

**Industrie 4.0**

# **Whitepaper FuE-Themen**

Stand: 7. April 2015

# Industrie 4.0

## – Whitepaper FuE-Themen –

Stand: 7. April 2015

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Thesen des Wissenschaftlichen Beirats</b> .....	<b>4</b>
2.1	Mensch .....	4
2.2	Technik .....	4
2.3	Organisation.....	4
<b>3</b>	<b>Überblick über die Themenfelder</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Das Ziel: Industrie 4.0 by Design</b> .....	<b>5</b>
4.1	Was verstehen wir darunter? .....	5
4.2	Was wollen wir damit erreichen? .....	6
<b>5</b>	<b>Themenfelder</b> .....	<b>6</b>
5.1	Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke .....	6
5.1.1	Methoden für neue Geschäftsmodelle .....	6
5.1.2	Methoden für Framework Wertschöpfungsnetzwerke.....	8
5.1.3	Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken .....	11
5.2	Durchgängigkeit des Engineerings über den gesamten Lebenszyklus .....	14
5.2.1	Integration von realer und virtueller Welt.....	14
5.2.2	Systems Engineering.....	17
5.3	Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme .....	21
5.3.1	Sensornetze .....	21
5.3.2	Intelligenz, Flexibilität und Wandelbarkeit .....	25
5.4	Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit .....	27
5.4.1	Multimodale Assistenzsysteme .....	27
5.4.2	Technologieakzeptanz und Arbeitsgestaltung .....	30
5.5	Querschnittstechnologien für Industrie 4.0 .....	32
5.5.1	Netzkommunikation für Industrie 4.0 Szenarien .....	32
5.5.2	Mikroelektronik .....	36
5.5.3	Security, Privacy & Safety .....	39
5.5.4	Datenanalyse.....	40
5.5.5	Syntax und Semantik für Industrie 4.0 .....	43
<b>6</b>	<b>Die Abhängigkeiten und die Relevanz der Themen</b> .....	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b> .....	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>Impressum</b> .....	<b>49</b>

## 1 Einleitung

Die „Plattform Industrie 4.0“ ist ein gemeinsames Projekt der drei Industrieverbände BITKOM, VDMA und ZVEI. Es knüpft an das „Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ an, das im Aktionsplan zur „Hightech-Strategie 2020“ von der Bundesregierung gestartet wurde. Ziel ist es, mit geeigneten Maßnahmen Deutschland in die Lage zu versetzen, die Digitalisierung in der Produktion in den Rollen Leitmarkt (produzierende Industrie) und Leitanbieter (Ausrüsterindustrie) nachhaltig zu gestalten. Erste Umsetzungsempfehlungen erarbeitete der „Arbeitskreis Industrie 4.0“ bereits 2012, koordiniert von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Der Abschlussbericht wurde der Bundesregierung auf der Hannover Messe 2013 übergeben. Auf der Hannover Messe 2014 legte die Plattform Industrie 4.0 eine erste Version ihres Whitepapers zu FuE-Themen vor.

Die „Plattform Industrie 4.0“ hat zum Ziel, die vorwettbewerblichen Voraussetzungen für die wirtschaftliche Umsetzung und die Verwirklichung der Vision Industrie 4.0 zu schaffen, und so den Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken. Im branchenübergreifenden Austausch sollen Konzepte für Technologien, Standards, Geschäfts- und Organisationsmodelle entwickelt und die praktische Umsetzung vorangetrieben werden. Der Lenkungsreis der Plattform definiert Industrie 4.0 wie folgt:

*„Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen.“*

*Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.“*

Der Wissenschaftliche Beirat der Plattform Industrie 4.0 hat 17 Thesen zu Industrie 4.0 formuliert, die beschreiben, wohin Industrie 4.0 führt. Sie beschreiben plastisch, welche konkreten Chancen sich tatsächlich mit Industrie 4.0 ergeben und helfen auch bei einer kritischen Analyse der zahlreichen Angebote, die heute schon unter dem Label Industrie 4.0 firmieren, aber nicht immer auch einen echten Beitrag dazu leisten.

Um diese Ziele von Industrie 4.0 zu erreichen, sind Forschung und Entwicklung notwendig. Die AG3 „Forschung und Innovation“ der Plattform formuliert hierfür in Abstimmung mit dem Wissenschaftlichen Beirat den Bedarf und strukturiert ihn inhaltlich und zeitlich.

Im vorliegenden Whitepaper 2015 werden neben den Thesen des Wissenschaftlichen Beirates die aus Sicht der Industrie vorrangigen FuE-Themen vorgestellt. Gegenüber der ersten Fassung des Papiers von 2014 wurden weitere wichtige FuE-Themen aufgenommen. Wie angekündigt, wurde es zu einer Roadmap weiterentwickelt: Neben der Definition der Themen und ihrer genauen Beschreibung gibt das Papier nicht nur Hinweise zu den notwendigen Voraussetzungen und gegenseitigen Abhängigkeiten, sondern benennt auch die konkreten Ergebnisse, die erreicht werden sollen. Es versucht auch, Realisierungszeiträume für die einzelnen Entwicklungsphasen abzuschätzen.

Das Whitepaper 2015 formuliert damit die Kernthemen von Industrie 4.0 aus Sicht der Plattform Industrie 4.0 unter dem Gesichtspunkt „Forschung und Innovation“.

Naturgemäß ist diese Roadmap eine Momentaufnahme, die insbesondere die FuE-Aktivitäten auf dem Weg zu Industrie 4.0 begleiten soll und kontinuierlich im Dialog mit der Wissenschaft weiterentwickelt wird.

