatronischen zu smarten Produkten	21
Abbildung 16: Wichtigste Merkmale von smarten Produkten	22
Abbildung 17: Phasen des Engineering	22
Abbildung 18: Bestandteile und Komponenten des Engineering	22
Abbildung 19: Aktive Rolle des Engineering bei der Umsetzung von Industrie 4.0	23
Abbildung 20: Engineering als künftig zentraler Bestandteil bei der Umsetzung von Industrie 4.0	23
Abbildung 21: Wichtigste Engineering-Kompetenzen im Jahr 2020	23
Abbildung 22: Engineering als Teil gesamter Produkt/Service-Lebenszyklen	24
Abbildung 23: Die Bestandteile des Engineering im Kontext von Industrie 4.0	24
Abbildung 24: Anforderungen an Engineering-Methoden für smarte Produkte und Services	25
Abbildung 25: Eignung heutiger IT-Werkzeuge für die Anforderungen von Engineering 4.0	26
Abbildung 26: Organisatorischer Veränderungsbedarf für die Entwicklung von smarten Produkten und Services	26
Abbildung 27: Strategien zur Transformation von Organisationsstrukturen	27
Abbildung 28: Reichweite der Organisationsveränderungen in Unternehmen	27



Abkürzungsverzeichnis

B2C	Business to Consumer
Bitkom	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CPS	Cyber-Physische Systeme
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IoX	Internet of Everything
IT	Informationstechnik
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
PSS	Product Service Systems
P&P	Produktentwicklung und Produktion
TN	Themennetzwerk
TU	Technische Universität
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie



acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech vertritt die deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu unterstützen und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um den Diskurs über technischen Fortschritt in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft darzustellen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; das Präsidium, das von den Mitgliedern und Senatoren der Akademie bestimmt wird, lenkt die Arbeit; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten vor allem aus der Industrie, aus der Wissenschaft und aus der Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin und einem Büro in Brüssel vertreten.

Weitere Informationen unter www.acatech.de

**Herausgeber:****Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici**

Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik

Universitätsstr. 150

44801 Bochum

Prof. Dr. Otthein Herzog

Jacobs University und Universität Bremen

TZI – Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik

Am Fallturm 1

28359 Bremen

Reihenherausgeber:**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2016**

Geschäftsstelle

Karolinenplatz 4

80333 München

T +49 (0)89/52 03 09-0

F +49 (0)89/52 03 09-900

info@acatech.de

www.acatech.de

Hauptstadtbüro

Pariser Platz 4a

10117 Berlin

T +49 (0)30/2 06 30 96-0

F +49 (0)30/2 06 30 96-11

Brüssel-Büro

Rue d'Egmont/Egmontstraat 13

1000 Brüssel (Belgien)

T +32 (0)2/2 13 81-80

F +32 (0)2/2 13 81-89

Empfohlene Zitierweise:

Abramovici, M./Herzog, O. (Hrsg.): *Engineering im Umfeld von Industrie 4.0: Einschätzungen und Handlungsbedarf* (acatech STUDIE), München: Herbert Utz Verlag 2016.

ISSN 2192-6174/ISBN 978-3-8316-4501-5

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Koordination: Dr.-Ing. Christoph Vornholt

