

FORSCHUNGSBEIRAT

# Engineering smarter Produkte und Services Plattform Industrie 4.0 STUDIE

*Michael Abramovici (Hrsg.)*

## Impressum

### Herausgeber

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften  
Geschäftsstelle  
Karolinenplatz 4  
80333 München

### Redaktion

Dr. Martina Kohlhuber, acatech

### Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

### Druck

MKL Druck GmbH & Co. KG,  
Ostbevern



### Bildnachweis

iStock – yacobchuk (Titel),  
Freepik – www.flaticon.com (S. 13)

### Stand

März 2018



Plattform Industrie 4.0



acatech – Deutsche Akademie  
der Technikwissenschaften

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

 acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

# Inhalt

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Grundlagen und Definitionen</b> .....	<b>3</b>
2.1. Industrie 4.0.....	3
2.2. Smarte Produkte und Services.....	3
2.3. Engineering und Entwicklung smarter Produkte.....	5
<b>3. Methodische Vorgehensweise</b> .....	<b>8</b>
<b>4. Analyse relevanter Arbeiten</b> .....	<b>10</b>
<b>5. Wichtigste Forschungsbedarfe für die Entwicklung smarter Produkte</b> .....	<b>13</b>
5.1. Vorgehensmodelle und übergreifende Methoden.....	13
5.2. Integrierter Systementwurf.....	14
5.3. Domänen-spezifischer Entwurf und prototypische Implementierung.....	17
5.4. Systemintegration, -verifikation & -validierung.....	19
5.5. Produktdaten- und Prozessmanagement.....	20
5.6. IT-Infrastrukturen.....	21
<b>6. Zusammenfassung</b> .....	<b>23</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>26</b>
<b>Anhang A: Auszug analysierter Studien im Umfeld von Industrie 4.0</b> .....	<b>30</b>
<b>Anhang B: Fragenkatalog zur Online-Befragung der Experten</b> .....	<b>33</b>

# 1. Einleitung

Die Durchdringung der Industrieprodukte, Unternehmensprozesse und -organisationen durch das Internet der Daten, Menschen, Services und Dinge („Internet of Everything“) führte in den letzten Jahren zur vierten Industrierevolution. Industrieunternehmen stehen vor einem gewaltigen Transformationsprozess, der gänzlich neue Innovationspotenziale und neue profitable Geschäftsmodelle ermöglicht. Um diese radikalen Veränderungen zu bewältigen und die eingehenden Potenziale auszuschöpfen, müssen die Unternehmen eine Vielzahl von Herausforderungen überwinden.

Um die Unternehmen bei der Umsetzung dieses Transformationsprozesses zu unterstützen, wurden in Deutschland und weltweit von verschiedenen Fachverbänden Arbeitsgruppen gebildet, eine Vielzahl von Studien durchgeführt sowie zahlreiche Forschungsprogramme und -projekte initiiert und gefördert. Der Schwerpunkt dieser Aktivitäten lag im Bereich der Produktion. Zur größten Stärke der deutschen Industrie zählen die Entwicklung und international erfolgreiche Vermarktung innovativer Produkte, die in vielen Bereichen technologieführend sind und höchstes Ansehen genießen. Das „German Engineering“ hat bereits heute und wird auch in Zukunft eine zentrale Bedeutung für den Standort der deutschen Industrie haben, da es eines der international angesehensten Qualitätsmerkmale des Wirtschaftsstandorts Deutschland ist. Industrie 4.0 bietet nicht nur für die Produktion, sondern vor allem für die Produktinnovation enorme Verbesserungs- und Erfolgspotenziale. Das Engineering dieser neuen Produktgeneration wird für den Erfolg der deutschen Industrie enorm an Bedeutung gewinnen und kann selbst von den neusten technologischen Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)-Entwicklungen profitieren. Nach Meinung vieler Experten liegen die meisten Verbesserungspotenziale von Industrie 4.0 über die Produktion hinaus in dem effektiven Engineering der neuen Generation smarter Produkte und Services sowie in deren Vermarktung unter Anwendung neuer Geschäftsmodelle. Dieser in den bisherigen Initiativen im Umfeld Industrie 4.0 nicht im Fokus stehende Bereich stellt den Mittelpunkt der vorliegenden Studie dar.

Der Handlungsbedarf beim Engineering im Umfeld von Industrie 4.0 wurde von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften bereits 2011/2012 im Rahmen eines Experten-Workshops erkannt und in einer Publikation „Smart Engineering“ dokumentiert.<sup>1</sup> Um den Stellenwert des Engineerings innerhalb von Industrie 4.0 genauer zu un-

tersuchen sowie die Problemschwerpunkte und den Handlungsbedarf in diesem Umfeld zu ermitteln, hat acatech 2014 eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Industrie 4.0 – Engineering smarter Produkte und Services“ gegründet. Die Ergebnisse dieser Arbeitsgruppe wurden in einer acatech Vorstudie dokumentiert.<sup>2</sup> Diese Vorstudie beschreibt die grundlegenden Charakteristika smarter Produkte und Services und ermittelt erste übergeordnete Handlungsbedarfe in den Bereichen Engineering-Prozesse, -Methoden, -IT-Werkzeuge, -Organisationsstrukturen und -Kompetenzen.

Auf diesen Ergebnissen aufbauend wurden im Rahmen der vorliegenden Studie, die in enger Zusammenarbeit mit der Nationalen Plattform Industrie 4.0 durchgeführt und vom BMBF gefördert wurde, detaillierte operative Forschungsbedarfe für das Engineering smarter Produkte und Services ermittelt. Diese sollen als Grundlage für zukünftige Forschungsprogramme für Verbund-Forschungsprojekte in den nächsten fünf Jahren dienen. Der Fokus dieser Studie liegt im Bereich der Vorgehensmodelle, Methoden, IT-Werkzeuge und Informationsmodelle bei der Entwicklung smarter Produkte und Services. Die Produkt- und Serviceentwicklung ist die wichtigste Phase des Engineerings, da in dieser Phase die größten Innovationspotenziale liegen und die Eigenschaften künftiger Produkte festgelegt werden.

Parallel zur vorliegenden Studie hat acatech 2017 eine nationale Kampagne mit dem Arbeitstitel „Advanced Systems Engineering“ gestartet, mit dem Ziel, Thesen und strategische Handlungsempfehlungen für das Engineering der Zukunft zu erarbeiten, die vor allem als Input für ein künftiges strategisches Leitprojekt dienen sollen. Die Inhalte dieser Kampagne und der vorliegenden Studie wurden kontinuierlich durch die Autoren und die beteiligten Arbeitsgruppen abgestimmt. Die Autoren dieser Studie und mehrere daran beteiligte Experten sind an der Kampagne „Advanced Systems Engineering“ ebenfalls beteiligt.

1 Anderl et al. 2012

2 Abramovici et al. 2016

## 2. Grundlagen und Definitionen

In diesem Kapitel werden Grundlagen und Definitionen im Umfeld von Industrie 4.0 erläutert, die dieser Studie zugrunde liegen.

### 2.1. Industrie 4.0

„Industrie 4.0“ beschreibt die vierte Stufe der Industriellen Revolution. Nach der Einführung mechanischer Produktionsanlagen mithilfe von Wasser- und Dampfkraft Ende des 18. Jahrhunderts (erste Industrielle Revolution) war die zweite Industrielle Revolution zu Beginn des 20. Jahrhunderts durch die Einführung arbeitsteiliger Massenproduktion mithilfe von elektrischer Energie geprägt. Die stetige Weiterentwicklung in den Bereichen Elektronik und Mechanik unter Zuhilfenahme von Informationstechnologien leitete die bis heute andauernde dritte Industrielle Revolution ein. Durch die verstärkte Automatisierung der Produktion konnten in dieser Phase manuelle, von Menschen durchgeführte Tätigkeiten bedeutend reduziert werden.

Die vierte Industrielle Revolution wird erreicht durch die Durchdringung der heutigen traditionellen Industrie mit internetbasierten Innovationen aus den Bereichen der Informations- und Kommunikationstechnik (siehe Abbildung 2-1). Diese IKT-Innovationen lassen sich in folgende fünf Kategorien unterteilen:

- Internet (IPv6, Internet of Things, Internet of Services, ...)
- Hardware (Smart Devices, Cloud Computing, Augmented Reality, ...)
- Software (Service-orientierte Architekturen, Semantische und Big-Data-Technologien, ...)

- Kommunikation (5G, WiFi, Near Field Communication, ...)
- Eingebettete Mikrosysteme (Mikroprozessoren, Mikrosensoren und Mikroaktoren, ...)

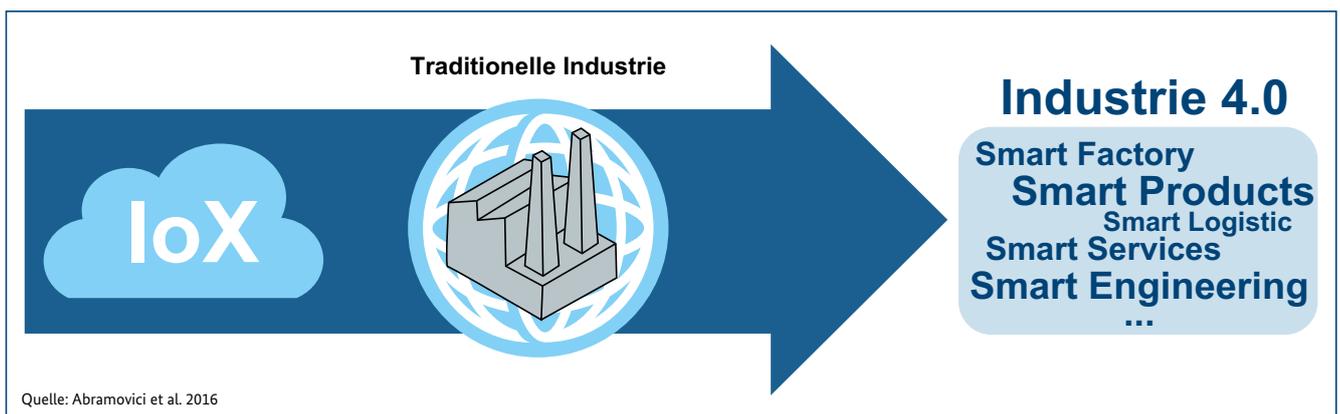
Innovationen in diesen Bereichen bilden die Basis für das „Internet of Everything“ (IoX), in dem Daten, Menschen, Services und Dinge untereinander vernetzt sind und miteinander kommunizieren können. Industrie 4.0 führt zu einer grundlegenden Transformation von Produkten, Services, Produktions- und Wertschöpfungsprozessen (siehe Abbildung 2-1). Die Resultate dieses Transformationsprozesses werden im Forschungsumfeld von Industrie 4.0 mit dem Begriff „smart“ assoziiert.

### 2.2. Smarte Produkte und Services

Im Mittelpunkt der vierten Industrierevolution (Industrie 4.0), getrieben durch das Internet der Daten, Menschen, Services und Dinge („Internet of Everything“), stehen smarte Produkte und Services. Bis zur Entstehung von smarten Produkten haben konventionelle Produkte im Laufe der Jahre mehrere Evolutionsstufen durchlaufen, deren Grenzen fließend ineinander übergehen, wie in der CIRP Encyclopedia of Production Engineering beschrieben<sup>3</sup> und im Rahmen der durchgeführten Vorstudie bestätigt (siehe Abbildung 2-2).

Die Grundlage industrieller Produkte bilden mechanische Komponenten oder Strukturen. Diese mechanischen Bauteile wurden in den letzten Jahrzehnten um elektronische Komponenten und Software ergänzt. So entstanden *mechanische Produkte* (MP). Durch die zunehmende Miniatur-

Abbildung 2-1: Die Durchdringung der traditionellen Industrie mit dem Internet of Everything (IoX) führt zu Industrie 4.0



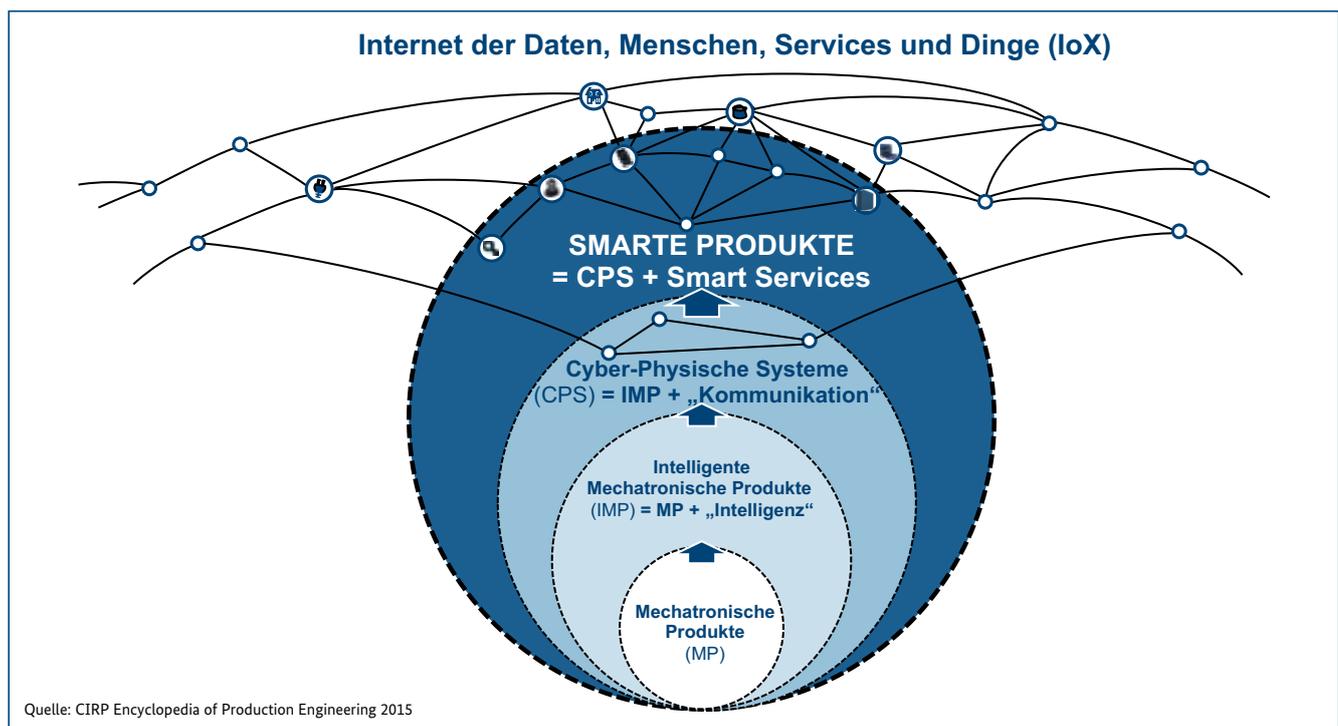
risierung von Mikrocomputern und die Software-Weiterentwicklung wurde es möglich, mechatronische Produkte mit zunehmender Intelligenz auszustatten, und so entstanden *intelligente mechatronische Produkte (IMP)*. Ein Beispiel dafür ist das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) in einem Automobil. In einem nächsten Evolutionsschritt wurden Produkte um die Fähigkeit erweitert, mit anderen Produkten und mit dem Internet zu kommunizieren. Diese Produkte werden als „Cyber-Physische Systeme“ (CPS) bezeichnet. Als Beispiel hierzu kann der Abstandskontroll-assistent in einem Automobil genannt werden.

**Smarte Produkte** sind „Cyber-Physische Systeme“, die um intelligente, Internet-basierte Dienste, sogenannte **smarte Services**, ergänzt werden. Ein Beispiel für ein smartes Produkt ist ein intelligentes Fahrzeug, das über ein Car-Sharing-Geschäftsmodell von den Anwendern genutzt werden kann. Hinsichtlich ihres Komplexitätsgrads können smarte Produkte Einzelprodukte (Smart Car), vernetzte Produktsysteme (mehrere vernetzte Autos über eine Service-Plattform) oder sehr komplexe, sektorenübergreifende Produktsysteme (gesamte Mobilitätssysteme), sogenannte Systems of Systems, sein.

Smarte Produkte vereinen sowohl materielle als auch immaterielle Komponenten und können demnach als smarte Produkt-Service-Systeme (PSS) verstanden werden. Deshalb wird im Folgenden der Begriff **smartes Produkt stellvertretend für smarte Produkt-Service-Systeme** verwendet. Die wichtigsten Merkmale von smarten Produkten sind ein hoher Grad an (Teil-)Autonomie, Vernetzungsfähigkeit, Personalisierungsfähigkeit sowie Benutzerfreundlichkeit und -zentrierung. Hinzu kommen dynamische Rekonfigurierbarkeit während des gesamten Produktlebenszyklus, Echtzeit-Reaktivität auf Umweltveränderungen sowie Kontextsensitivität.<sup>4</sup>

Smarte Produkte können nach verschiedenen Kriterien klassifiziert werden, zum Beispiel nach ihren Fähigkeiten beziehungsweise ihrem Intelligenzgrad. Porter und Heppelmann klassifizieren smarte Produkte in vier aufeinander aufbauenden Fähigkeitsstufen<sup>5</sup>. Smarte Produkte der ersten Stufe können den Zustand ihres Betriebs sowie ihrer Umwelt durch entsprechend eingebaute Sensorik und externe Datenquellen überwachen. Änderungen des Produktzustandes beziehungsweise der Umwelt werden so erfasst, woraus Anwenderinnen und Anwender passende Handlungen ableiten können. Smarte Produkte der zweiten Stufe

Abbildung 2-2: Evolutionsstufen von mechatronischen Produkten zu smarten Produkten



4 Abramovici et al. 2016

5 Porter/Heppelmann 2014

können über die umfassende Selbstüberwachung hinaus ferngesteuert werden. Dies wird durch Software ermöglicht, die entweder in das Produkt eingebettet ist oder sich in der Internet-Plattform des Produktes befindet. Die Produkte dieser Gruppe weisen auch einen hohen Personalisierungsgrad auf. Die Kombination der zuvor genannten Fähigkeiten ermöglicht smarten Produkten in einer nächsten, dritten Fähigkeitsstufe eine kontinuierliche Verbesserung und Optimierung ihrer Funktionen. Dabei werden statistische Verfahren und Methoden der Big Data Analytics eingesetzt, um prädiktive Diagnosen durchzuführen, anhand derer beispielsweise mögliche Produktausfälle vorhergesagt werden können. Die Kombination aller genannten Fähigkeiten der smarten Produkte führt zu der vierten, höchsten Fähigkeitsstufe. Smarte Produkte dieser Kategorie sind autonome Produkte beziehungsweise Systeme, mit der Fähigkeit, sich selbst zu diagnostizieren, zu verbessern beziehungsweise sich instand zu halten. Smarte Produkte dieser Gruppe haben einen sehr hohen Personalisierungsgrad und können eigenständig mit anderen smarten Produkten dieser Fähigkeitsstufe kooperieren.