## 2 Thesen des Wissenschaftlichen Beirats<sup>1</sup>

### 2.1 Mensch

1. Vielfältige Möglichkeiten für eine humanorientierte Gestaltung der Arbeitsorganisation werden entstehen, auch im Sinne von Selbstorganisation und Autonomie. Insbesondere eröffnen sich Chancen für eine alterns- und altersgerechte Arbeitsgestaltung.
2. Industrie 4.0 als sozio-technisches System bietet die Chance, das Aufgabenspektrum der Mitarbeiter zu erweitern, ihre Qualifikationen und Handlungsspielräume zu erhöhen und ihren Zugang zu Wissen deutlich zu verbessern.
3. Lernförderliche Arbeitsmittel (Learnstruments) und kommunizierbare Arbeitsformen (Community of Practice) erhöhen die Lehr- und Lernproduktivität, neue Ausbildungsinhalte mit einem zunehmend hohen Anteil an IT-Kompetenzen entstehen.
4. Lernzeuge – gebrauchstaugliche, lernförderliche Artefakte – vermitteln dem Nutzer ihre Funktionalität automatisch.

### 2.2 Technik

5. Industrie 4.0-Systeme sind für den Anwender einfach zu verstehen, intuitiv zu bedienen, sie sind lernförderlich und reagieren verlässlich.
6. Allgemein zugängliche Lösungsmuster erlauben es vielen Akteuren, Industrie 4.0-Systeme zu entwerfen, zu realisieren und zu betreiben (Industrie 4.0 by Design).
7. Die Vernetzung und Individualisierung der Produkte und Geschäftsprozesse erzeugt Komplexität, die z. B. durch Modellierung, Simulation und Selbstorganisation bewirtschaftet wird. Ein größerer Lösungsraum kann schneller analysiert und Lösungen können schneller gefunden werden.
8. Die Ressourceneffektivität und -effizienz kann kontinuierlich geplant, umgesetzt, überwacht und autonom optimiert werden.
9. Intelligente Produkte sind aktive Informationsträger und über alle Lebenszyklusphasen adressier- und identifizierbar.
10. Systemkomponenten sind auch innerhalb von Produktionsmitteln adressier- und identifizierbar. Sie unterstützen die virtuelle Planung von Produktionssystemen und -prozessen.
11. Neue Systemkomponenten verfügen mindestens über die Fähigkeiten der zu ersetzenden und können deren Funktion kompatibel übernehmen.
12. Systemkomponenten bieten ihre Funktionalitäten als Dienste an, auf die andere zugreifen können.
13. Eine neue Sicherheitskultur führt zu vertrauenswürdigen, resilienten und gesellschaftlich akzeptierten Industrie 4.0-Systemen.

### 2.3 Organisation

14. Neue und etablierte Wertschöpfungsnetze mit Mehrwert integrieren Produkt, Produktion und Service und ermöglichen die dynamische Variation der Arbeitsteilung.

---

<sup>1</sup> Neue Chancen für unsere Produktion – 17 Thesen des Wissenschaftlichen Beirats der Plattform Industrie 4.0, April 2014

- 15. Zusammenarbeit und Wettbewerb (Coopetition) führt betriebswirtschaftlich und rechtlich zu neuen Strukturen.
- 16. Systemstrukturen und Geschäftsprozesse werden auf dem jeweils gültigen Rechtsrahmen abbildbar; neue rechtliche Lösungen ermöglichen neue Vertragsmodelle.
- 17. Es entstehen Chancen für die Vermittlung regionaler Wertschöpfung – auch in sich entwickelnden Märkten.

### 3 Überblick über die Themenfelder

Die folgende Abbildung zeigt den groben Zeitplan für die Bearbeitung der einzelnen Forschungs- und Innovationsthemen innerhalb der einzelnen Themenfelder:



Zeitplan für die einzelnen Forschungsfelder

## 4 Das Ziel: Industrie 4.0 by Design

### 4.1 Was verstehen wir darunter?

Der Haupttreiber der Produktion ist eine ganzheitliche Ressourcen-Effizienz und -Effektivität. Dies geht zunehmend einher mit stark steigenden Flexibilitätsanforderungen bis hin zur kundenspezifischen Einzelfertigung. Industrie 4.0 postuliert daraufhin die Innovationshypothese, dass diese steigende Komplexität durch intelligente Fabriken, bestehend aus intelligenten Maschinen, beherrscht werden wird, in denen hoch qualifizierte und flexible Mitarbeiter intelligent automatisierte, sich selbst organisierende und optimierende Prozesse bedienen. Diese intelligenten Fabriken und Maschinen sind sogenannte Cyber-Physical Systems (CPS), die eigenständig aktiv werden und handeln können und sich selbst organisieren und optimieren. Für

solche Systeme sind neue Informations- und Kommunikationstechnik und neue Entwurfparadigmen notwendig.

Dazu werden allgemein zugängliche Lösungsmuster in Form von aufeinander abgestimmten Geschäftsmodellen, Prozessen, Methoden, Werkzeugen und Funktionen benötigt, um viele Akteure in die Lage zu versetzen, solche Cyber-Physischen Systeme (bestehend aus Mechanik, Elektrotechnik, Elektronik und Software) wirtschaftlich zu entwerfen, zu realisieren und zu betreiben.

Industrie 4.0 by Design definiert im Rahmen dieser Lösungsmuster Qualitätskriterien, bei deren Erfüllung sichergestellt ist, dass die von verschiedenen Herstellern zur Verfügung gestellten Cyber-Physischen Systeme interoperabel im Sinne der intelligent automatisierten, sich selbst organisierenden Prozesse sind.