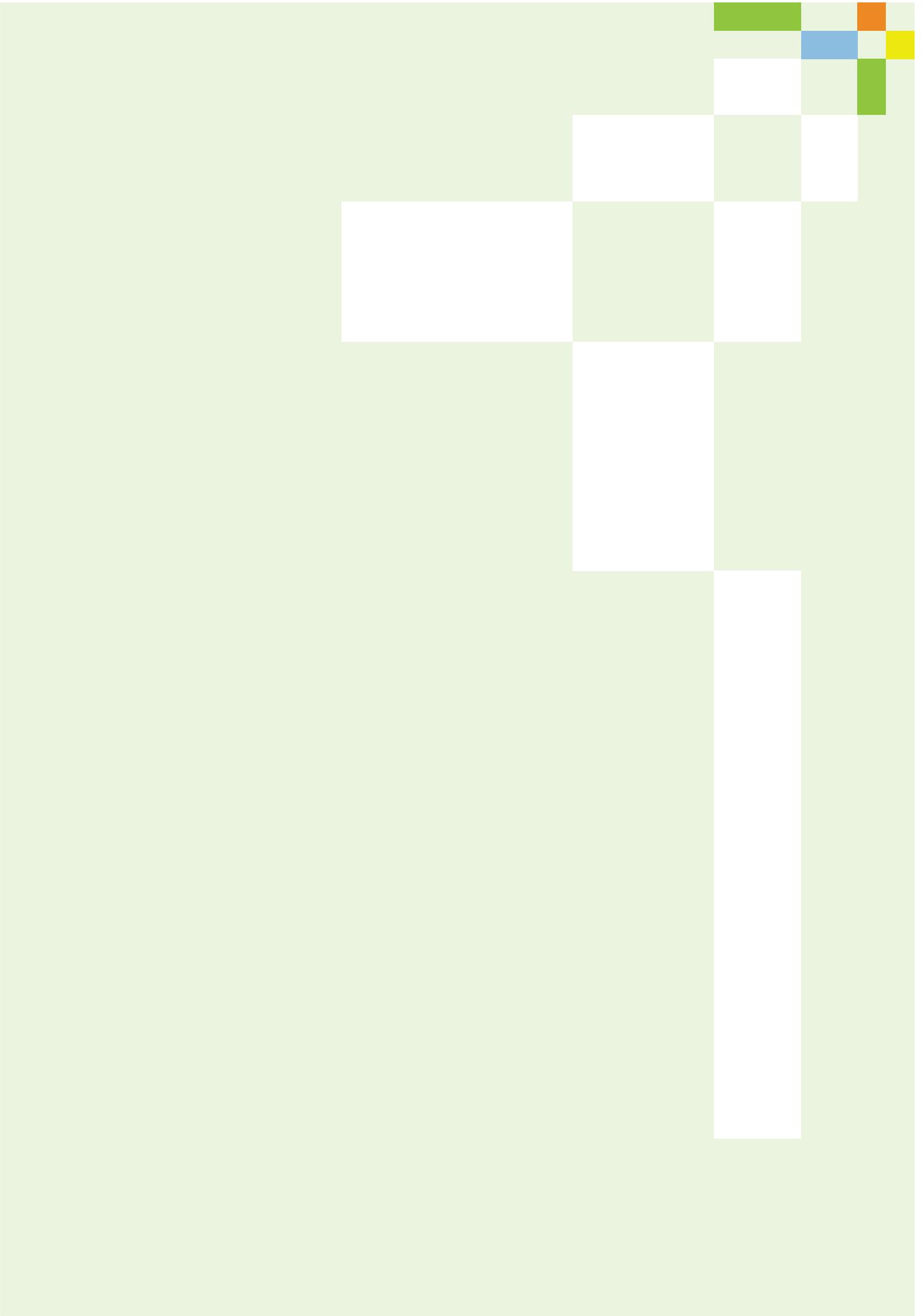
Redaktion: Birgit Obermeier

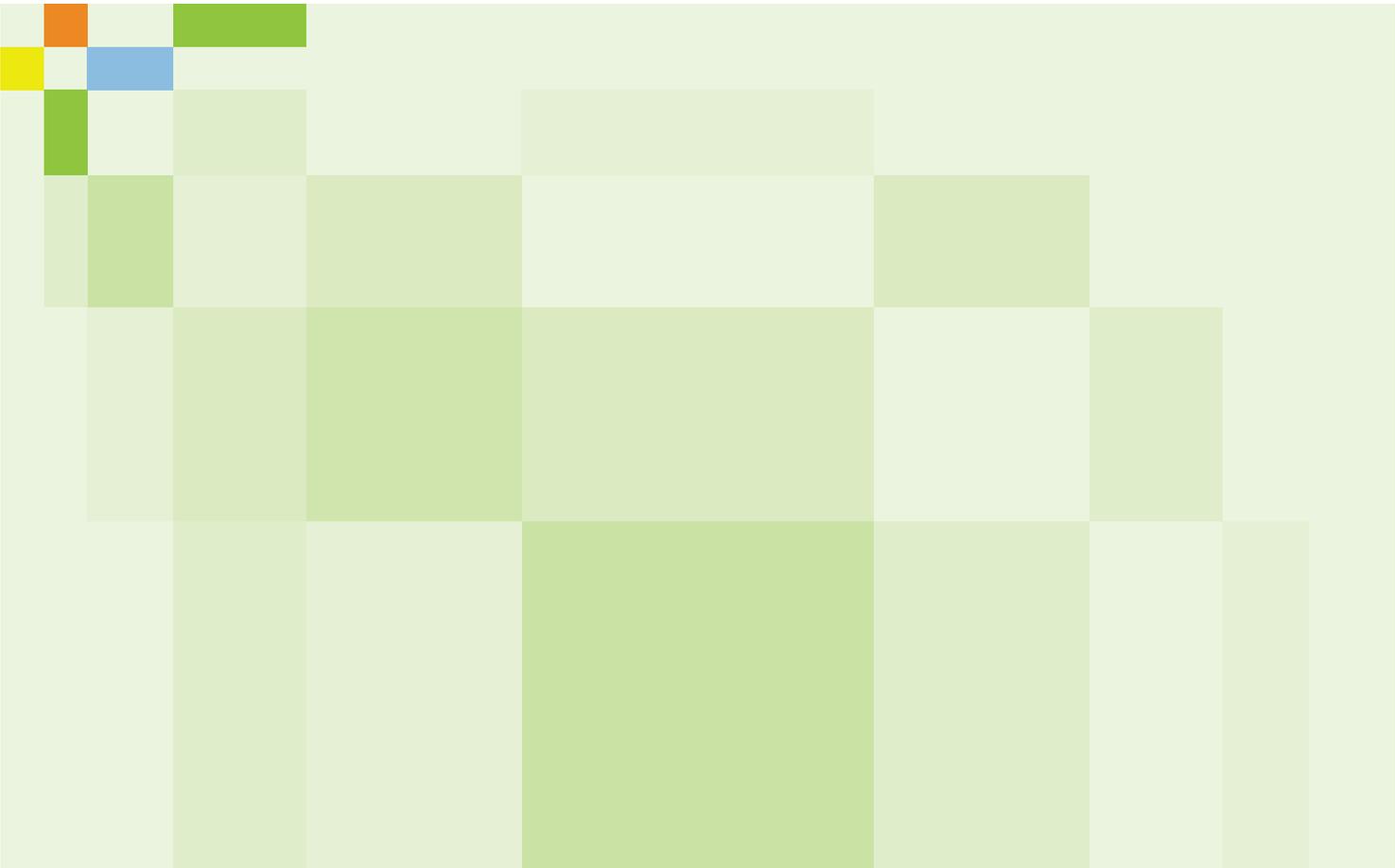
Layout-Konzeption: Groothuis, Hamburg

Titelfoto: fotolia/Monet

Konvertierung und Satz: Fraunhofer IAIS, Sankt Augustin

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.utzverlag.de





Die Echtzeit-Vernetzung von Objekten, Prozessen und Systemen verändert in den kommenden Jahren Produkte, Produktion und Geschäftsmodelle. Erste Pilotprojekte zu sogenannten smarten Produkten und Services lassen große Chancen für die Industrie erkennen. Um sie zu nutzen, ist eine neue Sicht auf das Engineering erforderlich. Es wird künftig integraler Teil ganzer Produkt- und Service-Lebenszyklen, der auch Produktion, Service, Logistik, End of Life sowie Teile der Auftragsabwicklung einschließt.

Die acatech STUDIE untersucht die aktuelle Positionierung des Engineering in deutschen Unternehmen und ermittelt, welche Veränderungen diese in der Transformation zur Industrie 4.0 erwarten. Sie identifiziert mögliche Probleme, die sich dabei für das Engineering ergeben und zeigt auf, wo für Unternehmen Handlungsbedarf in Bezug auf Prozesse, Methoden, IT-Werkzeuge, Organisation und Kompetenzen besteht.

ISBN 978-3-8316-4501-5