### 2.3. Engineering und Entwicklung smarter Produkte

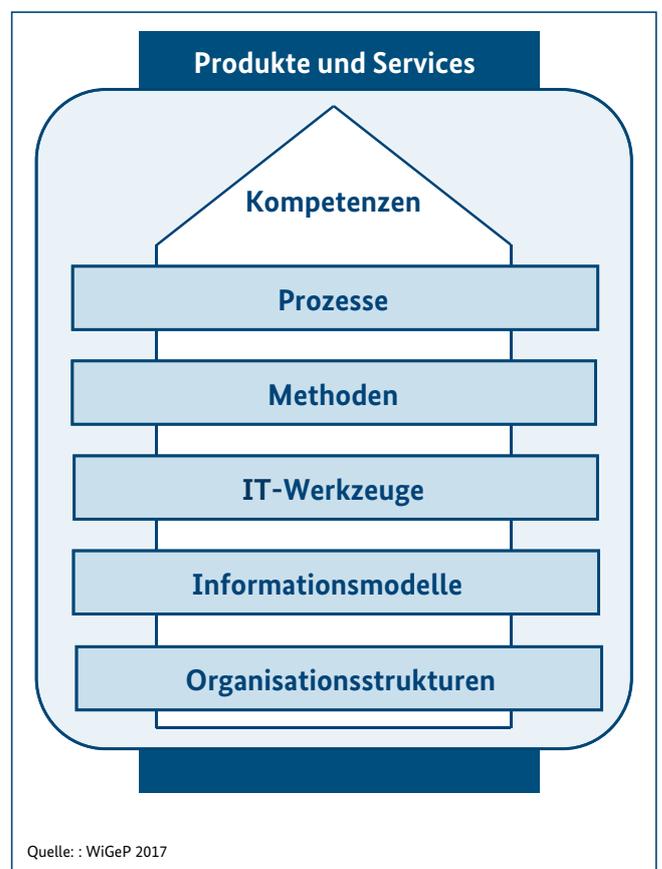
Der Begriff Engineering wird als die kreative Anwendung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und mathematischen Methoden für die Entwicklung und Herstellung von technischen Artefakten definiert.<sup>6</sup> Oft wird das Engineering synonym zum Begriff Produktentwicklung genutzt beziehungsweise berücksichtigt ausschließlich die Produktentwicklungsprozesse.

In der vorliegenden Studie wird eine holistische Betrachtung des Engineerings zugrunde gelegt, die nicht nur die Produkt- und Serviceentwicklung, sondern gesamte Produkt- und Servicelebenszyklen betrachtet. Zudem werden in der Engineering-Definition, die dieser Studie zugrunde liegt, über die Prozesse hinaus auch die prozessunterstützenden Methoden, IT-Werkzeuge, Informationsmodelle und Organisationsstrukturen sowie die erforderlichen Kompetenzen berücksichtigt. Abbildung 2-3 stellt die Bestandteile des ganzheitlichen Engineerings dar, die in dieser Studie betrachtet werden.

### Prozesse

**Prozesse** werden in der Technik nach DIN IEC 60050-351 als Gesamtheit aufeinander einwirkender Vorgänge in einem System bezeichnet, durch die Materie, Energie oder Information umgeformt, transportiert oder gespeichert wird.<sup>7</sup>

Abbildung 2-3: Bestandteile eines ganzheitlichen Engineerings



**Engineering-Prozesse** sind primär Informationsprozesse, die über die Produktentwicklung hinaus die gesamten physischen Produktlebenszyklusphasen Produktion, Beschaffung, Logistik, Produktnutzung und End of Life begleiten. Sie beinhalten alle technisch orientierten Planungs-, Definitions-, Konzeptions-, Dokumentations- und Simulationsaufgaben von Produkten.<sup>8</sup> In den letzten Jahren wurden die Engineering-Prozesse auch auf die produktbegleitenden, technisch orientierten Services ausgeweitet. Innerhalb

6 International Association of Engineers (IAENG) 2018

7 DIN IEC 60050-351

8 WiGeP 2017

der Engineering-Prozesse werden Materialflussprozesse im Voraus geplant. Engineering-Prozesse sind somit mit Materialflussprozessen eng verzahnt. Die Integration zwischen diesen zwei Prozessen hat durch die zunehmenden Informationsflüsse von physischen Produkten in Industrie 4.0 stark an Bedeutung gewonnen. Engineering-Prozesse sind auch mit den begleitenden kaufmännischen Prozessen eng integriert. Die Abbildung 2-4 stellt den Zusammenhang der verschiedenen Prozesse im Engineering-Umfeld dar.

Die wichtigste Prozess-Phase innerhalb der Engineering-Prozesse ist die **Produktentwicklung**, in der neue innovative Produkte kreiert werden und die Eigenschaften künftiger Produkte festgelegt werden. Für die Produktentwicklung gibt es verschiedene detaillierende Prozessmodelle. In den letzten zehn Jahren hat sich für die Entwicklung mechatronischer Produkte das sogenannte V-Modell durchgesetzt. Die Abbildung 2-5 stellt das V-Modell nach VDI 2206<sup>9</sup> beziehungsweise INCOSE<sup>10</sup> für die Entwicklung mechatronischer Produkte dar.

Die Entwicklung mechatronischer Produkte beginnt nach dem V-Modell mit einem Entwicklungsauftrag, in dem die Anforderungen des Kunden spezifiziert werden. Im Rahmen

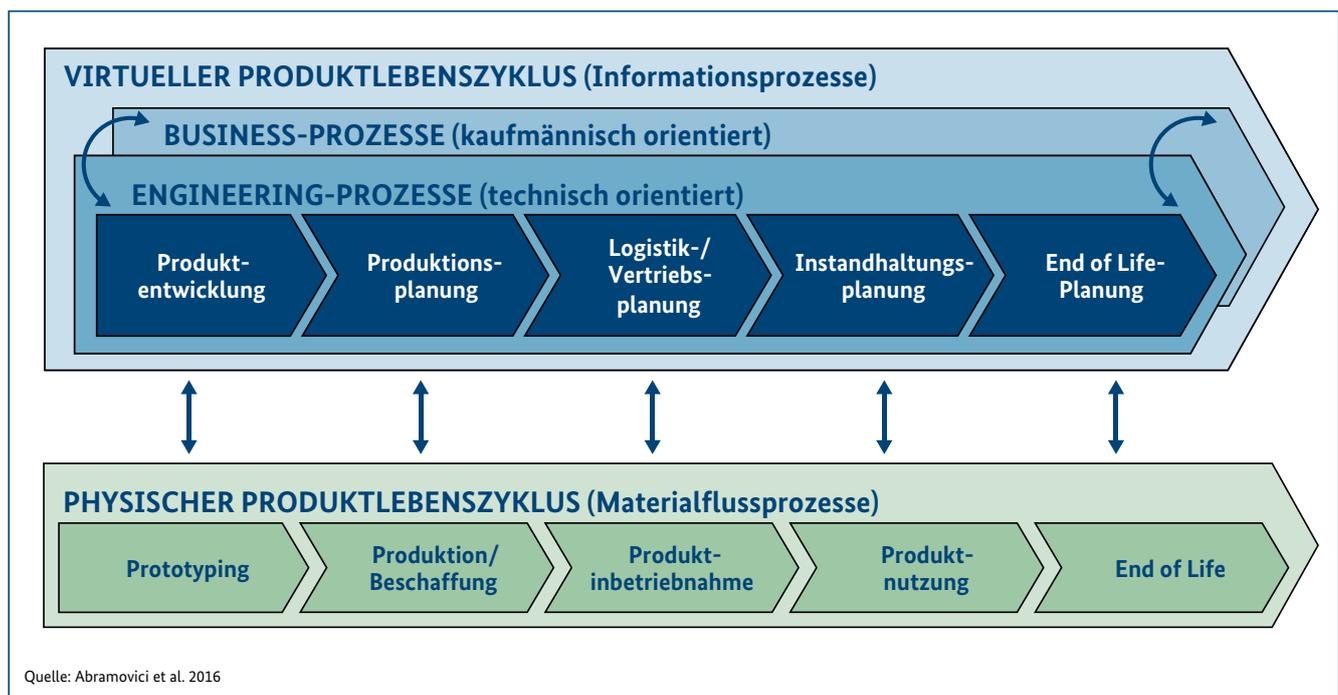
des **Systementwurfs** wird darauf aufbauend ein den Domänen übergeordnetes Lösungskonzept entwickelt. Im Rahmen dieser Phase werden die physikalischen und funktionalen Wirkungsweisen eines Produktes geplant.

Der **Domänen-spezifische Entwurf** baut auf diesem übergeordneten Lösungskonzept auf. Das Lösungskonzept wird in den Domänen Elektrotechnik, Maschinenbau und Informationstechnik konkretisiert und die Erfüllung der jeweiligen Teilfunktionalitäten wird dabei abgesichert.

Im Rahmen der **Systemintegration** findet eine Integration der Entwurfsergebnisse der einzelnen Domänen zu einem Gesamtsystem statt, damit das Zusammenwirken der Teilergebnisse untersucht werden kann. Dabei findet kontinuierlich anhand des Lösungskonzepts und der zuvor definierten Anforderungen eine **Eigenschaftsabsicherung** statt. Die beschriebenen Phasen werden von IT-Werkzeugen und Modellen zur Analyse und Simulation der Systemeigenschaften begleitet.

In der Regel werden die zuvor beschriebenen Phasen mehrfach iterativ durchlaufen, bis das finale Endprodukt entsteht, das anschließend produziert wird.

Abbildung 2-4: Engineering-Prozessverständnis



9 VDI 2004

10 INCOSE 2015

### Weitere Komponenten eines holistischen Engineerings

Die einzelnen Phasen der Engineering-/Entwicklungsprozesse werden durch **Methoden** beziehungsweise durch **IT-Werkzeuge** unterstützt, die rechnerinterne **Informationsmodelle** zugrunde legen.

Einzelne Schritte der Engineering-/Entwicklungsprozesse werden von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, unter Anwendung von Methoden, IT-Werkzeugen und Informationsmodellen, durchgeführt. Diese Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind in einer **Organisationsstruktur** eingebettet und müssen über entsprechende **Kompetenzen** verfügen.

Unter **Methoden** versteht man eine systematische Vorgehensweise zur Erlangung von (wissenschaftlichen) Erkenntnissen oder zur Lösung eines praktischen Problems.

**IT-Werkzeuge** sind Softwaresysteme, die Anwenderaufgaben automatisiert durchführen beziehungsweise den Anwender bei der Aufgabenbearbeitung unterstützen. Alle

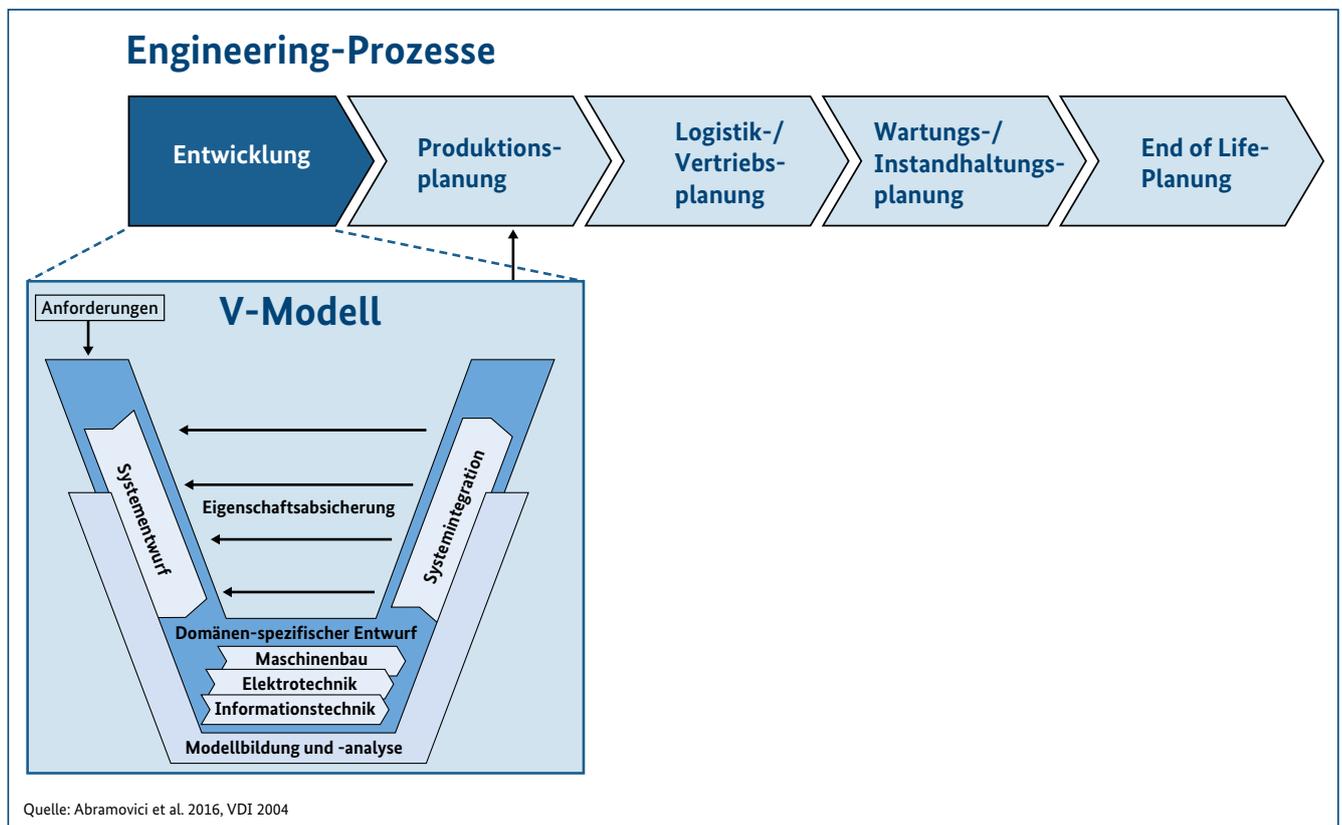
IT-Werkzeuge und -Schnittstellen zur Lösung einer Aufgabe beziehungsweise innerhalb einer Organisation bilden die IT-Infrastruktur.

**Informationsmodelle** sind mit Semantik angereicherte mathematische Abbildungen eines realen Gegenstands, zum Beispiel eines smarten Produkts oder Ablaufs, die diesen genügend genau abbilden.<sup>11</sup>

**Organisationsstrukturen** beschreiben die zugrunde liegende innere Aufbauorganisation, die zur Durchführung einer Aufgabe erforderlich ist. Die Organisationsstrukturen können auf verschiedenen Detaillierungsebenen spezifiziert werden.

**Kompetenzen** beschreiben die Fähigkeiten eines Menschen zur Lösung von wissensintensiven Problemstellungen.

Abbildung 2-5: Das V-Modell als etabliertes Vorgehensmodell für die Produktentwicklung innerhalb des Engineerings



11 DIN IEC 60050-351

## 3. Methodische Vorgehensweise

Das Vorgehen der Studie gliedert sich in drei konsekutive Phasen mit folgenden Aktivitäten und Ergebnissen (siehe Abbildung 3-1).