## 4.2 Was wollen wir damit erreichen?

Übergeordnetes Ziel von Industrie 4.0 ist die nachhaltige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit des Produktionsstandorts Deutschland. Dazu muss zum einen die deutsche Industrie ertüchtigt werden, Cyber-Physische Systeme zu bauen und diese weltweit konkurrenzfähig anzubieten. Dafür bieten die allgemein zugänglichen Lösungsmuster die Basis. Daneben müssen über geeignete Migrationspfade, die durch die Lösungsmuster prinzipiell aufgezeigt werden, Cyber-Physische Systeme in die existierenden Fabriken integriert werden, um den Werterhalt der installierten Basis sicherzustellen.

Industrie 4.0 by Design stellt sicher, dass bei Vernetzung der Cyber-Physischen Systeme untereinander alle relevanten Informationen in Echtzeit zur Verfügung stehen, um den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss im Produktions- und Logistik-Netzwerk zu ermitteln. Außerdem können Cyber-Physische Systeme schnell und einfach in ein Wertschöpfungsnetz integriert bzw. daraus entfernt werden, um so ein Produktions- und Logistik-Netzwerk äußerst flexibel gestalten zu können.

Dabei ist sicherzustellen, dass die neuen technischen Lösungen bezüglich ihrer Komplexität beherrschbar bleiben. Dies betrifft sowohl Safety-, Privacy- als auch Security-Aspekte, aber auch die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen, welche Cyber-Physische Systeme in einem spezifischen Kontext selbstständig treffen bzw. treffen wollen.

Außerdem ist eine übergeordnete Standardisierung notwendig, sowohl bezüglich der Architekturen der neuen IT-Systeme und -Infrastrukturen als auch auf semantischer Ebene bezüglich der zwischen den Cyber-Physischen Systeme auszutauschenden Informationen.

## 5 Themenfelder

### 5.1 Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke

Unter horizontaler Integration verstehen wir die Integration der verschiedenen IT-Systeme für die Unterstützung bzw. Durchführung der unterschiedlichen Wertschöpfungsprozesse (beispielsweise Fertigung, Logistik, Vermarktung, Engineering, Service) sowohl innerhalb eines produzierenden Unternehmens als auch über Unternehmensgrenzen hinweg zu einer durchgängigen Lösung.

#### 5.1.1 Methoden für neue Geschäftsmodelle

##### 5.1.1.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Ein Geschäftsmodell ist eine vereinfachte Darstellung, wie Geschäft und Wertschöpfung innerhalb eines Unternehmens funktionieren und somit eine abstrakte Beschreibung dafür, wie

Geld verdient wird. Im Kontext von Industrie 4.0 werden in den Unternehmen aufgrund neuer Wertschöpfungsprozesse und einer sich verändernden Rollenverteilung in den Wertschöpfungsnetzwerken neue Geschäftsmodelle entstehen.

Zu berücksichtigende Aspekte sind:

- Go-to-Market-Ansätze (GTMs)
- Methoden zur Bedarfsanalyse und -generierung sowie zur Potenzialermittlung
- Zahlungs- und Abrechnungsmodelle
- Nutzen- und Risikobewertung
- Rechtliche Aspekte
- Anreiz- und Akzeptanzsysteme.

#### **5.1.1.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation**

Ein gemeinsames Verständnis der Geschäftsmodelle, um die Potenziale einer firmenübergreifenden Vernetzung nachhaltig heben zu können. Neben einer Vereinheitlichung und Konsolidierung existierender Ansätze sind ein systematisches Erfassen von Best Practices und Erfahrungen, insbesondere auch aus anderen Branchen, ebenso notwendig wie eine Übertragung auf die Produktion und die Analyse der sich daraus ergebenden Konsequenzen. Dabei sind die unterschiedlichen Rollen innerhalb von Wertschöpfungsnetzwerken zu betrachten (siehe auch Steckbrief „Framework Wertschöpfungsnetzwerke“). Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- Exemplarische Go-to-Market-Ansätze für die unterschiedlichen Anbieter innerhalb eines Netzwerkes, abgeleitet aus Best Practices
- Ein auf die Bedarfe von Industrie 4.0 abgestimmter Geschäftsmodellansatz, der die Aspekte von Wertschöpfungsnetzwerken berücksichtigt
- Exemplarische Zahlungs-, Abrechnungs- und Lizenzmodelle.
- Leitfaden zur Bewertung des Industrie-4.0-typischen Nutzens und der entsprechenden Risiken
- Leitfaden für die rechtlichen Aspekte (u.a. Haftungsfragen insbesondere bei SLAs für SaaS und PaaS)

#### **5.1.1.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?**

Ein gemeinsames Verständnis und ein abgestimmtes Vorgehen bei der Erstellung von Geschäftsmodellen ist die Basis für die Entstehung von horizontalen Wertschöpfungsnetzwerken. Ohne abgestimmte Geschäftsmodelle wird sich der Nutzen und Zweck von Wertschöpfungsnetzwerken nicht beschreiben lassen. Dies ist aber notwendig, um insbesondere die mittelständischen Unternehmen für die Kooperation in Netzwerken zu mobilisieren.

#### **5.1.1.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?**

Es gibt bereits Modelle, entwickelt für Cloud-basierte Dienste, die für die Weiterentwicklung genutzt werden können. Allerdings fehlen zurzeit im Kontext mit Industrie 4.0 konkrete Erfahrungen. Wichtig wird auch die Bereitschaft einzelner Unternehmen sein, ihre konkreten Geschäftsideen für die exemplarische wissenschaftliche Bewertung und Analyse im Sinne von Best-Practices zur Verfügung zu stellen.

### 5.1.1.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Das Thema "Methoden für neue Geschäftsmodelle" ist im Kontext "Methoden Framework Wertschöpfungsnetzwerke" zu sehen. Es gibt aber weder Forschungsthemen, die direkt signifikant von Forschungsergebnissen zum Thema "Methoden für neue Geschäftsmodelle" abhängen, noch beeinflussen Forschungsergebnisse zu diesem Thema direkt signifikant andere Forschungsergebnisse.

### 5.1.1.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

Geschäftsmodelle sind immer auch IP der einzelnen Unternehmen, die nur ungern offengelegt werden. Nutzenversprechen vs. Aufwand: Rechtfertigt der Nutzen den Aufwand, und entsteht der Nutzen bei dem, der den höchsten Aufwand hat?

### 5.1.1.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Mit den Arbeiten ist bereits begonnen worden, erste Arbeiten sind bereits veröffentlicht. Die Forschung wird das Projekt Industrie 4.0 über die Jahre hinweg begleiten. Bis Ende 2016 sollten erste Modelle mit beispielhaften Anwendungen vorliegen.

#### Meilensteine



Methodik		
1.4	2016	Leitfaden zur Bewertung des Industrie 4.0-typischen Nutzens und der Risiken
1.5	2017	Leitfaden für rechtliche Aspekte
Lösungen		
1.1	2016	Best Practices und Erfahrungen sowie Übertragung auf Produktion
1.2	2018	Exemplarische Go-to-Market-Ansätze
1.3	2015	Exemplarische Zahlungs-, Abrechnungs- und Lizenzmodelle
1.6	2016	Auf Industrie 4.0 abgestimmter Geschäftsmodellansatz mit Berücksichtigung des Aspekts „Wertschöpfungsnetzwerke“
1.7	2018	Pilotierung (neuer) Geschäftsstrategien, -modelle und -prozesse
Voraussetzungen		
2.3	2016	Referenzarchitektur Wertschöpfungsnetzwerke für unterschiedliche Organisationsformen

## 5.1.2 Methoden für Framework Wertschöpfungsnetzwerke

### 5.1.2.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Ein Wertschöpfungsnetzwerk beschreibt ein System aus einzelnen Wertschöpfungsprozessen und deren prozesstechnische Abhängigkeit. Viele der Wertschöpfungsprozesse werden durch autonome, rechtlich selbstständige Akteure realisiert. Diese sind über das Wertschöpfungsnetzwerk durch komplexe wechselseitige Beziehungen miteinander verbunden und bilden eine Interessengemeinschaft von Wertschöpfungspartnern, die auf einen nachhaltigen ökonomischen Mehrwert ausgerichtet sind.

Zu berücksichtigende Aspekte sind:

- Die flexible Verkopplung von Wertschöpfungsnetzen in der Produktion



- Die Voraussetzungen, Treiber und Konsequenzen bei der Entstehung neuer Wertschöpfungsketten
- Die wirtschaftliche Rolle von CPS-Plattformen als Basis von Wertschöpfungsnetzwerken
- Methoden zur Analyse und Bewertung der wirtschaftlichen und technologischen Potenziale
- Mögliche disruptive geschäftliche Bedrohungen und daraus resultierende Konsequenzen
- Organisationsformen von Wertschöpfungsnetzwerken, deren unterschiedliche Komponenten und Rollen, sowie deren rechtliche Implementierung

#### 5.1.2.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Es werden Konzepte und Methoden für die Implementierung und Integration von Wertschöpfungsnetzwerken erarbeitet. Ein **allgemein gültiges einheitliches Modell** beschreibt die einzelnen Prozessschritte und verknüpft diese über definierte Schnittstellen zu einem Gesamtnetzwerk. Dabei werden alle Akteure, z.B. Kunden, Lieferanten, Partner und der Markt mit einbezogen.

Das Modell stellt für alle denkbaren Organisationsformen ein einheitliches Informations-, Organisations-, Kommunikationsmodell mit dessen Komponenten, Rollen und der rechtlichen Implementierung bereit und ermöglicht die Analyse und Bewertung wirtschaftlicher und technologischer Potentiale.

Unterstützend für ein grundlegendes Verständnis wird Unternehmen ein **Leitfaden** mit Voraussetzungen, Treibern, Konsequenzen (Potentiale und Probleme) und Vorgehensweisen zur Implementierung neuer Wertschöpfungsnetzwerke an die Hand gegeben.

Weiterhin werden für konkrete Beispiele Business-Pläne und Use Cases erstellt, sowie Erfahrungen bezüglich einer „Orchestrierung“ gesammelt, die auch in Form von (zukünftigen) Anforderungen an CPS-Plattformen zur Unterstützung von Wertschöpfungsnetzwerken veröffentlicht werden.

#### 5.1.2.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?

Das Framework für Wertschöpfungsnetze bildet die Basis für die Beschreibung einer Referenzarchitektur, für die Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken, für Intelligenz, Flexibilität und Wandelbarkeit und somit einer ganzheitlichen Optimierung.

Ein allgemein gültiges, einheitliches Modell und ein grundlegendes Verständnis des Vorgehens bei der Implementierung von Wertschöpfungsnetzwerken sind notwendig, um insbesondere mittelständische Unternehmen für die Kooperation in Netzwerken zu mobilisieren und neue Geschäftsmöglichkeiten zu eröffnen.