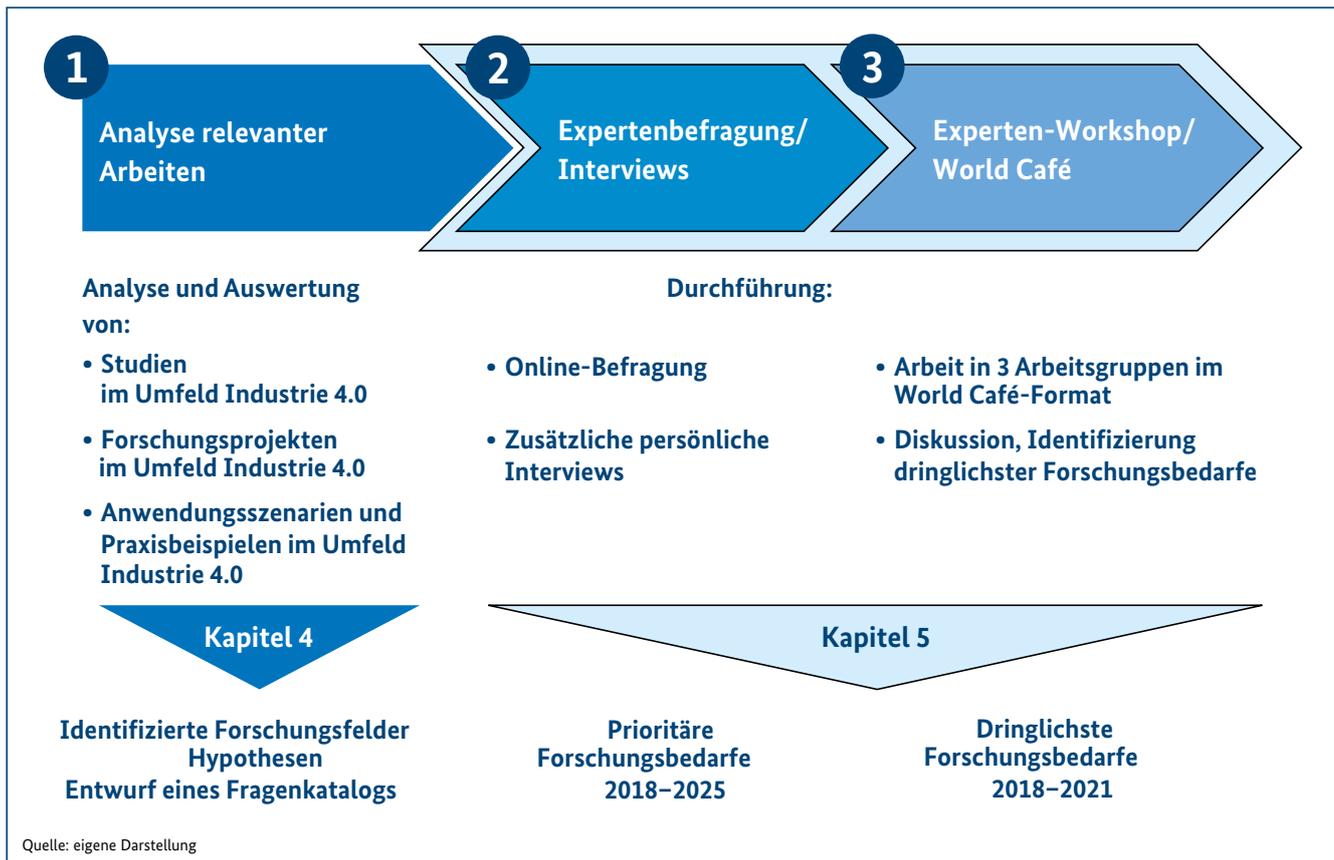
In der ersten Phase, der **Analyse relevanter Arbeiten**, wurden etwa 60 Studien, über 100 nationale und internationale Forschungsprojekte, 10 Anwendungsszenarien und 280 Praxisbeispiele im Umfeld von Industrie 4.0 analysiert. Als Ergebnis dieser Phase wurden Handlungsfelder identifiziert, zu denen Hypothesen formuliert wurden. Diese bildeten die Grundlage für die Erarbeitung eines Fragenkatalogs. In der zweiten Phase wurde mithilfe dieses Fragenkatalogs eine **Onlinebefragung** durchgeführt, an der sich etwa 60 Expertinnen und Experten beteiligten. Ergänzend wurden etwa 20 vertiefende, direkte Interviews durchgeführt. In der dritten Phase wurde ein eintägiger **Workshop** unter Beteiligung von etwa 40 Expertinnen und Experten veranstaltet.

Insgesamt haben an dieser Studie im Rahmen der Befragung und des Workshops circa 80 führende Expertinnen und Experten teilgenommen. Als **Expertinnen und Experten** für die Studie wurden renommierte Führungspersönlich-

keiten mit langjähriger Engineering-Erfahrung aus verschiedenen Branchen ausgewählt. 66 Prozent der ausgewählten Fachleute sind in themenbezogenen Engineering-Fachgremien tätig, wie zum Beispiel innerhalb der Nationalen Plattform Industrie 4.0, dem Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie (ZVEI), dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI), dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), dem Verband der Automobilindustrie (VDA) oder dem ProSTEP iViP Verein. Am Ende von Kapitel 6 ist eine namentliche Auflistung der involvierten Expertinnen und Experten zu finden.

Im Hinblick auf den Verantwortungsbereich der beteiligten Expertinnen und Experten war die Verteilung zwischen Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft und Industrie ausgeglichen. Insgesamt kam die Hälfte der beteiligten Fachleute aus Hochschulen und Forschungsinstituten und die andere Hälfte aus Industrie- und Beratungsunternehmen. Alle involvierten Personen hatten einen Schwerpunkt im Umfeld der Produktentwicklung innerhalb verschiedener Branchen (siehe Abbildung 3-2).

Abbildung 3-1: Methodische Vorgehensweise bei der Durchführung der Studie



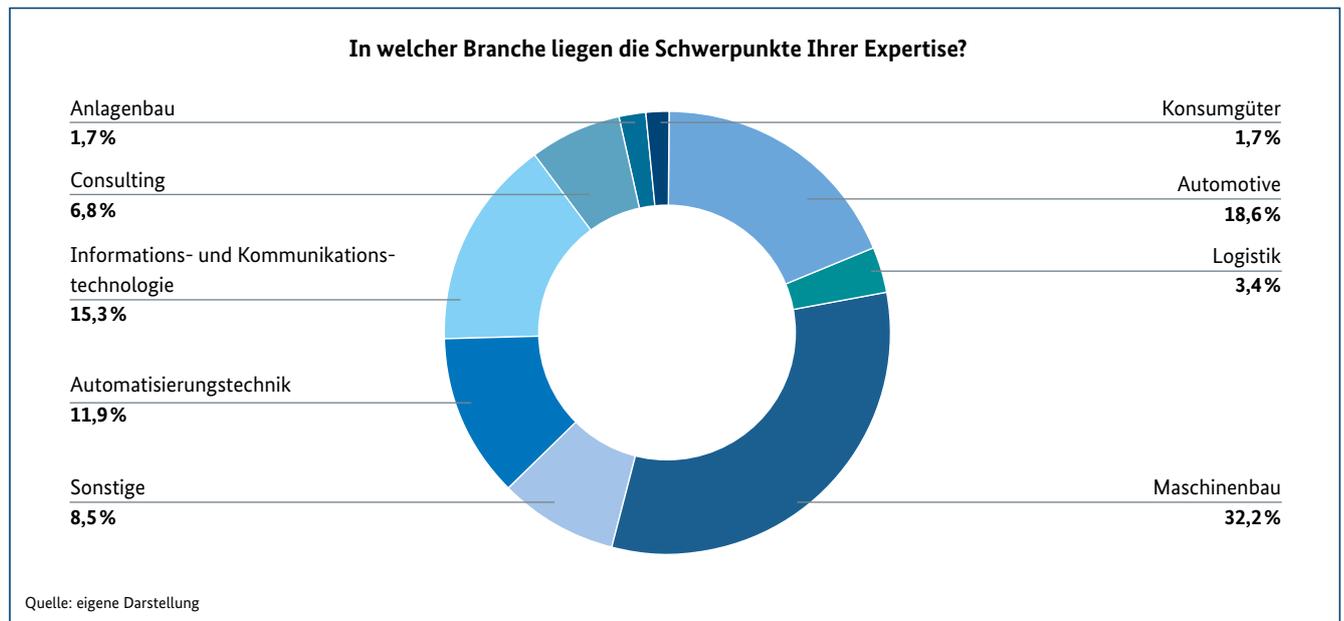
Im Rahmen der zuvor erwähnten Online-Befragung und Interviews (Phase 2) wurden priorisierte Forschungsbedarfe im Zeitraum von 2018 – 2025 durch die Expertinnen und Experten identifiziert. Konkret wurden zu jedem Handlungsfeld die priorisierten Forschungsbedarfe im Hinblick auf Methoden, IT-Werkzeuge und Informationsmodelle ermittelt. Die wichtigsten Forschungsbedarfe wurden anschließend in der nächsten Phase diskutiert, genauer spezifiziert und hinsichtlich deren Dringlichkeit bewertet.

Der anschließende Experten-Workshop (Phase 3) wurde im World Café-Format durchgeführt. Nach einer kurzen Ein-

führung wurden den Teilnehmerinnen und Teilnehmern die zusammengefassten und verdichteten Ergebnisse der Internetbefragung vorgestellt. Diese Ergebnisse dienten als Diskussionsbasis für die Expertinnen und Experten, die in drei Arbeitsgruppen den dringlichsten Forschungsbedarf identifiziert haben.

Den Abschluss des Workshops bildete eine Zusammenfassung der Ergebnisse der einzelnen Arbeitsgruppen durch die Moderatoren. Das Ergebnis des Experten-Workshops waren identifizierte, dringlichste Forschungsbedarfe für den Zeitraum von 2018 – 2021.

**Abbildung 3-2: Branchenexpertise der an der Studie beteiligten Experten**



# 4. Analyse relevanter Arbeiten

Kern dieses Kapitels bildet die Analyse relevanter Aktivitäten im Umfeld von Industrie 4.0 zur Bestätigung des in der Vorstudie „Engineering im Umfeld von Industrie 4.0“<sup>12</sup> ermittelten Handlungsbedarfs im Engineering. Dort wurde ein Defizit hinsichtlich der Adressierung von Forschungsthemen innerhalb der Produktentwicklungsphase identifiziert. Die Aktivitäten der Plattform Industrie 4.0 wurden dabei gesondert betrachtet.

In einer ersten Analysestufe wurden zunächst die nationalen Aktivitäten im Umfeld von Industrie 4.0 untersucht. Diese umfassen:

- Bestehende Forschungsprojekte
- Anwendungsszenarien und Praxisbeispiele (Nationale Plattform Industrie 4.0)
- Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)
- Studien von acatech, Fachverbänden, Forschungsinstituten und Beratungsunternehmen

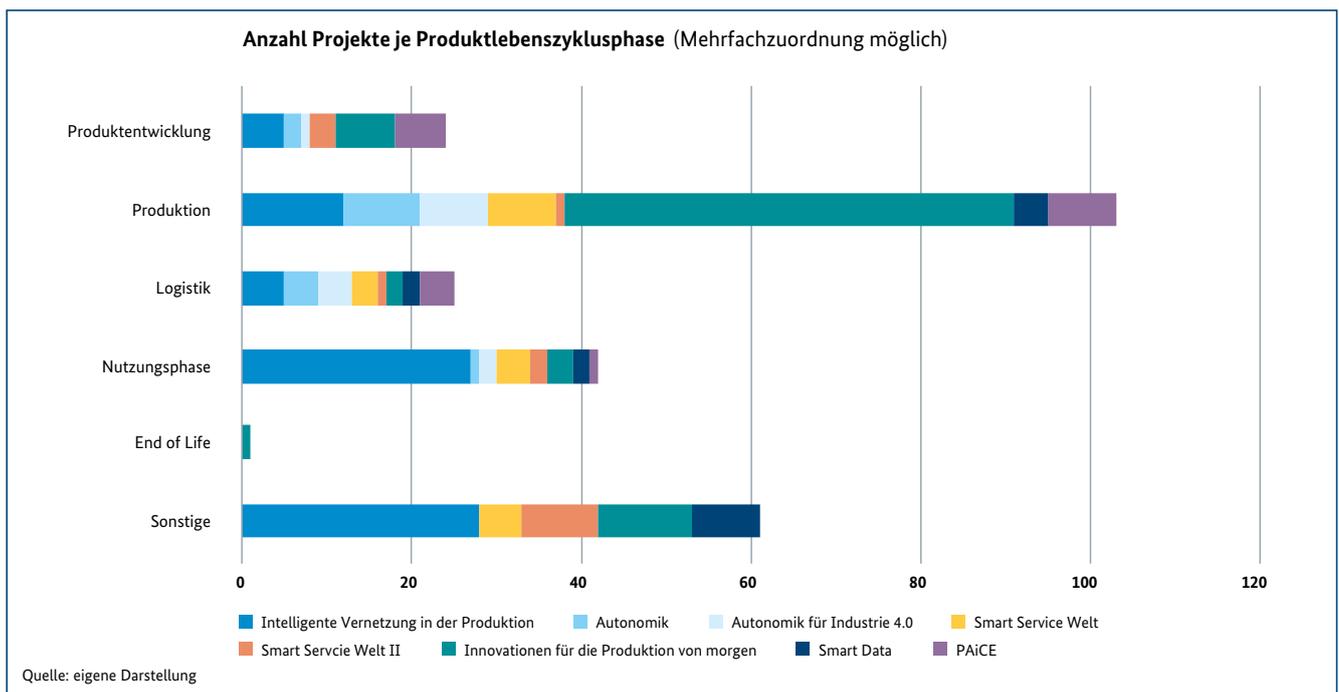
Diese Aktivitäten wurden nach ihrer Zugehörigkeit zu den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus ausgewertet und anschließend mit Fokus auf die Produktentwick-

lungsphase näher analysiert, die den Schwerpunkt der vorliegenden Studie bildet.

Die relevanten **Forschungsprojekte** umfassen über 100 laufende oder genehmigte Vorhaben, die im Rahmen folgender BMBF- und BMWi-Forschungsprogramme gefördert wurden:

- AUTONOMIK – autonome und simulationsbasierte Systeme für den Mittelstand
- AUTONOMIK für Industrie 4.0
- Innovationen für die Produktion von morgen
- Intelligente Vernetzung in der Produktion
- PAiCE (Platforms | Additive Manufacturing | Imaging | Communication | Engineering)
- Smart Data – Innovationen aus Daten
- Smart Service Welt – Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft
- Smart Service Welt II – neue Anwendungsbereiche für digitale Dienste und Plattformen

**Abbildung 4-1: Zuordnung der in den jeweiligen Forschungsprogrammen geförderten Projekte zu Lebenszyklusphasen**

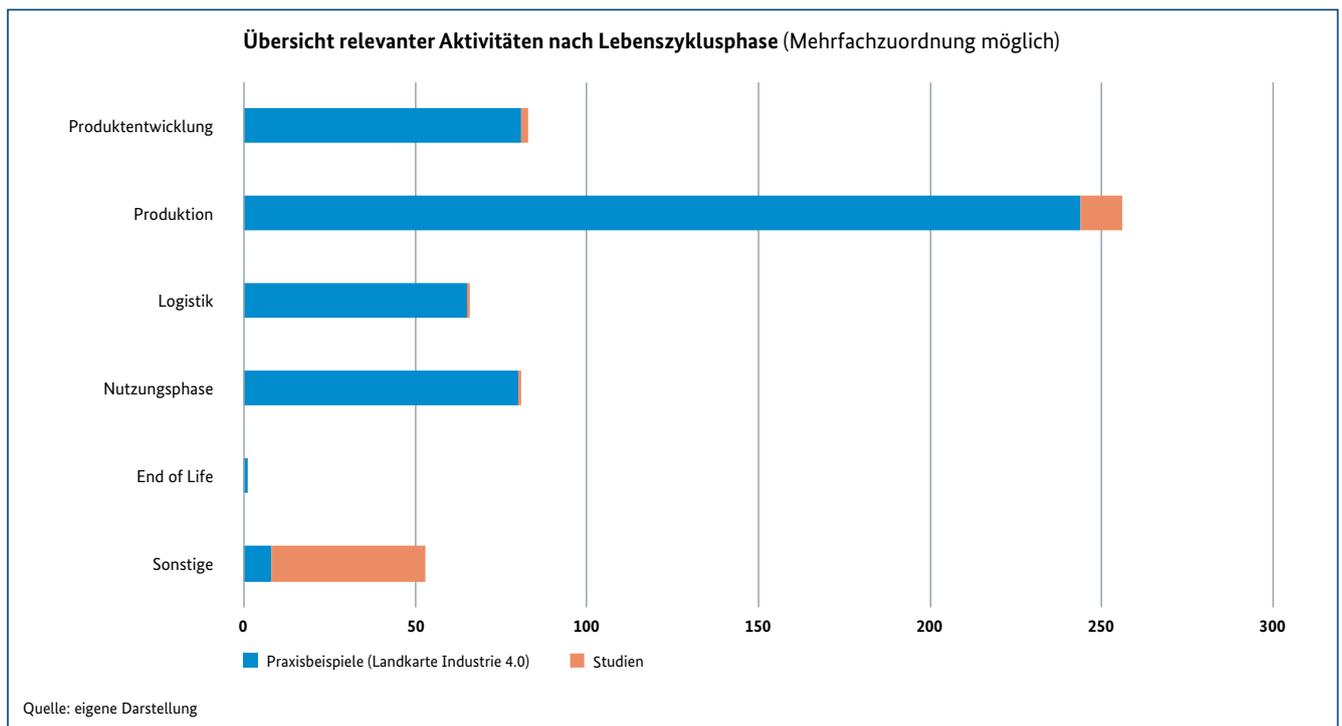


Die Zuordnung der analysierten Projekte zu den verschiedenen Produktlebenszyklusphasen ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Zahlreiche Projekte konnten keiner Phase zugeordnet werden, sondern adressieren übergeordnete Themen beziehungsweise Lösungsansätze und wurden unter dem Bereich „Sonstige“ erfasst. Die Verteilung der Forschungsprojekte im Umfeld von Industrie 4.0 zeigt eindeutig eine Fokussierung auf Produktionsthemen. Lediglich eine geringe Anzahl von Forschungsprojekten adressieren die Entwicklung smarter Produkte und Services und dies meistens nur am Rande der Produktionsprozesse. Projekte mit Fokus auf Produktentwicklung erforschen jeweils nur Teilaspekte der Produktentwicklung smarter Produkte oder berücksichtigen die Charakteristika smarter Produkte nicht hinreichend. Ein Beispiel dafür ist das im Rahmen des Forschungsprogramms „Intelligente Vernetzung in der Produktion“ geförderte Projekt mecPro<sup>2</sup>, das die Entwicklung von Modellierungs- und Datenmanagementmethoden für die frühen Entwicklungsphasen mechatronischer Systeme zum Gegenstand hat, ohne dabei die besonderen Eigenschaften smarter Produkte und Services zu berücksichtigen. Weitere Beispiele sind die im Rahmen des Forschungsprogramms PAiCE geförderten Projekte SeRoNet und ROBOTOP, die Entwicklungskonzepte für Industrieroboter erforschen, die durch ihre starke Spezifizierung nicht ohne weiteres auf beliebige smarte Pro-

dukte übertragen werden können. Die Analyse bestehender Forschungsprojekte zeigt enorme Defizite im Bereich der Entwicklung smarter Produkte und Services.

Auch bei der Auswertung der 10 aus dem Umfeld Industrie 4.0 stammenden **Anwendungsszenarien**<sup>13</sup>, die im Rahmen der Nationalen Plattform Industrie 4.0 erarbeitet wurden, steht die Produktionsphase im Vordergrund. Nur zwei der zehn Szenarien fokussieren die Produktentwicklungsphase. Im Rahmen des Anwendungsszenarios „Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion“ steht die virtuelle Entwicklung von Produkten im Mittelpunkt. Die dabei entstehenden Produktmodelle sollen im Produktionsprozess und den anschließenden Phasen des Produktlebenszyklus unterstützend zur Verfügung stehen. Im zweiten produktentwicklungsbezogenen Anwendungsszenario „Innovative Produktentwicklung“ ist die standort- und firmengrenzenübergreifende Kollaboration im Rahmen der Kreativitätsprozesse in der Produktentwicklung der zentrale Betrachtungsgegenstand. Dies soll mithilfe geeigneter Engineering- und Analysewerkzeuge unterstützt werden. Beide Anwendungsszenarien zeigen, dass die Bedeutung der Produktentwicklung als Teil von Industrie 4.0 erkannt wurde. Sie beschreiben aber nur Teilaspekte eines anzustrebenden, zukünftigen Zustandes (Visionen), ohne konkrete

Abbildung 4-2: Zuordnung der Praxisbeispiele aus der Landkarte Industrie 4.0 und Studien zu Lebenszyklusphasen



Problemstellungen bei der Entwicklung smarter Produkte und Services näher zu beleuchten und ohne Lösungen für diese Probleme zu liefern.

Die 327 **Praxisbeispiele** der „Landkarte Industrie 4.0“<sup>14</sup> zeigen ebenfalls einen Schwerpunkt im Wertschöpfungsbereich der Produktion. Insgesamt sind 81 der Praxisbeispiele in der Produktentwicklung angesiedelt (siehe Abbildung 4-2). Davon fokussieren viele Praxisbeispiele Domänen-spezifische Lösungen, beispielsweise die Entwicklung von Softwarekomponenten, oder beschränken sich lediglich auf mechanische Anlagen, ohne dabei die Charakteristika smarter Produkte in vollem Umfang zu berücksichtigen.

Das von der Nationalen Plattform Industrie 4.0 definierte Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) ist ein genormter Ansatz zur Abbildung der verschiedenen Facetten im Kontext von Industrie 4.0.<sup>15</sup> Das Modell setzt sich aus verschiedenen Schichten zusammen und berücksichtigt typen- und instanzbasierte Produktlebenszyklusphasen. Es betrachtet verschiedene Aspekte smarter Produkte und Services. Zu diesen gehören beispielsweise die Geschäftsmodelle, die Kommunikation zwischen Produkten und Produktsystemen oder deren funktionelle Eigenschaften. Die Strukturierung nach RAMI 4.0 eignet sich als Orientierung für die im Rahmen der Produktentwicklung zu berücksichtigenden Aspekte smarter Produkte und Services.

Die Analyse von 61 aktuellen **Studien** von acatech, Fachverbänden, Forschungsinstituten und Beratungsunternehmen im Kontext von Industrie 4.0 ergab, dass primär übergreifende, infrastrukturelle Themen (zum Beispiel IT-Plattformen, Datensicherheit, Arbeitsplatzveränderungen, wirtschaftliche Potenziale) fokussiert werden. Diese sind in Abbildung 4-2 unter „Sonstige“ enthalten. Lediglich bei zwei der betrachteten Studien konnte die Produktentwicklung als Kernbetrachtungselement identifiziert werden. Die Studien „Engineering 4.0 – Grundzüge eines Zukunftsmodells“<sup>16</sup> und „Systems Engineering in der industriellen Praxis“<sup>17</sup> adressieren die Produktentwicklung, haben jedoch keinen expliziten Fokus auf die Herausforderungen der Entwicklung smarter Produkte und Services und behandeln nur ausgewählte Teilaspekte der Produktentwicklung.

Darüber hinaus wurden auch internationale Förderprogramme, wie zum Beispiel das EU-Programm Horizon 2020, Aktivitäten des amerikanischen Industrial Internet Consortium sowie Made in China 2025, untersucht. Das Industrial Internet Consortium hat das anglo-amerikanische Pendant Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) zum Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) der Nationalen Plattform Industrie 4.0 entwickelt. Diese Modelle können bei der Entwicklung smarter Produkte berücksichtigt werden.

Die internationalen Forschungsaktivitäten fokussieren ebenso wie die nationalen Aktivitäten vorrangig die Produktion, adressieren nur Teilaspekte der Produktentwicklung oder thematisieren übergreifende Themen innerhalb von Industrie 4.0.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Analyse bestehender Aktivitäten im Umfeld von Industrie 4.0 die Hypothese bestätigt, dass die Entwicklung smarter Produkte und Services trotz der vielversprechenden Innovations- und Geschäftspotenziale noch nicht im Fokus von Industrie und Wissenschaft steht. Zwar konnten einige Aktivitäten innerhalb der Entwicklung smarter Produkte identifiziert werden, diese beleuchten jedoch mit unterschiedlicher Intensität und aus verschiedenen Sichten nur Teilaspekte des Produktentwicklungsprozesses. Daraus lässt sich ein großer Forschungsbedarf ableiten, der im Laufe dieser Studie unter Einbeziehung von über 80 Expertinnen und Experten aus Forschung und Industrie im Detail ermittelt, gewichtet und priorisiert wird. Die vorliegende Bestandsaufnahme hat wichtige Informationen und Erkenntnisse für die Formulierung erster Hypothesen geliefert, die eine Grundlage für einen Fragenkatalog und für die Ermittlung vieler Forschungsbedarfe bildeten. Da heutige Forschungs- und Industrieaktivitäten in der Produktentwicklung sich mehrheitlich nach dem in Kapitel 2 beschriebenen V-Vorgehensmodell richten, orientiert sich die Struktur des Fragenkatalogs beziehungsweise der ermittelten Forschungsbedarfe an den einzelnen Phasen des V-Vorgehensmodells.

14 Plattform Industrie 4.0 2018

15 DIN SPEC 91345

16 Botthof 2016

17 HNI et al. 2013

# 5. Wichtigste Forschungsbedarfe für die Entwicklung smarterer Produkte

Die Forschungsbedarfe sowie deren Priorität und Dringlichkeit wurden in einem zweistufigen Verfahren ermittelt:

Zunächst wurden die Forschungsbedarfe für das Engineering smarterer Produkte und Services auf Basis der bereits beschriebenen Online-Befragung ermittelt und priorisiert. Es wurde sowohl der Bedarf für die Entwicklung neuer als auch für die Weiterentwicklung bestehender Ansätze berücksichtigt. Dabei wurde der Forschungsbedarf an Methoden, IT-Werkzeugen und Informationsmodellen unterschieden. Die Expertinnen und Experten mussten die ermittelten Forschungsbedarfe nach Prioritätsstufen gewichten. Die Auswertung aller Gewichtungen führte zu einer Einteilung der Forschungsbedarfe in drei Prioritätscluster. Die wichtigsten zwei Cluster mit einem Zeithorizont von 2018–2025 werden in diesem Kapitel tabellarisch dargestellt. Die Forschungsbedarfe mit der höchsten Gewichtung (Prioritätscluster A) wurden in einer zweiten Stufe im Rahmen des bereits beschriebenen Workshops intensiv diskutiert, genauer spezifiziert und nach ihrer Dringlichkeit im Zeithorizont 2018–2021 bewertet. Abbildung 5-1 verdeutlicht das zweistufige Vorgehen bei der Ermittlung der Priorität und der Dringlichkeit der wichtigsten Forschungsbedarfe.

## 5.1. Vorgehensmodelle und übergreifende Methoden

Zwei Drittel der an der Studie beteiligten Expertinnen und Experten betrachten das bestehende V-Vorgehensmodell aus dem Systems Engineering als zentrale Komponente bei der Entwicklung smarterer Produkte, sehen aber dabei erheblichen Erweiterungsbedarf. Ein Drittel der Befragten wünscht sich dagegen die Entwicklung völlig neuer, disruptiver, agiler Vorgehensmodelle. Der dringlichste Forschungsbedarf im Bereich der Vorgehensmodelle besteht nach Meinung der Befragten in der Erweiterung des V-Modells um Methoden und Informationsmodelle der Service-Domäne. Dies lässt sich dadurch begründen, dass smarte Produkte als Produkt-Service-Systeme zu verstehen sind und die Service-Komponente eine bedeutende Rolle spielt. Als weiterer prioritärer Forschungsbedarf wurden Ansätze zur Integration agiler Methoden in das V-Modell sowie die Integration kooperativer Methoden in den einzelnen V-Modell-Phasen ermittelt. Dies umfasst einerseits die Integration von Kunden und Partnern und andererseits die Integration von Produktionsplanern in den Entwicklungsprozess. Ebenso wurde die Rekonfiguration smarterer Produkte während ihrer Nutzungsphase als prioritärer Forschungsbedarf identifiziert (siehe Tabelle 5-2). Ziel

Abbildung 5-1: Darstellung des zweistufigen Verfahrens für die Ermittlung der Priorität und der Dringlichkeit der identifizierten Forschungsbedarfe

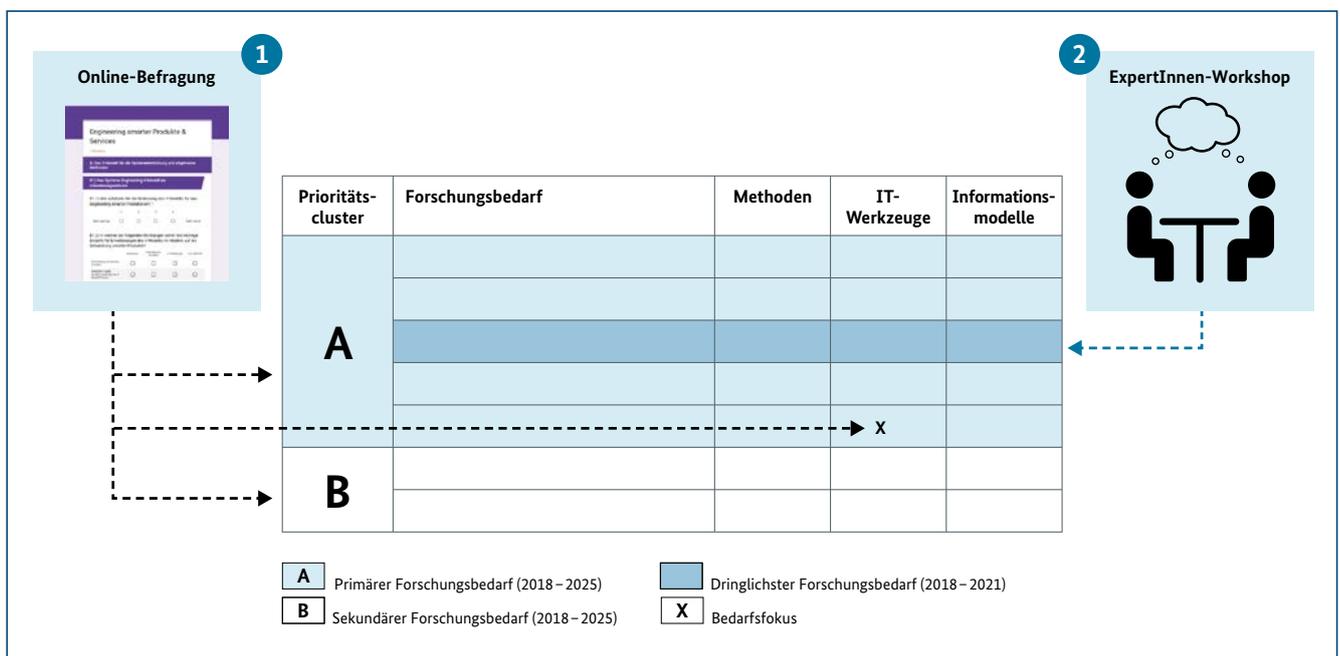


Tabelle 5-2: Wichtigste Forschungsbedarfe im Kontext des V-Modells

Prioritäts-cluster	V-Modell	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Ansätze zur Integration agiler Methoden in das V-Modell	X		
	Integration kooperativer Vorgehensansätze in den einzelnen V-Modell-Phasen	X		
	Ansätze zur Erweiterung der Service-Domäne	X		X
	Ansätze für die Weiterentwicklung/Rekonfiguration smarter Produkte während ihres gesamten Lebenszyklus (besonders während der Produktnutzungsphase)	X		X
	Ansätze für die frühere Eigenschaftsabsicherung durch Rapid und Virtual Prototyping	X	X	X
<b>B</b>	Ansätze für die Domänen-Integration/-Synchronisation in der domänen-spezifischen Entwurfsphase	X		

A Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)     
  Dringlichster Forschungsbedarf (2018 – 2021)

B Sekundärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)     
 X Bedarfsfokus

Tabelle 5-3: Prioritäre Forschungsbedarfe im Kontext der Planungsansätze

Prioritäts-cluster	Planungsansätze	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Design for X-Methoden	X		
	Ansätze für die Entwicklung und Konfiguration von produktindividuellen Geschäftsmodellen	X		
	Wissensbereitstellung auf der Basis von Feedback-Informationen früherer Produktgenerationen		X	X
	Ansätze für die Personalisierung und Rekonfiguration	X	X	X

A Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)     
 X Bedarfsfokus

ist die Entwicklung von Ansätzen für wandlungsfähige Produkte. Des Weiteren sind Ansätze zu erforschen, die den Kontext des Produktes berücksichtigen, in dem eine Rekonfiguration stattfinden soll, um mögliche und nicht erlaubte Rekonfigurationsoptionen zu ermitteln. In diesem Zusammenhang spielt eine gesamtheitliche Betrachtung des Produktes und seiner Rekonfigurationsoptionen eine entscheidende Rolle. Für die Modellierung dieser gesamtheitlichen Betrachtung sind bestehende Methoden und Informationsmodelle auf ihre Eignung zu prüfen und gegebenenfalls neue Ansätze zu entwickeln. Darüber hinaus wurde die Ermittlung von Ansätzen für eine frühe Eigenschaftsabsicherung durch Rapid und Virtual Prototyping als prioritär eingestuft. Dies betrifft beispielsweise die frühzeitige Modellierung und Evaluation von Prototypen, die mit additiven Fertigungsverfahren oder mit Virtual- beziehungsweise Augmented-Reality-Verfahren hergestellt wurden, um Aussagen über das spätere Produktverhalten machen zu können.

## 5.2. Integrierter Systementwurf

Der Systementwurf smarter Produkte ist der initiale Teil des V-Modells. Schwerpunkte dabei sind insbesondere Planungsansätze, Anforderungsspezifikations- und Anforderungsmanagement, Funktionsdefinition und -modellierung sowie Produktarchitekturansätze.

### 5.2.1. Strategische Planung

Bei den Planungsansätzen wurde prioritärer Forschungsbedarf im Umfeld neuer sowie bei der Weiterentwicklung von bestehenden Design for X-Methoden genannt, beispielsweise für Design for Smart Manufacturing oder Design for Smart Reconfiguration. Diese unterstützen zielgerichtet die Entwicklung von smarten Produkten unter Berücksichtigung von Fertigungs- oder Rekonfigurationsaspekten. Des Weiteren wurde Forschungsbedarf im Hinblick auf Methoden für

Tabelle 5-4: Wichtigste Forschungsbedarfe in der Anforderungsspezifikation und in dem Anforderungsmanagement

Prioritäts-cluster	Anforderungsspezifikation & Anforderungsmanagement	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Ansätze zur Wissensgenerierung aus Produktnutzungsdaten für neue Anforderungsspezifikationen	X	X	X
	Ansätze zur Anforderungsmodellierung	X	X	X
	Ansätze zur Anforderungsverifikation und -validierung	X	X	
	Ansätze zur Kundenintegration in die Anforderungsentwicklung	X	X	

<b>A</b>	Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)		Dringlichster Forschungsbedarf (2018 – 2021)
<b>X</b>	Bedarfsfokus		

die Entwicklung und Konfiguration von produktindividuellen Geschäftsmodellen identifiziert. Dies beinhaltet die Zuordnung von Geschäftsmodell-Bausteinen von Produkttypen auf die Produktinstanzen-Ebene. Forschungsbedarf wurde außerdem im Umfeld der Wissensbereitstellung auf der Basis von Feedback-Informationen früherer Produktgenerationen ermittelt. Dabei mangelt es insbesondere an geeigneten IT-Werkzeugen und Informationsmodellen, die einerseits eine geeignete Rückführungsmöglichkeit von Felddaten smarter Produkte in die Produktentwicklung erlauben, andererseits an der Implementierung dieser Daten in die verwendeten Tools in der Entwicklung. Im Bereich der Personalisierung und Rekonfiguration wurde prioritärer Forschungsbedarf im Bereich der Methoden, IT-Werkzeuge sowie Informationsmodelle identifiziert. Dies beschreibt die Herausforderung der Realisierung eines produktlebenszyklusumfassenden Abbilds (eines virtuellen Zwillings) eines smarten Produkts, welches Aussagen über den gegenwärtigen Zustand des Produkts und dessen Umfeld ermöglicht,

was wiederum einen höheren Personalisierungsgrad mittels Rekonfiguration erlaubt (siehe Tabelle 5-3).