#### 5.1.2.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

Essentiell ist die übergreifende Entwicklung eines integrierten Referenzmodelles, welches alle Prozesse betrachtet und mit der Modellierung des Wertschöpfungsnetzes verknüpft.

Für die Betrachtung komplexer Wertschöpfungsnetzwerke ist zunächst die Beschäftigung mit dem Thema "Geschäftsmodelle" notwendig.

#### 5.1.2.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Forschungsergebnisse der Themen "Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken", "Intelligenz, Flexibilität und Wandelbarkeit" und "Datenanalyse" hängen signifikant von Forschungsergebnissen zum Thema "Methoden für Framework Wertschöpfungsnetze" ab, Forschungsergebnisse anderer Themen beeinflussen dieses Thema weder signifikant noch direkt.

### 5.1.2.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

- zögerliche Bereitschaft der Betriebe, zu kooperieren
- Komplexität der Wertschöpfungsnetzwerke und deren Organisation
- Management der Wertschöpfungsketten, Probleme mit Kompetenzen, Durchsetzungsfähigkeit und Finanzierung
- fehlende Modelle, Verfahren und Praktiken der Konfliktlösung und des Interessenausgleichs zwischen den Wertschöpfungspartnern
- fehlende Ausrichtung der internen Abläufe einzelner Wertschöpfungspartner auf die Netzwerkstrukturen, Gestaltung von Schnittstellen, Kompetenzzuordnungen
- Probleme des Wissenstransfers und der Offenheit der Netzwerkbeziehungen, Herstellung von Vertrauensbeziehungen zwischen den Partnern, um insbesondere Aversionen beim Mittelstand zu überwinden
- Fehlendes Gesamtkonzept für die Informationssicherheit im Netz der Wertschöpfungspartner
- Einbindung von Partnern mit niedrigem Digitalisierungsgrad
- Komplexe Abstimmung unterschiedlicher Fachdisziplinen (insbesondere Entwicklung, Konstruktion, Planung, Produktion und Nutzung)

### 5.1.2.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Die Forschung wird das Projekt Industrie 4.0 über die Jahre hinweg begleiten. Bis Ende 2016 sollten als Ergebnis der laufenden Forschungsprojekte erste Modelle und deren Pilot-Anwendungen vorliegen.

#### Meilensteine



Methodik		
2.1	2015	Formale Beschreibung und Standards (Semantik) einzelner Prozessschritte in einem einheitlichen Modell
2.2	2016	Formale Beschreibung von Standards (Semantik), Schnittstellen und Gesamtnetzwerk in einem einheitlichen Modell
2.3	2016	Referenzarchitektur Wertschöpfungsnetzwerke für unterschiedliche Organisationsformen (einheitliches Informations-, Organisations-, Kommunikationsmodell der Komponenten, Rollen und rechtliche Implementierung)
2.4	2017	Analyse und Bewertung der wirtschaftlichen und technologischen Potenziale verkoppelter und neuer Wertschöpfungsnetzwerke
2.5	2018	Leitfaden Voraussetzungen, Treiber, Konsequenzen (Potentiale und Probleme) und Vorgehensweise zur Implementierung neuer Wertschöpfungsnetzwerke
2.6	2020	Anforderungen an CPS-Plattformen zur Unterstützung von Wertschöpfungsnetzen
Lösungen		
2.7	2017	Grundlegendes Verständnis zu Zusammenhängen, Modellen, Voraussetzungen, Treiber, Konsequenzen (Potentiale und Probleme) und Vorgehensweise

		zur Implementierung neuer Wertschöpfungsnetzwerke und Wertschöpfungsstufen
2.8	2018	Allgemeingültiges einheitliches Modell
Voraussetzungen		
1.6	2016	Auf Industrie 4.0 abgestimmter Geschäftsmodellansatz

### 5.1.3 Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken

#### 5.1.3.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Der horizontale Automatisierungsgrad wird erhöht, indem Wertschöpfungsstufen und -prozesse automatisiert durchlaufen werden. Im Vordergrund stehen dabei Wertschöpfungsstufen und -prozesse mit hohem Automatisierungsgrad, bzw. -potential sowie überwiegend digitale Prozesse.

Zu berücksichtigende Aspekte sind:

- Durchgängigkeit der Informationsflüsse
- Einsatz von Verfahren zur Modellierung, Berechnung, Simulation, Planung und Optimierung
- Integration aller Prozessschritte
- Einbindung des Menschen als kreativen Akteur
- Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen
- Abhängigkeit von Qualifizierungsmaßnahmen und Migrationsprozessen

#### 5.1.3.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

- Automatisierung einzelner Teilschritte von komplexen Wertschöpfungsstufen und -prozessen
- Durchgängige Integration und flexible Verkopplung von Wertschöpfungsnetzen
- Optimale Erreichung globaler übergeordneter Zielgrößen (z.B. Rentabilitätsziele) und lokal untergeordneter Zielgrößen (z.B. Produktivität, Ressourceneffizienz, Kosten, Qualität, Lieferzeiten, Variabilität)
- Sichere Prognostizierbarkeit der Wertschöpfungserbringung
- Entlastung des Menschen von nicht-kreativen Tätigkeiten
- Pilotierung (neuer) Geschäftsstrategien, -modelle und -prozesse unter Einbeziehung von Kunden, Lieferanten, Partnern und Markt
- Dezentrale Organisation von unabhängigen Prozess- und Planungsschritten
- Zentral integrierte Organisation von Prozess- und Planungsschritten mit großen gegenseitigen Wechselwirkungen, denn Flexibilität und mögliche Zustände einzelner Wertschöpfungsstufen und -prozesse kumulieren synergetisch zu einem deutlich größeren Lösungsraum. Übergeordnete Ziele können besser erreicht werden und eine optimale Planung des gesamten Wertschöpfungsnetzes wird ermöglicht.