### 5.2.2. Anforderungsspezifikation und -management

Dringliche Forschungsbedarfe aus dem Bereich der Anforderungsverifikation und -validierung adressieren Ansätze zur Anforderungsverifikation und -validierung, unter Berücksichtigung dynamischer Veränderung von Anforderungen während des Lebenszyklus smarter Produkte. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, braucht man geeignete Anforderungsmodellierungsmethoden, die in der Lage sind, diese Dynamik zu berücksichtigen. Auch in diesem Umfeld wurde dringlichster Forschungsbedarf ermittelt. Darüber hinaus wurden Ansätze zur Wissensgenerierung aus Produktnutzungsdaten für neue Anforderungsspezifikationen als prioritärer Forschungsbedarf eingestuft, was beispielsweise das Tracking von dynamischen, veränderba-

Tabelle 5-5: Wichtigste Forschungsbedarfe in der Funktionsdefinition und -modellierung

Prioritäts-cluster	Funktionsdefinition und -modellierung	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Ansätze zur Definition unvollständiger Funktionsstrukturen	X		
	Ansätze für die virtuelle Simulation von Funktionsstrukturen		X	
	Modulbibliotheken zur Wiederverwendung von Funktionsmodellen		X	
	Ansätze für die intuitive Funktionsmodellierung	X		
	Wissensbasierte Assistenzansätze zur Unterstützung der Funktionsentwicklung	X	X	X
<b>B</b>	Erweiterungen/Anpassung bestehender Modellierungsansätze (z. B. SysML, CONSENS)	X	X	X
	Ansätze zur Verhaltenssimulation	X	X	X

<b>A</b>	Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)		Dringlichster Forschungsbedarf (2018 – 2021)
<b>B</b>	Sekundärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)		<b>X</b> Bedarfsfokus

ren Anforderungen und den daraus realisierten Funktionselementen beinhaltet. Außerdem wurden Ansätze für eine verstärkte Integration von Kunden in die Anforderungsentwicklung, beispielsweise über plattformbasierte Lösungen zur gemeinsamen Entwicklung von Anforderungen, als prioritärer Forschungsbedarf identifiziert (siehe Tabelle 5-4).

**5.2.3. Funktionsdefinition und -modellierung**

Im Umfeld der Methoden für die Definition unvollständiger Funktionsstrukturen wurde dringlichster Forschungsbedarf identifiziert. Dies beinhaltet die Möglichkeit zur Beschreibung von Funktionen, die sowohl im Verlauf des Entwicklungsprozesses als auch in den nachfolgenden Produktlebenszyklusphasen dynamisch veränderbar sind. Des Weiteren wurden IT-Werkzeuge für die virtuelle Simulation von Funktionsstrukturen sowie für die Entwicklung von Modulbibliotheken zur Wiederverwendung von Funktionsmodellen als prioritärer Forschungsbedarf identifiziert. Die virtuelle Simulation von Funktionsstrukturen ermöglicht zielgerichtete Aussagen über das Nutzungsverhalten eines smarten Produktes, während Modulbibliotheken von Funktionsmodellen den Entwicklungsprozess verkürzen können. Forschungsbedarf wurde ebenso bei der intuitiven Funktionsmodellierung identifiziert, was beispielsweise die Einbindung des Kunden in die Funktionsdefinition ermöglicht. Dies beinhaltet ebenso die Aufnahme von Kundenprozessen in Funktionsentwicklungsprozesse sowie die Modellierung

Letzterer. Bei wissensbasierten Assistenzansätzen für Funktionsentwicklungsprozesse wurde ebenfalls prioritärer Forschungsbedarf gesehen (siehe Tabelle 5-5).

**5.2.4. Entwurf der logischen Produktarchitektur**

Wie in Tabelle 5-6 ersichtlich, gewinnt die Modellierung auf verschiedenen Abstraktionsebenen insbesondere im Bereich des Systems Engineering an Bedeutung. Dies betrifft die Definition von Modellierungsvorschriften verschiedener Abstraktionsebenen, aber auch die Traceability von Struktur-, Funktions- oder Anforderungselementen über verschiedene Abstraktionsebenen hinweg. Des Weiteren ist die Berücksichtigung einer konsistenten, Abstraktionsebenenunabhängigen Modellierungsvorschrift für die anschließende kohärente Verifikation und Validierung der Systemeigenschaften notwendig. Als dringlichster Forschungsbedarf wurden außerdem Methoden für die Integration von Smart Service-Modellierungsansätzen in die logische Produktarchitektur identifiziert. Dabei wird berücksichtigt, dass Services als integrative Komponente von smarten Produkten betrachtet werden müssen (siehe Kapitel 2.2). Als prioritäre Forschungsbedarfe wurden außerdem wissensbasierte Ansätze für die Disziplinen-spezifische Partitionierung der logischen Produktarchitektur aus der Anforderungs-/Funktionsstruktur ermittelt. Das ermöglicht eine Disziplinen-individuelle Aufteilung von Anforderungs-/Funktionsstrukturen noch in der Entwurfsphase. Ebenso gilt dies für Ansätze für die

**Tabelle 5-6: Wichtigste Forschungsbedarfe im Umfeld der Produktarchitekturansätze**

Prioritätscluster	Produktarchitekturansätze	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Intuitive Modellierungstechniken auf mehreren Abstraktionsebenen (System of Systems)	X		
	Integration von Smart Service-Modellierungsansätzen in die logische Produktarchitektur	X	X	X
	Wissensbasierte Ansätze für die Disziplinen-spezifische Partitionierung der logischen Produktarchitektur aus der Anforderungs-/Funktionsstruktur	X		
	Visualisierungsansätze der logischen Architektur smarter Produkte	X	X	X
	Modellierung von Ökosystem- und Umfeldkomponenten smarter Produkte als Bestandteil und Schnittstellen der logischen Architekturen smarter Produkte	X	X	X
<b>B</b>	Ansätze zur Modellierung der Produkt-Clouds	X	X	X
	Ansätze für die intuitive, Disziplinen-übergreifende Visualisierung der logischen Architektur smarter Produkte	X	X	

A Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)     
  Dringlichster Forschungsbedarf (2018 – 2021)

B Sekundärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)     
 X Bedarfsfokus

Visualisierung der logischen Architektur smarter Produkte, beispielsweise unter Berücksichtigung der Service-Komponente sowie von Ökosystem- und Umfeld-Komponenten zur Bereitstellung für Rekonfigurations-Szenarien.

### 5.3. Domänen-spezifischer Entwurf und prototypische Implementierung

Im Bereich des Domänen-spezifischen Entwurfs und der prototypischen Implementierung wurden die folgenden, für smarte Produkte relevanten, Disziplinen untersucht: Mechanik, Elektrik/Elektronik (E/E), Software sowie Service. Ziel war die Identifikation der wichtigsten Forschungsthemen innerhalb der Domänen. Da eine rigide Unterscheidung zwischen den verschiedenen Domänen aufgrund des hohen Grades an Interdisziplinarität bei smarten Produkten kaum möglich war, fungierte diese Einteilung primär als Orientierungshilfe für die Verortung von erweiterungsbedürftigen Methoden, IT-Werkzeugen und Informationsmodellen.

#### 5.3.1. Mechanik-Entwurf und -Implementierung

Die physikalische, im klassischen Maschinenbau in der Regel Mechanik-getriebene Welt wurde als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Ansätzen für die Gestaltung der Mensch-Produkt-Interaktion identifiziert (siehe Tabelle 5-7). Geeignete Ansätze für die Kommunikation zwischen Mensch und smartem Produkt wurden daher als dringlichster Forschungsbedarf in der Mechanik-Domäne beschrieben. Des Weiteren wurden IT-Werkzeuge für die Integration von Multi-Physics-Simulationen in die Produktmodellierung und -auslegung sowie für die hybride (physische/virtuelle) Simulation und Absicherung von Mechanik-Komponenten als prioritäre Forschungsbedarfe identifiziert. Dabei stehen vor allem neuartige Modellierungs- und Simulationsmethoden, wie beispielsweise generative Modellierungs- und Simulationsverfahren unter anderem für die Modellierung und Simulation von smarten Materialien, wie Werkstoffen mit Formgedächtnis, im Mittelpunkt. Prioritärer Forschungsbedarf wurde ebenso im Umfeld von Methoden und IT-Werkzeugen für die Unterstützung der Entwicklung von Baukästen, modularen Produktplattformstrukturen und Produktgenerationen

Tabelle 5-7: Wichtigste Forschungsbedarfe in der Mechanik-Domäne

Prioritäts-cluster	Domäne: Mechanik	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Ansätze für die Gestaltung der smarten Mensch-Produkt-Interaktion	X	X	X
	Ansätze für die Integration von Multi-Physics-Simulationen in die Produktmodellierung und -auslegung		X	
	Ansätze für die hybride (physische/virtuelle) Simulation und Absicherung von Mechanik-Komponenten		X	
	Ansätze zur Unterstützung der Entwicklung von Baukästen, modularen Produktplattformstrukturen und Produktgenerationen mit Schnittstellen für künftige Systemerweiterungen	X	X	
	Modellierungsansätze für Produkte aus smarten Materialien		X	
<b>B</b>	Modellierungsansätze für Produkte, die additiv gefertigt werden		X	
	Wissensbasierte Assistenzansätze auf der Basis von Fertigungs- und Produktnutzungsdaten von Vorgängerproduktgenerationen	X	X	X
	Ansätze zur Gestaltung des Digital/Functional Mock-up		X	
	Wissensbasierte Ansätze für die Berücksichtigung bzw. Simulation erweiterter Mechanik-bezogener Design for X-Gerechtigkeiten	X	X	
	Modellierungsansätze unter Nutzung von AR-Technologien	X	X	
	Neue Visualisierungsansätze (Mixed Reality, Scientific Visualization)	X	X	

**A** Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)

**B** Sekundärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)

 Dringlichster Forschungsbedarf (2018 – 2021)

**X** Bedarfsfokus

mit Schnittstellen für künftige Systemerweiterungen identifiziert. Kern dieses Forschungsbedarfs betrifft die Berücksichtigung modularer Eigenschaften bei der Entwicklung von smarten Produkten, um diese mittels Schnittstellenlösungen interoperabel gestalten zu können.

### 5.3.2. Elektrik-/Elektronik-Entwurf und -Implementierung

Im Zuge der zunehmenden Anzahl und Wichtigkeit an Komponenten aus dem Bereich Elektrik/Elektronik (E/E) wurden geeignete IT-Werkzeuge für deren virtuelle funktionale Simulation und Absicherung als dringlichster Forschungsbedarf identifiziert (siehe Tabelle 5-8). Diese ermöglichen bereits in der Entwicklungsphase qualitative Aussagen in Form von Verhaltensmodellen der E/E-Komponenten in smarten Produkten. Daneben wurden Ansätze für die Kontext-spezifische Analyse und Bereitstellung der Nutzungsdaten bestehender Produktpopulationen für Produktoptimierungen als dringlichster Forschungsbedarf eingestuft. Dies betrifft einerseits die Optimierung von künftigen Produktgenerationen, aber auch die Produktinstanzen im Feld beispielsweise mittels Rekonfiguration. Prioritärer Forschungsbedarf wurde bei Methoden und IT-Werkzeugen zur Berücksichtigung der steigenden Sicherheitsanforderungen von E/E-Systemen identifiziert. Dieser For-

schungsbedarf adressiert beispielsweise neue Methoden oder IT-Werkzeuge zur Qualitätssicherung von E/E-Komponenten. Ebenso wurden wissensbasierte IT-Werkzeuge für die zielgerichtete Entwicklung E/E-bezogener Design for X-Gerechtigkeiten, wie beispielsweise Design for predictive Maintenance, sowie Methoden und IT-Werkzeuge für das Zuverlässigkeitsmanagement komplexer E/E-Systeme als prioritär eingestuft. Dieser Forschungsbedarf richtet sich beispielsweise an IT-Werkzeuge zum Monitoring von E/E-Komponenten, um deren Laufverhalten zu verfolgen.

### 5.3.3. Software-Entwurf und -Implementierung

Als dringlichstes Forschungsthema wurde die Entwicklung beziehungsweise Weiterentwicklung von Ansätzen für die Gestaltung/Implementierung des virtuellen Zwillinges identifiziert (siehe Tabelle 5-9). Konkrete Anknüpfungspunkte sind die eindeutige Definition und Abgrenzung des virtuellen Zwillinges gegenüber Aktivitäten mit Schnittmengen, wie beispielsweise Produktavataren, Cyber-Physische Äquivalenz oder digitaler Schatten. Dies beinhaltet unter anderem die Bestimmung der notwendigen Modelle (zum Beispiel Geometriemodelle und Verhaltensmodelle), die Definition von Schnittstellen (zum Beispiel zwischen digitalen Insellösungen) oder die Klärung des Aufgabenfeldes von virtuellen Zwillingen (zum Beispiel Simulations- oder

Tabelle 5-8: Wichtigste Forschungsbedarfe in der Elektrik/Elektronik-Domäne

Prioritätscluster	Domäne: Elektrik/Elektronik	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Ansätze zur Berücksichtigung von steigenden Sicherheitsanforderungen (z. B. bzgl. Manipulation) von E/E-Systemen	X	X	
	Wissensbasierte Ansätze für die Berücksichtigung bzw. Simulation E/E-bezogener Design for X-Gerechtigkeiten	X	X	X
	Ansätze für die virtuelle funktionale Simulation und Absicherung		X	
	Ansätze für das Zuverlässigkeitsmanagement komplexer E/E-Systeme	X	X	
	Kontext-spezifische Analyse und Bereitstellung der Nutzungsdaten bestehender Produktpopulationen für Produktoptimierungen	X	X	X
<b>B</b>	Ansätze für die Produktvarianten bzw. -konfigurationenindividuelle Auslegung und Gestaltung von E/E-Komponenten		X	
	Ansätze zur Entwicklung von Baukästen und modularen E/E-Produktplattformstrukturen	X	X	
	Ansätze für die virtuelle funktionale Simulation und Absicherung von E/E-Komponenten		X	

**A** Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)

**X** Dringlichster Forschungsbedarf (2018 – 2021)

**B** Sekundärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)

**X** Bedarfsfokus

Rekonfigurationsaufgaben). Weiterer prioritärer Forschungsbedarf wurde hinsichtlich der Entwicklung von Ansätzen für die Berücksichtigung stark an Bedeutung gewinnender IT-Sicherheitsanforderungen gesehen, beispielsweise bei der Verwendung von Cloud-Plattformen, was mittels virtueller funktionaler Simulation von Software-Komponenten adressiert werden kann.

#### 5.3.4. Service-Entwurf und -Implementierung

Die mit Methoden, IT-Werkzeugen und Informationsmodellen unterstützte Simulation und Absicherung der integrierten Service-Komponenten in smarten Produkten wurde als dringlichstes Forschungsthema im Rahmen der Service-Domäne identifiziert. Dies adressiert zum Beispiel neue Softwarelösungen im Bereich der Wertschöpfungsmodelle oder der Auswertung von großen Datenmengen. Als prioritär eingeschätzt wurde der Forschungsbedarf hinsichtlich von IT-Werkzeugen für die Visualisierung und Interaktion mit smarten Services, beispielsweise in Form von Tools zur Kommunikation mit den smarten Services. Methoden für die intuitive Modellierung produktbezogener smarter Services wurden ebenfalls als prioritärer Forschungsbedarf ermittelt. Dazu werden Methoden benötigt, die Services als intangible Güter modellierungsfähig machen. Ferner wurden Methoden für die Entwicklung von Baukästen und modularen Plattformstrukturen als prioritärer Forschungsbedarf identifiziert (siehe Tabelle 5-10). Diese adressieren modulare Eigenschaften, wie sie bei physischen Komponenten bereits Verwendung finden.

#### 5.4. Systemintegration, -verifikation & -validierung

Die enorme Komplexität smarter Produkte erschwert den Nachweis der Sicherheit und der Qualitätsabsicherung. Daher besteht eine Dringlichkeit in der Methodenentwicklung für die Prüfung und Zertifizierung smarter Produkte (siehe Tabelle 5-11). Dabei sind hinsichtlich autonomer Produkte beispielsweise branchenspezifische Betrachtungsrahmen zu definieren, die den Verhaltenskorridor der Produkte eingrenzen. Des Weiteren sind im Rahmen der Sicherheitszertifizierung Felddaten von bereits in Betrieb genommenen Produktinstanzen zu berücksichtigen. Die Bedeutung von Felddaten spiegelt sich auch in dem zweiten dringlichsten Forschungsbedarf wider. Man braucht Ansätze, die eine Validierung smarter Produkte auf der Basis von Felddaten ermöglichen. Die Validierungskomplexität steigt mit der Komplexität des Produktes an, wodurch es dem Produktentwickler ohne geeignete Assistenzsysteme nicht möglich ist, eine umfassende Validierung durchzuführen. Bei der Entwicklung dieser Assistenzsysteme ist insbesondere auf die aggregierte Visualisierung und Präsentation der Felddaten zu achten. Intelligente Ansätze zur Verdichtung der Daten und allgemeine Vorgehensmodelle zur Validierung smarter Produkte anhand von Felddaten sind ebenfalls in diesem Kontext zu erörtern. Als prioritär ist die Entwicklung von Ansätzen für die Disziplinen-übergreifende Produktabsicherung anzusehen. In diesem Kontext bedarf insbesondere das Zusammenspiel der im Zuge smarter Produkte hinzukommenden Servicekomponenten mit den mechatronischen Produktkomponenten neuer virtueller Ansätze für die Unterstützung des

Tabelle 5-9: Wichtigste Forschungsbedarfe in der Software-Domäne

Prioritätscluster	Domäne: Software	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Ansätze für die Berücksichtigung von IT-Sicherheitsanforderungen	X	X	X
	Ansätze für die virtuelle funktionale Simulation und Absicherung der Software-Komponenten	X	X	
	Ansätze für die Gestaltung /Implementierung des virtuellen Zwillings	X	X	X
	Ansätze für die Gestaltung /Implementierung von Produkt-Cloud-Plattformen		X	
	Ansätze zur kontext-spezifischen Analyse und Bereitstellung der Nutzungsdaten bestehender Produktpopulationen für Produktoptimierungen	X	X	X
<b>B</b>	Ansätze zur Schnittstellenspezifikation / Implementierungen		X	X
	Ansätze zur Gestaltung und Implementierung der smarten Produkt-Verwaltungsschale (nach RAMI)	X	X	X

**A** Primärer Forschungsbedarf (2018–2025)

**X** Dringlichster Forschungsbedarf (2018–2021)

**B** Sekundärer Forschungsbedarf (2018–2025)

**X** Bedarfsfokus

Tabelle 5-10: Wichtigste Forschungsbedarfe in der Service-Domäne

Prioritätscluster	Domäne: Service	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Ansätze für die virtuelle Simulation und Absicherung der Service-Komponenten	X	X	
	Ansätze für die Visualisierung und Interaktion mit smarten Services		X	
	Ansätze für die intuitive Modellierung produktbezogener smarter Services	X		
	Wissensbasierte Ansätze für die Simulation Service-bezogener Design for X-Gerechtigkeiten	X	X	X
	Ansätze zur Entwicklung von Baukästen und modularen Produktplattformstrukturen für smarte Services	X		

<b>A</b>	Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)		Dringlichster Forschungsbedarf (2018 – 2021)
<b>X</b>	Bedarfsfokus		

Produktentwicklers bei den Integrationstests. In diesem Zusammenhang wird hybriden Validierungsansätzen realer und virtueller Produktkomponenten eine hohe Bedeutung beigemessen. Bei diesen Ansätzen soll die simultane Validierung der Dienst- und Sachleistungsanteile des Produkts im Vordergrund ermöglicht werden. Auch im Rahmen der Systemintegration und -absicherung wurde ein prioritärer Forschungsbedarf hinsichtlich der Integration agiler Vorgehensmodelle identifiziert.

## 5.5. Produktdaten- und Prozessmanagement

Die Integration verschiedener virtueller Teilmodelle in das Produktlebenszyklusmanagement, die im Zuge der Entwicklung smarter Produkte anfallen werden, ist essenziell. Dafür geeignete Ansätze werden dringend benötigt (siehe Tabelle 5-12). Dazu sind die traditionellen Produktlebenszyklusansätze um die Berücksichtigung von Teilmodellen, die beispielsweise die Kommunikation der smarten Pro-

Tabelle 5-11: Wichtigste Forschungsbedarfe in der Systemintegration, -verifikation &amp; -validierung

Prioritätscluster	Systemintegration, -verifikation & -validierung	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Ansätze zur Prüfung/Zertifizierung smarter Produkte	X		
	Ansätze zur Erhöhung des Anwendungsspektrums und der Nutzungsmöglichkeiten der virtuellen Disziplinen-übergreifenden Produktabsicherung	X	X	X
	Ansätze für die Nutzung bzw. Einbeziehung von Felddaten aus der Produktnutzungsphase in die Validierung smarter Produkte	X	X	X
	Ansätze für die hybride Validierung realer und virtueller Produktkomponenten (Hardware/Software in the Loop)	X	X	X
	Ansätze zur Verkürzung der Absicherungszyklen im Zuge des Einsatzes agiler Vorgehensmodelle	X		
<b>B</b>	Ansätze zur Validierung der Systemintegration auf Basis des virtuellen Produktzwillings	X	X	X
	Ansätze zur Validierung von neuen Produktoptionen auf der Basis von Nutzungsdaten realer Produktinstanzen	X	X	X
	Ansätze für eine hohe Kunden- und Partnerintegration in die Systemvalidierung	X		
	Ansätze für das Wissensmanagement und die Wissensbereitstellung für Systemintegrations- und Validierungsprozesse	X		
	Ansätze zur Integration bereits bestehender Produktkomponenten aus modularen Baukästen			X

<b>A</b>	Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)		Dringlichster Forschungsbedarf (2018 – 2021)
<b>B</b>	Sekundärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)	<b>X</b>	Bedarfsfokus

dukte mit anderen smarten Produkten abbilden, zu erweitern.

Als Ansatz für die Integration produktbezogener Teilmodelle hat sich in der Forschung der digitale Zwilling etabliert. In diesem Zusammenhang bleiben jedoch noch grundlegende Fragen zu klären. Ein einheitliches Verständnis des digitalen Zwillings in Form einer anerkannten Definition ist zu schaffen. Dazu müssen Teilmodelle deklariert werden, die spezifisch für konkrete Anwendungen benötigt werden. Auch die Entwicklung von Ansätzen für das Management dieser virtuellen Produktzwillinge wird als prioritärer Forschungsbedarf gesehen. Außerdem wurde prioritärer Forschungsbedarf in der Entwicklung von Ansätzen zur Aufbereitung und Bereitstellung von Produktnutzungswissen für Engineering-Aufgaben identifiziert. Das Wissen über mögliche Einflüsse von Betriebs- und Umgebungsparametern auf Ausfälle von Bauteilen zum Beispiel kann insbesondere im Rahmen der kontinuierlichen Optimierung bestehender Produktinstanzen oder im Rahmen der Entwicklung zukünftiger Produktgenerationen Verbesserungspotenziale aufdecken. Außerdem besteht prioritärer Forschungsbedarf

in der Entwicklung von IT-Werkzeugen und Informationsmodellen für die vertikale Integration virtueller und realer Produktnutzungsdaten in das Produktlebenszyklusmanagement. Dazu müssen die produkttyp- beziehungsweise klassenbasierten Produktlebenszyklus-Management-Ansätze um instanzbasierte Konzepte erweitert werden. Schließlich wurde ein Bedarf hinsichtlich der Entwicklung neuer beziehungsweise der Erweiterung bestehender Methoden und IT-Werkzeuge zur Erhöhung der Flexibilität und Agilität von Engineering-Workflows identifiziert.

## 5.6. IT-Infrastrukturen

In der IT-Infrastruktur wurde Dringlichkeit bei der Entwicklung von IT-Werkzeugen und Informationsmodellen für die Erweiterung von systemneutralen Datenformaten gesehen, wie zum Beispiel STEP oder JT (siehe Tabelle 5-13). Ziel ist die Erhöhung der Interoperabilität zwischen verschiedenen Datenformaten, beispielsweise bei plattformbasierten Systemlösungen. Prioritärer Forschungsbedarf besteht in der Entwicklung von Ansätzen für den Einsatz

**Tabelle 5-12: Wichtigste Forschungsbedarfe im Produktdaten- & Prozessmanagement**

Prioritätscluster	Produktdaten- & Prozessmanagement	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Ansätze zur Erhöhung der Flexibilität und Agilität von Engineering-Workflows (z. B. für Freigabe und Änderungsprozesse)	X	X	
	Ansätze für die vertikale Integration virtueller und realer Produktinstanzendaten in das Produktlebenszyklusmanagement		X	X
	Ansätze für die Integration aller virtuellen Teilmodelle smarter Produkte (z. B. Kommunikations- und Verhaltensmodelle) in das Produktlebenszyklusmanagement	X	X	X
	Ansätze für das Management von virtuellen Modellen einzelner Produktinstanzen (virtueller Produkt-Zwilling)	X	X	X
	Ansätze zur Aufbereitung und Bereitstellung von Produktnutzungswissen für Engineeringaufgaben	X	X	X
<b>B</b>	Ansätze für die horizontale Produktlebenszyklusintegration der Produktion	X	X	X
	Ansätze für die horizontale Produktlebenszyklusintegration der Produktnutzung und -rekonfiguration	X	X	X
	Ansätze für das Management von Rekonfigurationsoptionen für die Produktnutzungsphase	X		
	Ansätze für eine Disziplinen-übergreifende Modularisierung und Teilwiederverwendung auf der Basis von Bibliotheken	X	X	
	Ansätze zur Steigerung der Vernetzung und Durchgängigkeit von Teilmodellen der einzelnen Engineering-Phasen und -Disziplinen entlang des Produktlebenszyklus	X		X

**A** Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)

 Dringlichster Forschungsbedarf (2018 – 2021)

**B** Sekundärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)

**X** Bedarfsfokus

Tabelle 5-13: Dringlichste Forschungsbedarfe im Rahmen der IT-Infrastruktur

Prioritätscluster	IT-Infrastruktur	Methoden	IT-Werkzeuge	Informationsmodelle
<b>A</b>	Ansätze für den Einsatz semantischer Datenmodelle	X	X	X
	Ansätze für den Einsatz von Cloud-Plattformen als Teil smarter Produkte		X	
	Ansätze für den Einsatz von Cloud-Plattformen für Engineering IT-Werkzeuge		X	
	Ansätze für die Erweiterung von systemneutralen Datenformaten (z. B. STEP, JT)		X	X
	Ansätze für den Einsatz offener Software-Systemarchitekturen (z. B. Service-orientierte Architekturen)		X	X

**A** Primärer Forschungsbedarf (2018 – 2025)      Dringlichster Forschungsbedarf (2018 – 2021)

**X** Bedarfsfokus

semantischer Datenmodelle, durch die beispielsweise die Implementierung von natürlicher Sprache bei der Mensch-Produkt-Interaktion ermöglicht wird. Ferner besteht prioritärer Forschungsbedarf bei der Entwicklung von IT-Werkzeugen für den Einsatz von Cloud-Plattformen als Teil von smarten Produkten, beispielsweise für den Daten- und

Informationsaustausch zwischen smarten Produkten. Außerdem werden Ansätze für den Einsatz offener Software-Systemarchitekturen, wie beispielsweise Service-orientierte Architekturen, benötigt, die beispielsweise eine unkomplizierte Manipulation des Funktionsumfangs von smarten Produkten ermöglichen.

## 6. Zusammenfassung

Das Engineering hat einen besonderen Stellenwert für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Die Produktentwicklung ist Haupttreiber der Innovation innerhalb des Entstehungsprozesses smarter Produkte und Services. Aus diesem Grund fokussiert die vorliegende Studie den Bereich Produktentwicklung unter Berücksichtigung der Feedback-Informationen aus den nachgelagerten Produktlebenszyklusphasen.

Im Rahmen der Studie wurde zunächst eine Analyse bestehender Aktivitäten im Umfeld der Entwicklung smarter Produkte durchgeführt. Die so gewonnenen Erkenntnisse flossen dann ein in die Identifikation, Priorisierung und Dringlichkeitsermittlung von Forschungsbedarfen unter Beteiligung von etwa 80 führenden Engineering-Expertinnen und Experten.

Die Ergebnisse der Studie bestätigen die Hypothese, dass die Innovations- und Geschäftspotenziale des Engineerings smarter Produkte innerhalb von Industrie 4.0 zunehmend erkannt werden. Allerdings adressieren zurzeit nur sehr wenige Studien, Projekte und Aktivitäten diese Thematik beziehungsweise thematisieren nur Teilaspekte davon. Die vorliegende Studie attestiert enorme Defizite im Bereich der Forschung im Kontext der Entwicklung smarter Produkte und leitet daraus einen hohen Forschungsbedarf ab.

Die wichtigsten Forschungsbedarfe werden in folgende Bereiche kategorisiert:

- Vorgehensmodelle und übergreifende Methoden für smarte Produkte
- Systementwurf smarter Produkte
- Domänen-spezifischer Entwurf von Komponenten smarter Produkte
- Systemintegration, -verifikation, -validierung von Komponenten smarter Produkte
- Produktdaten- und Prozessmanagement
- IT-Infrastrukturen für smarte Produkte

Im Kontext der **Vorgehensmodelle und übergreifender Methoden** können zusammenfassend folgende wichtigste Forschungsbedarfe herausgestellt werden:

- Erweiterung des V-Modells aus dem Systems Engineering um Service-orientierte Komponenten und um kooperative und agile Arbeitsmethoden

- Ausweitung der Entwicklung und Rekonfiguration von smarten Produkten auf alle Phasen des Produktlebenszyklus, insbesondere auf die Nutzungsphase
- Entwicklung ganz neuer disruptiver Vorgehensmodelle für die Entwicklung innovativer smarter Produkte

Wichtigste Forschungsbedarfe beim **Systementwurf smarter Produkte** sind:

- Entwicklung von Design for Smart-X-Methoden und IT-Werkzeugen unter Nutzung von Feedback-Informationen physischer Produkte, wobei das X für Produktion, Wartung, Logistik, Rekonfiguration et cetera steht
- Berücksichtigung und Modellierung von Geschäftsmodellen, von smarten Services, von Schnittstellen zur Systemumgebung und von Produkt-Internet-Plattformen (Product Clouds) beim Systementwurf smarter Produkte
- Nutzung von Feedback-Informationen früherer Produktgenerationen beim Systementwurf smarter Produkte
- Erweiterung des Anforderungs-Engineerings und -Managements für die Entwicklung smarter Produkte
- Intuitive Modellierungs- und Visualisierungstechniken für unvollständige Funktionsstrukturen auf mehreren Abstraktionsebenen, vor allem beim Entwurf von Systems of Systems
- Ansätze zur Modellierung der Kommunikations-, Interaktions- und Verhaltensfähigkeit smarter Produkte

In der Phase **des Entwurfs Domänen-spezifischer Produktkomponenten** wurden folgende wichtigste Forschungsbedarfe identifiziert:

- Ansätze zur Gestaltung einer smarten Mensch-Maschine-Produktinteraktion
- Ansätze für die virtuelle funktionale Simulation und Absicherung des Komponentenverhaltens unter Einbeziehung der Servicekomponente und unter Nutzung von Multi-Physics-Methoden
- Ansätze zur Nutzung von Feedback-Informationen aus nachgelagerten Entwicklungsphasen für den Entwurf und die Optimierung einzelner Produktkomponenten unter Einbeziehung neuer Design for Smart-X-Methoden und von Sicherheitsanforderungen

- Ansätze zum Entwurf des digitalen/virtuellen Zwillings, der RAMI 4.0-Verwaltungsschale und der Produkt-Internet-Plattform (Product Cloud)

Die wichtigsten identifizierten Forschungsbedarfe bei der **Systemintegration, -verifikation und -validierung** smarterer Produktkomponenten sind:

- Ansätze zur Prüfung und Zertifizierung smarterer Produkte mit dem Ziel, Absicherungszeiten zu verkürzen
- Ansätze zur Nutzung von Felddaten und Feedback-Informationen aus der Produktnutzungsphase für die Validierung smarterer Produkte
- Ansätze zur hybriden Validierung realer und virtueller Komponenten von smarten Produkten (Hardware in the Loop, Software in the Loop, Human in the Loop)
- Ansätze zur Kunden- und Partnerintegration in die Produktvalidierung

Im Rahmen des **Produktdaten- und Prozessmanagements** lassen sich die nachkommenden wichtigsten Forschungsbedarfe feststellen:

- Ansätze zur Integration aller virtuellen Teilmodelle (zum Beispiel auch der Kommunikations-, Interaktions- und Verhaltensmodelle) in das Produktlebenszyklusmanagement (PLM)
- Erweiterung bestehender PLM-Ansätze um Felddaten realer Produkte
- Ansätze für das Instanzen-basierte Management virtueller Produktmodelle (Management des digitalen/virtuellen Produktzwillings)
- Integration flexibler und agiler Methoden in Engineering-Workflows
- Integration von Methoden zur Produktrekonfiguration in PLM

Die wichtigsten Forschungsbedarfe im Kontext der **IT-Infrastrukturen** lauten:

- Ansätze für die Erweiterung von systemneutralen Datenformaten (zum Beispiel STEP, JT)

- Definition von übergeordneten und anwendungsspezifischen, semantikkreichen Datenmodellen (Ontologien, semantische Netze)

- Einsatz von Cloud-Plattformen als Teilkomponente smarterer Produkte sowie als Teil von Engineering-IT-Werkzeugen

- Offene Software-Systemarchitekturen für Engineering-IT-Werkzeuge

Übergreifend wurden Forschungsbedarfe hinsichtlich der Entwicklung von Referenzmodellen und Lösungsbibliotheken für das Engineering smarterer Produkte ermittelt. Des Weiteren wurde durchgängig ein hoher Bedarf an Standardisierung im Kontext des Engineerings und der Entwicklung smarterer Produkte festgestellt.

## Autoren

Prof. Dr.-Ing. **Michael Abramovici**, Ruhr-Universität Bochum,  
**Philip Gebus**, Ruhr-Universität Bochum,  
**Philipp Savarino**, Ruhr-Universität Bochum

## Beteiligte Expertinnen und Experten

**Youssef Aidi**, thyssenkrupp AG, **Albert Albers**, Karlsruher Institut für Technologie, **Maik Auricht**, Dassault Systèmes, **Beate Bender**, Ruhr-Universität Bochum, **Hansgeorg Binz**, Universität Stuttgart, **Hans Werner Bitzer**, Deutsche Telekom Innovation Laboratories, **Birgit Boss**, Robert Bosch GmbH, **Angelika Bullinger-Hoffmann**, Technische Universität Chemnitz, **Carsten Burchardt**, Siemens Industrie Software GmbH, **Hoang Bao Dang**, WITTENSTEIN SE, **Dirk Denger**, AVL List GmbH, **Johannes Diemer**, DXC Technology AG, **Rolf Döbereiner**, MAGNA POWERTRAIN, **Wolfgang Dorst**, Bitkom e.V., **Jörg Ettelt**, Vaillant GmbH, **Gerd Eßer**, Inpro GmbH, **Alexander Fay**, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, **Ursula Frank**, Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, **Jonathan Fuchs**, Leibniz Universität Hannover, **Matthias Gebauer**, Projektträger Karlsruhe, **Detlef Gerhard**, Technische Universität Wien, **Jens Christian Göbel**, Ruhr-Universität Bochum, **Michael Grethler**, Bechtle AG, **Jürgen Grotepaß**, Huawei Technologies Düsseldorf GmbH, **Willi Gründer**, TEDATA GmbH, **Otthein Herzog**, Universität Bremen – Tongji University, Shanghai, **Jörg Hermes**, SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG, **Rolf Hiersemann**, Hiersemann Prozessautomation GmbH, **Andreas Karlberger**, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG, **Bernd Kärcher**, Festo AG & Co KG, **Alfred Katzenbach**, Katzenbach Executive Consulting, **Michael Ketting**, IAMT mbH, **Dominik Kisskalt**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, **Gisela Lanza**, Karlsruher Institut für Technologie, **Peter Liggesmeyer**, Fraunhofer IESE, **Ulrich Löwen**, Siemens AG Corporate Technology, **Frank Mantwill**, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, **Mirko Meboldt**, ETH Zürich, **Jan Stefan Michels**, Weidmüller GmbH & Co KG, **Katharina Morik**, Technische Universität Dortmund, **Patrick Müller**, CONTACT Software GmbH, **Wolfgang Nebel**, OFFIS e.V., **Andreas Oroszi**, Festo AG & Co.KG, **Vahid Salehi**, Hochschule München, **Michael Schmeja**, Virtual Vehicle GmbH, **Matthias Schmich**, Siemens Industry Software GmbH, **Tom Schneider**, Trumpf GmbH & Co. KG, **Stefan Schulte**, Siemens AG, **Thomas Schulz**, GE Digital, **Ulrich Sandler**, Selbstständiger Autor/Referent/Berater, **Sven Spieckermann**, SimPlan AG,

**Rainer Stark**, Fraunhofer IPK, **Daniel Steffen**, UNITY AG, **Peter Stelter**, KHS GmbH, **Guido Stollt**, Smart Mechatronics GmbH, **Andre Stork**, Fraunhofer IGD, **Klaus-Dieter Thoben**, Universität Bremen, **Sandro Wartzack**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, **Christian Willmann**, Vaillant Group GmbH, **Petra Winzer**, Bergische Universität Wuppertal, **Detlef Zühlke**, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

*19 Teilnehmende baten um die Wahrung ihrer Anonymität und sind demnach nicht gelistet.*

# Literatur

## **Abramovici et al. 2016**

Abramovici, M./Gebus, P./Herzog, O.: *Engineering im Umfeld von Industrie 4.0*. acatech Studie. Herbert Utz-Verlag, München 2016.