#### 5.1.3.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?

Es handelt sich hier in der Endausbaustufe eher um eine Vision bzw. ein Ziel und weniger um einen Enabler bzw. eine Voraussetzung für weitere Themen.

#### 5.1.3.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

Für die Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken ist ein klares Verständnis im Sinne eines Frameworks für Wertschöpfungsnetzwerke notwendig. Es sind übergreifende Standards in Form formalisierter Merkmalsbeschreibungen (Semantik) sowohl für einzelne Prozess-Schritte, als auch für deren Schnittstellen und das Gesamtnetzwerk notwendig.

Durch die Automatisierung von gesamten Wertschöpfungsnetzwerken wird die Komplexität immens erhöht. Mit heutigen Systemen wird dies nicht realisierbar sein, neue Systemfunktionalitäten sind erforderlich.

#### 5.1.3.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Das Thema "Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken" ist im Kontext "Methoden Framework Wertschöpfungsnetzwerke" zu sehen. Es gibt aber weder Forschungsthemen, die direkt signifikant von Forschungsergebnisse zum Thema "Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken" abhängen noch beeinflussen Forschungsergebnisse zu diesem Thema signifikant andere Forschungsergebnisse direkt.

#### 5.1.3.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

In diesem Kontext gibt es noch viele offene Forschungsfragen, die grundlegenden Charakter haben:

- Komplexitätsbeherrschung: Kann man die Komplexität von hoch komplexen Wertschöpfungsketten und -netzwerken überhaupt in Formalismen fassen, die sich automatisieren lassen? Sind diese Automatismen in der Praxis dann überhaupt durch den Anwender nachvollziehbar und beherrschbar?
- Engineering: Wie erstellt man die Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken? Wer erstellt diese Automatisierung? Welche Fähigkeiten benötigt man dazu?
- Durchgängigkeit: Wie geht man mit Teilen einer Wertschöpfungskette um, die nicht automatisiert ist bzw. nicht automatisiert werden kann? Wie kann man die Ziele der Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken erreichen, wenn diese nicht-automatisierte Stufen haben oder müssen dazu immer alle Stufen automatisiert sein?
- Integration des Menschen: Wie integriert man den kreativen Menschen in automatisierte Wertschöpfungsnetzwerke? Wie kann der Mensch in automatisierte Wertschöpfungsnetzwerke steuernd eingreifen? Was für Auswirkungen auf die Arbeit ergeben sich daraus?
- Migration: Wie erfolgt eine Migration von heute in eine neue Welt automatisierter Wertschöpfungsnetzwerke? Sicherlich müssen für eine lange Zeit die heutige und neue Welt koexistieren und zusammenarbeiten.
- Emergenz: Gibt es emergente Gesamteffekte? Wie geht man damit um?

Integration Wertschöpfungs- und Prozess-Schritte unterschiedlicher Fachdisziplinen:

- Komplexe Abstimmung unterschiedlicher Fachdisziplinen (insbesondere Entwicklung, Konstruktion, Planung, Produktion und Nutzung)
- Derzeit mangelnde Einbindung von Produktions- /Logistik- / Operations Research - Experten
- Rechenleistung / fehlende Heuristiken zur Lösung hochkomplexer Modelle und Probleme
- Fehlende Methodik zur Aufbereitung der Informationen aus der Optimierung und Automatisierung zur Bereitstellung einer standardisierten und verlässlichen Entscheidungsgrundlage

### 5.1.3.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Mit den grundlegenden Arbeiten zu offenen Forschungsfragen muss heute begonnen werden. Es existieren zwar bereits diverse Demonstratoren und Prototypen, die die grundlegenden Ideen illustrieren (siehe Aktivitäten im Umfeld "Autonomie"). Die Herausforderung ist jedoch die notwendige Allgemeingültigkeit. Dies adressiert einen Zeitraum > 15 Jahre.

Die verschiedenen Fachdisziplinen existieren heute nebeneinander und sind in unterschiedlichen Ausbaustufen in den Unternehmen im Einsatz. Forschungsschwerpunkt sollte auf einer **Integration** liegen, einer durchgängigen Entwicklung, Konstruktion, Planung, Produktion und Nutzung von Produkten.

#### Meilensteine



Methodik		
3.1	2017	Optimierungsmethoden
3.1.1		Automatisierung und Optimierung einzelner Prozessschritte / Wertschöpfungsstufen
3.1.2		Dezentrale Optimierungscluster vs. zentral integrierte Gesamtoptimierung (Welche Cluster sollten hinsichtlich der globalen Zielerreichung zentral bzw. dezentral organisiert werden?)
3.2	2019	Strategische Vorgaben – Zielhierarchiesystem – Prozessmodellierung
3.2.1		Methodik zur Definition einer integrierten Geschäfts-, Produkt-, Technologie- und Wertschöpfungsstrategie, deren Umsetzung und Migration
3.2.2		Methodik zum Ableiten eines Zielhierarchiesystems aus übergeordneten Zielen
3.2.3		Methodik zum Ableiten integrierter Geschäfts-, Produkt-, Technologie- und Wertschöpfungsprozesse
3.3	2025	Komplexitätsbeherrschung und Anwendbarkeit
3.3.1		Beherrschung der Komplexität (Lösbarkeit, Schnelligkeit, Datenverfügbarkeit etc.)
3.3.2		Beherrschbarkeit für den Anwender durch Informationsaufbereitung zwecks Entscheidungsunterstützung
3.3.3		„Werkzeugkasten“ zur Lösung (Modellierung, Berechnung, Simulation und Optimierung) konkreter Probleme und Problemcluster
3.4	2028	Durchgängige Transparenz über den derzeitigen und geplanten Zustand aller Prozessschritte
3.4.1		Einsatz von CPS und „Predictive Analytics“
Lösungen		
3.5	2017	Pilotierung (neuer) Geschäftsstrategien, -modelle und -prozesse unter Einbeziehung von Kunden, Lieferanten, Partnern und Markt
3.6	2030	Durchgängige Integration und flexible Verkopplung von Wertschöpfungsnetzen und optimalen Entscheidungen
Voraussetzungen		
2.1	2015	Formale Beschreibung und Standards (Semantik) einzelner Prozessschritte in einem einheitlichen Modell
2.2	2016	Formale Beschreibung und Standards (Semantik) Schnittstellen und Informationsflüsse in einem einheitlichen Modell