## **Abramovici 2014**

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

## **acatech 2016**

acatech (Hrsg.): *Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0*, 2016. URL: [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/acatech\\_DOSSIER\\_Kompetenzentwicklung\\_Web.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/acatech_DOSSIER_Kompetenzentwicklung_Web.pdf) [Stand: 10.12.2017].

## **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].

## **Accenture/General Electric 2014**

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

## **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.

## **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.

## **bayme vbm 2016**

bayme vbm: *Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie*, 2016. URL:

[https://www.baymevbm.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GSBildung/2016Downloads/baymevbm\\_Studie\\_Industrie-4-0.pdf](https://www.baymevbm.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GSBildung/2016Downloads/baymevbm_Studie_Industrie-4-0.pdf) [Stand: 10.12.2017].

## **Bischoff 2015**

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

## **Bitkom 2016**

Bitkom e.V.: *Industrie 4.0 – Status und Perspektiven*, 2016. URL: <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2016/Leitfaden/Industrie-40-Status-und-Perspektiven/160421-LF-Industrie-40-Status-und-Perspektiven.pdf> [Stand: 10.12.2017].

## **BMBF 2015**

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

## **BMWi 2016**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.): *Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0*, Berlin 2016.

## **BMWi 2015**

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

## **Bosch Software Innovations 2015**

Bosch Software Innovations GmbH: *Marktstudie Industrie 4.0: Bedarf und Nutzen vernetzter Softwarelösungen*, 2015. URL: [https://www.bosch-si.com/media/de/bosch\\_si/manufacturing/study/management\\_summary\\_study\\_i4-0\\_de.pdf](https://www.bosch-si.com/media/de/bosch_si/manufacturing/study/management_summary_study_i4-0_de.pdf) [Stand: 10.12.2017].

**Botthof 2016**

Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0 iit-Institut für Innovation und Technik in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH Alfons Botthof: *Engineering 4.0 Grundzüge eines Zukunftsmodells*, 2016. URL: [https://vdivde-it.de/sites/default/files/document/Engineering\\_40\\_Grundzuege-eines-Zukunftsmodells-2016.pdf](https://vdivde-it.de/sites/default/files/document/Engineering_40_Grundzuege-eines-Zukunftsmodells-2016.pdf) [Stand: 10.12.2017].

**Buhr 2015**

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

**Capgemini 2015**

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

**DIN IEC 60050-351**

Deutsches Institut für Normung (DIN): *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 351: Leittechnik (IEC 60050-351:2013)*, 2014.

**DIN SPEC 91345**

Deutsches Institut für Normung (DIN): *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) (DIN SPEC 91345:2016-04)*, 2016.

**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](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](http://www.handelsblatt.com/downloads/8407916/2/industrial-internet_handelsblatt-and-ge-at-work.pdf) [Stand: 28.04.2016].

**Hirsch-Kreinsen/Weyer 2014**

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

**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](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*, 2016. URL: [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Sonderpublikationen/INBENZHAP\\_dt\\_web.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Sonderpublikationen/INBENZHAP_dt_web.pdf) [Stand: 29.06.2016].

**H&D International Group 2015**

H&D International Group: *Studie Industrie 4.0 Betrachtungsperspektive IT vs. Produktion*, 2015. URL: [https://www.hud.de/fileadmin/files/www.hud.de/PDFs/Studien/hud-Industrie40\\_Studie.pdf](https://www.hud.de/fileadmin/files/www.hud.de/PDFs/Studien/hud-Industrie40_Studie.pdf) [Stand: 10.12.2017].

**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.

**IANG 2018**

International Association of Engineers (IANG): *Engineering Definition*, 2018. URL: [http://www.iaeng.org/about\\_IAENG.html](http://www.iaeng.org/about_IAENG.html) [Stand: 30.09.2017].

**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].

**INCOSE 2015**

INCOSE (Hrsg.): *Systems engineering handbook. A guide for system life cycle processes and activities* (4. ed.), Hoboken, NJ: Wiley 2015.

**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](https://www.ingenics.de/assets/downloads/de/Industrie40_Studie_Ingenics_IAO_VM.pdf) [Stand: 28.04.2016].

**Ingenics 2016**

Ingenics AG: *Industrie 4.0 – Wo steht die Revolution der Arbeitsgestaltung?*, 2016. URL: [https://www.ingenics.com/assets/downloads/de/Industrie40\\_Studie2016\\_Ingenics\\_IAO\\_de\\_VM.pdf?m=1474972068](https://www.ingenics.com/assets/downloads/de/Industrie40_Studie2016_Ingenics_IAO_de_VM.pdf?m=1474972068) [Stand: 10.12.2017].

**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](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].

**Kompetenzzentrum Frauen im Management Hochschule Osnabrück 2016**

Kompetenzzentrum Frauen im Management, Hochschule Osnabrück in Trägerschaft der Science to Business GmbH: *Industrie 4.0 Frauen im Management*, 2016. URL: [https://docs.bisnode.de/pdf/Studien-Brosch%C3%BCren/Bisnode\\_Studie-FiM-Industrie%204%200\\_2016.pdf?\\_ga=2.170965283.2055715012.1513600822-740095352.1513600822](https://docs.bisnode.de/pdf/Studien-Brosch%C3%BCren/Bisnode_Studie-FiM-Industrie%204%200_2016.pdf?_ga=2.170965283.2055715012.1513600822-740095352.1513600822) [Stand: 10.12.2017].

**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](http://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](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.

**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.

**Plattform Industrie 4.0 2015**

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

**Plattform Industrie 4.0 2018**

Plattform Industrie 4.0 (Hrsg.): *Landkarte Industrie 4.0*, 2018. URL: <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/In-der-Praxis/Karte/karte.html> [Stand: 31.01.2018].

**Porter/Heppelmann 2014**

Porter, M.E./Heppelmann, J.E.: *How Smart, Connected Products Are Transforming Competition*, 2014. URL: <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition> [Stand: 13.06.2017].

**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](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.

**Staufen AG 2015a**

Staufen AG: *China – Industrie 4.0 Index*, 2015. URL: [http://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEIN.-studie-china-industrie-4.0-index-2015-de\\_DE.pdf](http://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEIN.-studie-china-industrie-4.0-index-2015-de_DE.pdf) [Stand: 10.12.2017].

**Staufen AG 2015b**

Staufen AG: *Deutscher Industrie 4.0 Index*, 2015. URL: [http://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEIN.-studie-deutscher-industrie-4.0-index-2015-de\\_DE.pdf](http://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEIN.-studie-deutscher-industrie-4.0-index-2015-de_DE.pdf) [Stand: 10.12.2017].

**Staufen AG 2015c**

Staufen AG: *Schweizer Industrie 4.0 Index*, 2015. URL: [http://www.industrie2025.ch/fileadmin/user\\_upload/Studie\\_Staufen\\_Schweizer\\_Industrie\\_4.0\\_Index.pdf](http://www.industrie2025.ch/fileadmin/user_upload/Studie_Staufen_Schweizer_Industrie_4.0_Index.pdf) [Stand: 10.12.2017].

**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 2016**

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.: *Digitalisierung 2020*, 2016. URL: <https://www.vde.com/resource/blob/981146/df07b354f52736c1e0b1de891a6d1836/studie-digitalisierung-2020-data.pdf> [Stand: 10.12.2017].

**VDI 2004**

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 2206: *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Ausschuss Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme (Hrsg.). Berlin: Beuth 2004.

**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=AD922E-7A6E86039440E01BFDF424CAE7> [Stand: 28.04.2016].

**Westkämper et al. 2013**

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

**WiGeP 2017**

Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP): *Positionspapier „Smart Engineering“*, 2017. In: WiGeP Newsletter 01/2017.

**Wirtschaftsrat Deutschland 2015**

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

**World Economic Forum 2015**

World Economic Forum: *Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services*, 2015. URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA\\_IndustrialInternet\\_Report2015.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_IndustrialInternet_Report2015.pdf) [Stand: 10.12.2017].

# Anhang A: Auszug analysierter Studien im Umfeld von Industrie 4.0

## **agendaCPS Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems**

Herausgeber: acatech

Jahr: 2012

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

Herausgeber: IBM Institute for Business Value/Saïd Business School der Universität Oxford

Jahr: 2012

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

Herausgeber: Capgemini

Jahr: 2015

## **Big Data – Vorsprung durch Wissen. Innovationspotenzanalyse**

Herausgeber: Schäfer, Andreas/Knapp, Melanie/May, Michael/Voß, Angelika. Fraunhofer IAIS

Jahr: 2012

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

Herausgeber: McKinsey Global Institute

Jahr: 2011

## **China – Industrie 4.0 Index 2015**

Herausgeber: Staufen AG

Jahr: 2015

## **Cracking the Digital Code**

Herausgeber: McKinsey Global Institute

Jahr: 2015

## **Cyber-Physical Systems: Innovationen durch software-intensive eingebettete Systeme**

Herausgeber: acatech

Jahr: 2010

## **Cyber-Physical Systems in der Logistik**

Herausgeber: EffizienzCluster LogistikRuhr

Jahr: 2013

## **Deutscher Industrie 4.0 Index 2015**

Herausgeber: Staufen AG

Jahr: 2015

## **Digitale Produktion**

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

Jahr: 2013

## **Digitalisierung 2020**

Herausgeber: VDE

Jahr: 2016

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

Herausgeber: McKinsey Global Institute

Jahr: 2013

## **Driving Unconventional Growth through the Industrial Internet of Things**

Herausgeber: Accenture

Jahr: 2014

## **Engineering 4.0. Grundzüge eines Zukunftsmodells**

Herausgeber: Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0 iit-Institut für Innovation und Technik in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Jahr: 2016

## **Engineering im Umfeld von Industrie 4.0**

Herausgeber: Abramovici, Michael/Herzog, Otthein

Jahr: 2016

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

Herausgeber: Bischoff, Jürgen

Jahr: 2015

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

Herausgeber: Bauernhansl, Thomas/Emmerich, Volkhard/Paulus-Rohmer, Dominik/Döbele, Mathias/Schatz, Anja/Weskamp, Markus

Jahr: 2015

## **Industrial Internet – Eine europäische Perspektive**

Herausgeber: General Electric

Jahr: 2013

## **Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines**

Herausgeber: General Electric

Jahr: 2012

**Industrial Internet Insights Report for 2015**

Herausgeber: Accenture

Jahr: 2014

**Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services**

Herausgeber: World Economic Forum

Jahr: 2015

**Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie**

Herausgeber: bayme vbm

Jahr: 2016

**Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution**

Herausgeber: PwC

Jahr: 2014

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

Herausgeber: Fraunhofer IPA/IHK Rhein-Neckar und Darmstadt Rhein Main Neckar

Jahr: 2015

**Industrie 4.0 – Eine Revolution der Arbeitsgestaltung**

Herausgeber: Ingenics AG

Jahr: 2014

**Industrie 4.0 – Readiness**

Herausgeber: VDMA

Jahr: 2015

**Industrie 4.0 – Status und Perspektiven**

Herausgeber: Bitkom

Jahr: 2016

**Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland**

Herausgeber: Bitkom/Fraunhofer-Institut IAO

Jahr: 2014

**Industrie 4.0 – Wo steht die Revolution der Arbeitsgestaltung?**

Herausgeber: Ingenics AG

Jahr: 2016

**Industrie 4.0 – Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland**

Herausgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Jahr: 2015

**Industrie 4.0 Business-Ökosystem – Definition der neuen Normalität**

Herausgeber: Frost &amp; Sullivan

Jahr: 2015

**Industrie 4.0. Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung**

Herausgeber: Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn; Werkzeugmaschinenlabor WZL der Rheinisch-Westfälischen

Technischen Hochschule Aachen

Jahr: 2016

**Industrie 4.0 durchdringt verarbeitendes Gewerbe in Deutschland**

Herausgeber: IDC

Jahr: 2014

**Industrie 4.0 Frauen im Management**

Herausgeber: bisnode

Jahr: 2016

**Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration**

Herausgeber: Bauernhansl, Thomas/ten Hompel, Michael/Vogel-Heuser, Birgit

Jahr: 2014

**Industry 4.0. The New Industrial Revolution. How Europe Will Succeed**

Herausgeber: Roland Berger Strategy Consultants

Jahr: 2014

**Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft**

Herausgeber: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit

Jahr: 2015

**Industry 4.0 How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector**

Herausgeber: McKinsey

Jahr: 2015

**Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0**

Herausgeber: acatech

Jahr: 2016

**Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand**

Herausgeber: Anderl, Reiner/Fleischer, Jürgen

Jahr: 2015

**Manufacturing Transformation. Achieving Competitive Advantage in a Changing Global Marketplace**

Herausgeber: Parametric Technology Corporation/Oxford Economics  
Jahr: 2014

**Marktstudie Industrie 4.0: Bedarf und Nutzen vernetzter Softwarelösungen**

Herausgeber: Bosch Software Innovations GmbH  
Jahr: 2015

**Memorandum der Plattform Industrie 4.0**

Herausgeber: Plattform Industrie 4.0/Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
Jahr: 2015

**Positionspapier des Wirtschaftsrates Industrie 4.0. Die Zukunft der deutschen Industrie gestalten**

Herausgeber: Wirtschaftsrat Deutschland  
Jahr: 2015

**Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0**

Herausgeber: Fraunhofer IAO  
Jahr: 2013

**Schweizer Industrie 4.0 Index 2015**

Herausgeber: Staufen AG  
Jahr: 2015

**Smart Engineering Interdisziplinäre Produktentstehung (acatech DISKUSSION)**

Herausgeber: Anderl, Reiner/Eigner, Martin/Sendler, Ulrich/Stark, Rainer  
Jahr: 2012

**Smart Service Welt. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft**

Herausgeber: acatech Arbeitskreis Smart Service Welt  
Jahr: 2014

**Soziale Innovationspolitik für die Industrie 4.0**

Herausgeber: Friedrich-Ebert-Stiftung  
Jahr: 2015

**Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg“**

Herausgeber: Bauernhansl, Thomas/Lickefett, Michael  
Jahr: 2014

**Studie Industrie 4.0 – Eine Standortbestimmung der Automobil- und Fertigungsindustrie**

Herausgeber: MHP  
Jahr: 2014

**Studie Industrie 4.0 – Betrachtungsperspektive IT vs. Produktion**

Herausgeber: H&D International Group  
Jahr: 2015

**Systems Engineering in der industriellen Praxis**

Herausgeber: Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Lehrstuhl für Produktentstehung/Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT/UNITY AG  
Jahr: 2013

**The Future of IT in the Manufacturing Industry – North America, Latin America, and Europe**

Herausgeber: Frost & Sullivan  
Jahr: 2015

**Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern**

Herausgeber: Plattform Industrie 4.0/Bitkom/VDMA/ZVE  
Jahr: 2013

**Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0**

Herausgeber: Plattform Industrie 4.0  
Jahr: 2015

**Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“**

Herausgeber: Technische Universität Dortmund  
Jahr: 2014

**Was ist eigentlich Industrie 4.0? Eine quantitative Datenanalyse liefert einen Einblick**

Herausgeber: Tschöpe, Sebastian/Aronska, Kateryna/Nyhuis, Peter  
Jahr: 2015

**Wie Industrie 4.0 die Steuerung der Wertschöpfung verändert**

Herausgeber: Horváth & Partners  
Jahr: 2015

**Zukunftsbild Industrie 4.0**

Herausgeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung  
Jahr: 2015

# Anhang B: Fragenkatalog zur Online-Befragung der Experten

## A. Fragen zu Ihrer Person und Ihrem Unternehmen

A1	Welchem der folgenden Bereiche ist Ihre Verantwortlichkeit zuzuordnen?	<input type="checkbox"/> Forschung	<input type="checkbox"/> Geschäftsführung	<input type="checkbox"/> IT-Dienstleistungen
		<input type="checkbox"/> Logistik	<input type="checkbox"/> Managementberatung	<input type="checkbox"/> Produktbezogener Service
		<input type="checkbox"/> Produktentwicklung	<input type="checkbox"/> Produktion	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____
A2	Falls Sie eine Forschungseinrichtung vertreten: Welche sind Ihre Forschungsschwerpunkte?	_____ _____		
A3	Sind Sie in Fachgremien mit Bezug zum Thema dieser Umfrage tätig? (zum Beispiel Engineering smarterer Produkte und Services, Industrie 4.0)	<input type="checkbox"/> Ja, in welchen? _____ _____		<input type="checkbox"/> Nein
A4	In welcher Branche liegen die Schwerpunkte Ihrer Expertise?	<input type="checkbox"/> Aerospace	<input type="checkbox"/> Anlagenbau	<input type="checkbox"/> Automatisierungstechnik
		<input type="checkbox"/> Automotive	<input type="checkbox"/> Consulting	<input type="checkbox"/> Informations- und Kommunikationstechnologie
		<input type="checkbox"/> Konsumgüter	<input type="checkbox"/> Logistik	<input type="checkbox"/> Maschinenbau
		<input type="checkbox"/> Medizintechnik	<input type="checkbox"/> Sonstiges: _____	