2.3	2016	Referenzarchitektur für unterschiedliche Organisationsformen (einheitliches Informations-, Organisations-, Kommunikationsmodell der Komponenten, Rollen und rechtliche Implementierung)
2.7	2017	Grundlegendes Verständnis zu Zusammenhängen, Modellen, Voraussetzungen, Treiber, Konsequenzen (Potentiale und Probleme) und Vorgehensweise zur Implementierung neuer Wertschöpfungsnetzwerke und Wertschöpfungsstufen

## 5.2 Durchgängigkeit des Engineerings über den gesamten Lebenszyklus

Unter dem Lebenszyklus eines Produkts verstehen wir die Entwicklung des Produkts sowie das Engineering des zugehörigen Produktionssystems, die Produktion des Produkts durch das Produktionssystem, die Nutzung des produzierten Produkts durch den Anwender sowie das Recycling bzw. den Rückbau des Produkts. Alle Informationen, die entlang dieses Lebenszyklus anfallen, sollen durchgängig verknüpft werden.

### 5.2.1 Integration von realer und virtueller Welt

#### 5.2.1.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Das Zusammenspiel von realer und virtueller/digitaler Welt rückt in der Industrie 4.0 stärker in den Mittelpunkt. Alle Objekte haben ein digitales Abbild (Modell). Die reale Welt ist in diesem Zusammenhang in der Regel charakterisiert durch zu lösende Problemstellungen und Entscheidungsfindungsprozesse. Wesentliche Elemente der virtuellen/digitalen Welt sind Simulationen, Planungs- und Beschreibungsmodelle. Die Co-Modellierung betrachtet darüber hinaus maßgeblich die Schnittstellen zwischen beiden Welten auf unterschiedlichen Skalen.

Planungsmodelle sind die Grundlage, um überhaupt komplexe Systeme erstellen zu können. Erklärungsmodelle ermöglichen die Analyse komplexer Systeme und führen somit über einen menschlichen Transferprozess zu Lösungen oder Entscheidungen. Insofern übt die virtuelle Welt bei beiden Modellansätzen einen signifikanten Einfluss auf den Entwurf der realen Welt aus. Gleichzeitig liegen die Sachverhalte, für die Modelle gebildet werden, sowie die Anforderungen bzw. Zielsetzungen, denen Rechnung zu tragen ist, in der realen Welt, sodass diese Einfluss auf die virtuelle Welt nimmt.

Benötigt wird hierzu ein wissenschaftliches Fundament im Sinne einer produktionstechnischen Modellierungstheorie für den Maschinen- und Anlagenbau. Bewährte Theorien, Beschreibungsmittel und Methoden einschließlich damit verbundener Basistechnologien aus der Informatik sind im Hinblick auf einen breiten Einsatz in den Ingenieurwissenschaften durch geeignete Adaption, Erweiterung und Kombination zu ertüchtigen. Hierbei spielt die adressatengerechte Integration in bekannte, domänenspezifische Arbeitsansätze und Softwarewerkzeuge eine Schlüsselrolle.

Wichtige zu berücksichtigende Aspekte sind:

- Die Modellierungstheorie muss die Grundlage bilden, um Fragestellungen wie "Was sind gute Modelle?" (einschließlich Unsicherheitsabschätzungen), "Wie finde ich passende Modelle?", "Was realisiere ich in der digitalen und was in der realen Welt?" und "Wie können Schnittstellen zwischen virtueller und realer Welt gestaltet werden?" fundiert beantworten zu können. Bestehende Modelle müssen dabei berücksichtigt werden.
- In der Modellierungstheorie müssen Konzepte und Leitgedanken wie beispielsweise Abstraktion, Durchgängigkeit, Sichten, Abhängigkeiten, Typ vs. Instanz, Modularisierung, Modellierungstiefe und modellgetriebene Architekturen auf Basis einer definierten Semantik festgelegt werden.
- Wirtschaftlichkeit von Modellierung: Neben dem Aufwand für die Erstellung von Modellen ist der nutzenstiftende Modell-Einsatz über den gesamten Lebenszyklus zu betrachten.

Hierbei ist von großem Interesse, wie Modelle während ihrer Lebensdauer "mitwachsen" können. Auch die Anreicherung aus bestehenden Datenquellen unter Erhaltung der Referenzen zur späteren konsistenten Zuordnung stellt einen relevanten Aspekt dar.