## B. Das V-Modell für die Systementwicklung und allgemeine Methoden

B1.1	Wie schätzen Sie die Bedeutung des V-Modells für das Engineering smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
B1.2	In welche der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe für Erweiterungen des V-Modells im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
B1.2.1	Erweiterung um Service-Domäne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B1.2.2	Integration agiler Ansätze innerhalb der V-Modell-Phasen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B1.2.3	Frühere Eigenschaftsabsicherung durch Rapid und Virtual Prototyping	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B1.2.4	Stärkere Domänen-Integration/-Synchronisation in der Domänenspezifischen Entwurfsphase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B1.2.5	Weiterentwicklung/Rekonfiguration smarter Produkte während ihres gesamten Lebenszyklus (besonders während der Produktnutzungsphase)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B1.2.6	Integration kooperativer Vorgehensansätze in den einzelnen V-Modell-Phasen (zum Beispiel Kunden/Partner Co-Design, simultane Produktionsplanung, ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B1.3	Besteht aus Ihrer Sicht Bedarf, Referenzmodelle für die Entwicklung smarter Produkte zu verwenden?	Ja, welcher Art? <i>(Mehrfachnennung möglich)</i>  <input type="checkbox"/> Generische Referenzmodelle <input type="checkbox"/> Branchenspezifische Referenzmodelle <input type="checkbox"/> Produktypspezifische Referenzmodelle <input type="checkbox"/> Sonstige Referenzmodelle		<input type="checkbox"/> Nein	
B1.4	Besteht aus Ihrer Sicht Standardisierungsbedarf bei den Referenzmodellen zur Entwicklung von smarten Produkten?	Ja, in welchen Bereichen?  _____  _____		<input type="checkbox"/> Nein	
B2	Welches sind aus Ihrer Sicht die wichtigsten allgemeinen Methoden für die Entwicklung smarter Produkte?	<input type="checkbox"/> Kostenrechnungsmethoden	<input type="checkbox"/> Reifegradmodelle für Prozesse, Methoden, Modelle und IT-Werkzeuge	<input type="checkbox"/> Methoden zur früheren Abschätzung und Bewertung von Risiken	

## C. Systementwurf

C1.1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung übergreifender Planungsansätze (für Geschäftsmodelle, Produktportfolio, Szenarien etc.) für die Systementwurfsphase smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
C1.2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. zur Entwicklung neuer übergreifender Planungsansätze im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
C1.2.1	Produktportfolioanalyse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.2.2	Ansätze für die Entwicklung, Konfiguration und Simulation von produktindividuellen Geschäftsmodellen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.2.3	Szenario-Technik und Benchmarking	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.2.4	Wissensbereitstellung auf der Basis von Feedback-Informationen früherer Produktgenerationen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.2.5	Personalisierungs- und Rekonfigurations-Ansätze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.2.6	Design for X-Methoden (zum Beispiel Design for Smart Manufacturing, Design for Smart Reconfiguration, Design for predictive Maintenance)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C1.2.7	FMEA, QFD und Conjoint Analysen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C2.1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung der Anforderungsspezifikation und des Anforderungsmanagements für die Entwicklung smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
C2.2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. zur Entwicklung neuer Anforderungsspezifikations- und Anforderungsmanagementsansätze im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
C2.2.1	Ansätze zur Anforderungsmodellierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C2.2.2	Ansätze zur Anforderungsverifikation und -validierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C2.2.3	Kundenintegration in die Anforderungsentwicklung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C2.2.4	Wissensgenerierung aus Produktnutzungsdaten vorheriger Produktgenerationen für neue Anforderungsspezifikationen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C2.2.5	Use-Case-Analysen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C2.3	Besteht aus Ihrer Sicht Bedarf, Anforderungsschecklisten/-schablonen zu verwenden?	Ja, welcher Art? <i>(Mehrfachnennung möglich)</i>  <input type="checkbox"/> Generische Anforderungsschecklisten/-schablonen <input type="checkbox"/> Branchenspezifische Anforderungsschecklisten/-schablonen <input type="checkbox"/> Produkttypspezifische Anforderungsschecklisten/-schablonen <input type="checkbox"/> Sonstige Anforderungsschecklisten/-schablonen		<input type="checkbox"/> Nein	
C2.4	Sehen Sie Standardisierungsbedarf im Bereich der Anforderungsdefinition smarter Produkte?	Ja, welcher Art? <i>(Mehrfachnennung möglich)</i>  _____  _____		<input type="checkbox"/> Nein	
C3.1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung übergreifender Planungsansätze (für Geschäftsmodelle, Produktportfolio, Szenarien etc.) für die Systementwurfsphase smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
C3.2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. für die Entwicklung neuer Funktionsdefinitions- bzw. -modellierungsansätze im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
C3.2.1	Definition unvollständiger Funktionsstrukturen (in der Entwurfsphase noch unbekannt)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C3.2.2	Neue intuitive Funktionsmodellierungsansätze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C3.2.3	Erweiterungen/Anpassung bestehender Modellierungsansätze (zum Beispiel SysML, CONSENS)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C3.2.4	Ansätze für die virtuelle Simulation von Funktionsstrukturen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C3.2.5	Ansätze zur Verhaltenssimulation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C3.2.6	Wissensbasierte Assistenzansätze zur Unterstützung der Funktionsentwicklung auf der Grundlage von Daten aus früheren Entwicklungsprojekten und Produktnutzungsinformationen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C3.2.7	Modulbibliotheken zur Wiederverwendung von Funktionsmodellen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C4.1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung der logischen Architektorentwicklung für die Entwicklung smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>

C4.2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. zur Entwicklung neuer logischer Produktarchitekturansätze im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
C4.2.1	Wissensbasierte Ansätze für die Disziplinen-spezifische Partitionierung der logischen Produktarchitektur aus der Anforderungs-/Funktionsstruktur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C4.2.2	Integration von Smart Service-Modellierungsansätzen in die logische Produktarchitektur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C4.2.3	Intuitive Modellierungstechniken auf mehreren Abstraktionsebenen (System of Systems)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C4.2.4	Ansätze zur Modellierung von Ökosystem- und Umfeldkomponenten smarter Produkte als Bestandteil und Schnittstellen der logischen Architekturen smarter Produkte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C4.2.5	Modellierung der Produkt-Clouds	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C4.2.6	Wissensbasierte Ansätze zur Unterstützung der Disziplinen-spezifischen Anforderungsspezifikation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C4.2.7	Ansätze zur Unterstützung der Disziplinen-übergreifenden Design for x-Gerechtigkeiten (zum Beispiel Design for Smart Manufacturing, Design for Smart Reconfiguration, Design for predictive Maintenance)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C4.2.8	Ansätze für die intuitive, Disziplinen-übergreifende Visualisierung der logischen Architektur smarter Produkte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C4.2.9	Spezifikation dynamischer Systemschnittstellen (zum Beispiel für Kommunikationsstrukturen bzw. Verhandlungsstrukturen zwischen smarten Produkten)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C4.3	Sehen Sie eine Notwendigkeit für die Entwicklung von Lösungsbibliotheken für den Entwurf der logischen Systemarchitektur smarter Produkte?	Ja, welcher Art? <i>(Mehrfachnennung möglich)</i>  <input type="checkbox"/> Generische Lösungsbibliotheken <input type="checkbox"/> Branchenspezifische Lösungsbibliotheken <input type="checkbox"/> Produkttypspezifische Lösungsbibliotheken <input type="checkbox"/> Sonstige Lösungsbibliotheken		<input type="checkbox"/> Nein	

## D. Domänenspezifischer Entwurf und prototypische Implementierung

D1.1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung von Mechanik-zentrierten Produktmodellierungs-, Produktvisualisierungs- und Produktsimulationsansätzen für die Entwicklung smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
D1.2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. für die Entwicklung neuer Mechanik-zentrierter Produktmodellierungs-, Produktvisualisierungs- und Produktsimulationsansätze im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
D1.2.1	Neue Modellierungsansätze für Produkte, die additiv gefertigt werden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.2	Neue Modellierungsansätze für smarte Leichtbauteile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.3	Neue Modellierungsansätze für Produkte aus smarten Materialien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.4	Ansätze zur Unterstützung der Entwicklung von Baukästen, modularen Produktplattformstrukturen und Produktgenerationen mit Schnittstellen für künftige Systemerweiterungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.5	Wissensbasierte Assistenzansätze auf der Basis von Fertigungs- und Produktnutzungsdaten von Vorgängerproduktgenerationen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.6	Digital/Functional Mock-up	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.7	Wissensbasierte Ansätze für die Berücksichtigung bzw. Simulation erweiterter Mechanik-bezogener Design for x-Gerechtigkeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.8	Ansätze für die hybride (physische/virtuelle) Simulation und Absicherung von Mechanik-Komponenten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.9	Integration von Multi-Physics-Simulationen in die Produktmodellierung und -auslegung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.10	Neue Ansätze für die Gestaltung der smarten Mensch-Produkt-Interaktion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.11	Modellierungsansätze unter Nutzung von AR-Technologien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D1.2.12	Neue Visualisierungsansätze (Mixed Reality, Scientific Visualization)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D2.1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung E/E-zentrierter Produktmodellierungs-, Produktvisualisierungs- und Produktsimulationsansätze für die Entwicklung smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
D2.2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. für die Entwicklung neuer Mechanik-zentrierter Produktmodellierungs-, Produktvisualisierungs- und Produktsimulationsansätze im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
D2.2.1	Ansätze für die Produktvarianten bzw. -konfigurationenindividuelle Auslegung und Gestaltung von E/E-Komponenten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D2.2.2	Ansätze für das Zuverlässigkeitsmanagement komplexer E/E-Systeme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D2.2.3	Ansätze zur Berücksichtigung von steigenden Sicherheitsanforderungen (zum Beispiel bzgl. Manipulation) von E/E-Systemen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D2.2.4	Methoden zur Entwicklung von Baukästen und modularen E/E-Produktplattformstrukturen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D2.2.5	Wissensbasierte Ansätze für die Berücksichtigung bzw. Simulation E/E-bezogener Design for x-Gerechtigkeiten (zum Beispiel Design for Smart Manufacturing, Design for Smart Reconfiguration, Design for predictive Maintenance)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D2.2.6	Kontext-spezifische Analyse und Bereitstellung der Nutzungsdaten bestehender Produktpopulationen für Produktoptimierungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D2.2.7	Ansätze für die virtuelle funktionale Simulation und Absicherung von E/E-Komponenten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D3.1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung von Softwaremodellierungs-, Softwarevisualisierungs- und Softwaresimulationsansätzen für die Entwicklung smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
D3.2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. für die Entwicklung neuer Softwaremodellierungs-, Softwarevisualisierungs- und Softwaresimulationsansätze im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
D3.2.1	Ansätze zur Berücksichtigung von IT-Sicherheitsanforderungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D3.2.2	Ansätze für die virtuelle funktionale Simulation und Absicherung der Software-Komponenten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D3.2.3	Wissensbasierte Ansätze für die Berücksichtigung bzw. Simulation Software-bezogener Design for x-Gerechtigkeiten (zum Beispiel Design for Smart Manufacturing, Design for Smart Reconfiguration, Design for predictive Maintenance)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D3.2.4	Kontext-spezifische Analyse und Bereitstellung der Nutzungsdaten bestehender Produktpopulationen für Produktoptimierungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D3.2.5	Schnittstellenspezifikation/Implementierungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D3.2.6	Gestaltung/Implementierung von Produkt-Cloud-Plattformen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D3.2.7	Gestaltung/Implementierung des virtuellen Zwillings	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D3.2.8	Gestaltung und Implementierung der Smarten Produkt-Verwaltungsschale (nach RAMI)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D4.1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung von Servicemodellierungs-, Servicevisualisierungs- und Servicesimulationsansätzen für die Entwicklung smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
D4.2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. für die Entwicklung neuer Servicemodellierungs-, Servicevisualisierungs- und Servicesimulationsansätze im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
D4.2.1	Ansätze für die intuitive Modellierung produktbezogener smarter Services	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D4.2.2	Ansätze für die Visualisierung von und die Interaktion mit smarten Services	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D4.2.3	Ansätze für die virtuelle Simulation und Absicherung der Service-Komponenten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D4.2.4	Methoden zur Entwicklung von Baukästen und modularen Produktplattformstrukturen für smarte Services	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D4.2.5	Wissensbasierte Ansätze für die Berücksichtigung bzw. Simulation servicebezogener Design for x-Gerechtigkeiten (zum Beispiel Design for Smart Manufacturing, Design for Smart Reconfiguration, Design for predictive Maintenance)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## E. Systemintegration, -verifikation und -validierung

E1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung von Verifikations- und Validierungsansätzen für die Entwicklung smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
E2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. für die Entwicklung neuer Produkt- und Serviceverifikations- und Validierungsansätze im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
E2.1	Erhöhung des Anwendungsspektrums und der Nutzungsmöglichkeiten der virtuellen Disziplinen-übergreifenden Produktabsicherung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2.2	Integration bereits bestehender Produktkomponenten aus modularen Baukästen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2.3	Verkürzung der Absicherungszyklen im Zuge des Einsatzes agiler Vorgehensmodelle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2.4	Ansätze zur Nutzung von Vorgängerprodukten oder Prototypen in Integrationstests	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2.5	Nutzung bzw. Einbeziehung von Felddaten aus der Produktnutzungsphase in die Validierung smarter Produkte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2.6	Validierung der Systemintegration auf Basis des virtuellen Produktzwillings	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2.7	Ansätze für die hybride Validierung realer und virtueller Produktkomponenten (HiL, SiL)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2.8	Validierung von neuen Produktoptionen auf der Basis von Nutzungsdaten realer Produktinstanzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2.9	Neue Ansätze zur Prüfung/Zertifizierung smarter Produkte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2.10	Hohe Kunden- und Partnerintegration in die Systemvalidierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2.11	Wissensmanagement und Wissensbereitstellung für Systemintegrations- und Validierungsprozesse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## F. Übergreifendes Produktdaten- und Prozessmanagement

F1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung von Verifikations- und Validierungsansätzen für die Entwicklung smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
F1.1	Innerhalb der Mechanik-Entwicklung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F1.2	Innerhalb der Elektrik-/Elektronik-Entwicklung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F1.3	Innerhalb der Software-Entwicklung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F1.4	Innerhalb der Service-Entwicklung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F1.5	Für den übergreifenden System-Entwurf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F1.6	Für die übergreifende System-Validierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F1.7	Für das gesamte System/den gesamten Produktlebenszyklus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. für die Entwicklung neuer Produktdatenmanagement- und Prozessmanagementansätze im Hinblick auf die Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
F2.1	Horizontale Produktlebenszyklusintegration der Produktion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2.2	Horizontale Produktlebenszyklusintegration der Produktnutzung und -rekonfiguration	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2.3	Vertikale Integration virtueller und realer Produktinstanzendaten in das Produktlebenszyklusmanagement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2.4	Stärkere Integration aller virtuellen Teilmodelle smarter Produkte (zum Beispiel Kommunikations- und Verhaltensmodelle) in das Produktlebenszyklusmanagement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2.5	Ansätze für das Management von virtuellen Modellen einzelner Produktinstanzen (virtueller Produkt-Zwilling)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2.6	Ansätze für das Management von Rekonfigurationsoptionen für die Produktnutzungsphase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2.7	Ansätze zur Aufbereitung und Bereitstellung von Produktnutzungswissen für Engineering-Aufgaben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2.8	Ansätze für eine Disziplinen-übergreifende Modularisierung und Teilwiederverwendung auf der Basis von Bibliotheken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2.9	Ansätze zur Erhöhung der Flexibilität und Agilität von Engineering-Workflows (zum Beispiel für Freigabe und Änderungsprozesse)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2.10	Ansätze zur Steigerung der Vernetzung und Durchgängigkeit von Teilmodellen der einzelnen Engineering-Phasen und -Disziplinen entlang des Produktlebenszyklus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2.11	Wissensbasierte Assistenzsysteme zur Teilklassifizierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## G. IT-Infrastruktur

G1	Wie hoch schätzen Sie grundsätzlich die Bedeutung aktueller IKT-Innovationen im Umfeld des Internet der Dinge und Internet der Services für die Entwicklung smarter Produkte ein?	Sehr gering <input type="checkbox"/>	Eher gering <input type="checkbox"/>	Eher hoch <input type="checkbox"/>	Sehr hoch <input type="checkbox"/>
G2	In welcher der folgenden Richtungen sehen Sie wichtige Bedarfe zur Erweiterung bestehender bzw. für die Entwicklung neuer Enabling-Technologien zur Unterstützung der Entwicklung smarter Produkte?	Methoden	Informationsmodelle	IT-Werkzeuge	Kein Bedarf
G2.1	Einsatz und Anwendung semantischer Datenmodelle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G2.2	Einsatz offener Software-Systemarchitekturen wie zum Beispiel SOA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G2.3	Erweiterung von systemneutralen Datenformaten wie STEP, JT etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G2.4	Einsatz von Cloud-Plattformen für Engineering IT-Werkzeuge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G2.5	Einsatz von Cloud-Plattformen als Teil smarter Produkte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