Konkret sind folgende Ergebnisse zu erarbeiten:

- Modellierungstheorie einschließlich daraus abgeleiteter Anforderungen an Werkzeuge und Daten- bzw. Informationsflüsse (auf allen Ebenen der Automatisierungspyramide)
- Verfahren für den Wirtschaftlichkeitsnachweis sowie Fallbeispiele
- Praxistaugliche Modellierungsvorschriften
- Allgemeines, werkzeugunterstütztes Meta-Modell

### 5.2.1.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Ziel ist zunächst das einheitliche Verständnis von Modellen in Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik im Umfeld der Produktion. Langfristiges Ziel ist die Befähigung produzierender Unternehmen zur wirtschaftlichen, nutzenstiftenden bidirektionalen Modellierung, mit der Elemente aus virtuellen Welten mit der realen Welt auf hohem semantischem Niveau und interdisziplinär verknüpft werden können, um die Effizienz der internen Auftragsabwicklung sowie die Sicherheit von Entscheidungen signifikant zu erhöhen.

- Definition des Begriffs "Modell", um sowohl disziplinspezifisch als auch disziplinübergreifend ein einheitliches Verständnis des Modellbegriffs zu schaffen.
- Allgemeines, werkzeugunterstütztes Meta-Modell. Dieses beschreibt über alle Phasen des Produktlebenszyklus hinweg, welche Modellinhalte relevant und wie diese zu definieren sind.
- Modelle ermöglichen, die kreative Wertschöpfung von Ingenieuren transparent zu machen, und schaffen damit die Grundlage, komplexe Systeme überhaupt erstellen zu können.
- Über Auswertungsmöglichkeiten von Modellen können komplexe Systeme analysiert beziehungsweise Entwurfsentscheidungen von Ingenieuren validiert werden.
- Über Modelle kann Wertschöpfung verlagert werden, entweder durch automatisierte Durchführung von nicht-kreativen Tätigkeiten oder durch Verlagerung von erfahrungsbasierten Tätigkeiten aus der realen Welt in die zu systematisierende und regelbasierte virtuelle Welt.
- Über Modelle und Simulationen können Planungstätigkeiten, z. B. beim Einfahren von Prozessen (virtuelle Inbetriebnahme), von der realen in die virtuelle Welt transferiert werden
- Steigerungen der Maschinenverfügbarkeit, der Ergonomie, der Systematisierung von Verfahren und Vorgehensweisen usw.
- Skalierbare Modellierungstiefen in Abhängigkeit des Reifegrads im Produktlebenszyklus
- Sicherstellung der Konsistenz zwischen allen erstellten Modellen (Vertikale Konsistenz: entlang der Achse Betriebsleitebene – Sensor/Aktor-Ebene zur Realisierung einer wandlungsfähigen, rekonfigurierbaren Produktion; horizontale Konsistenz: im Rahmen der Modellierung von Wertschöpfungsnetzen, ad hoc-Vernetzung von Wertschöpfungspartnern)
- Verwendung von Lösungsmustern im Sinne von wiederverwendbaren Modellen bzw. Teilmodellen entlang der Kaskade von Komponenten (Teilsystemen) bis zum Gesamtsystem. Hierzu müssen parametrisierbare Modelle in unterschiedlichen Modellierungstiefen erstellt und in Bibliotheken standardisiert zur Verfügung gestellt werden

### 5.2.1.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?

Modellierung ist eine wesentliche Voraussetzung, um die steigende Komplexität und Interdisziplinarität intelligenter technischer Systeme von morgen zu beherrschen. Aus methodischer Sicht versetzt die Modellierung die verschiedenen Disziplinen (Produktionstechnik, Automatisierungstechnik, Informatik und Querschnittsdisziplinen) in die Lage, bei Fragestellungen höherer Komplexität überhaupt zeitoptimiert integriert und zielgerichtet arbeiten können.

Auch durchgängige Datenflüsse, z. B. auf der Ebene des Wertschöpfungsnetzes (z.B. Zuliefererkette, horizontale Integration) und entlang der Automatisierungshierarchie (vertikale Integration), können auf dieser Grundlage effizient ermöglicht werden.

Ferner ermöglicht die Modellierung eine frühzeitige Erprobung und Absicherung von Produkt- und Produktionssystemeigenschaften.

Modellierung ist der Hebel, um Fähigkeiten von IT-Systemen und CPS überhaupt verfügbar machen zu können und damit essentielle Voraussetzung für Industrie 4.0.

### 5.2.1.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

Die Voraussetzungen sind durch bisherige Arbeiten zum Thema gegeben, die Aktivitäten können und müssen sofort gestartet werden.

Es sollte als flankierende Maßnahme für die Anwender eine branchenübergreifende Community mit Fokus auf produzierende Unternehmen etabliert werden (siehe auch Handlungsempfehlung Beherrschung komplexer Systeme).

In der breiten Masse der Ingenieure muss die Akzeptanz für die Modellierung geschaffen werden. Dazu müssen die Nutzenpotentiale von Modellbildung und -analyse/Simulation vermittelt werden. Ferner sind Methoden und Werkzeuge bereitzustellen, um Systeme aus der realen Welt mittels geeigneter Modelle in der virtuellen Welt abzubilden.

### 5.2.1.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Die Forschung zum Thema "Integration von realer und virtueller Welt" wird signifikant durch die Forschungsergebnisse zum Thema "Syntax und Semantik für Industrie 4.0" beeinflusst. Die Forschungsergebnisse zum Thema "Integration von realer und virtueller Welt" haben ihrerseits signifikanten Einfluss auf die Forschung zu den Themen "Systems Engineering" und "Syntax und Semantik für Industrie 4.0".

### 5.2.1.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

Bisherige Vorstöße mit ähnlicher oder teildeckungsgleicher Ausrichtung scheiterten oft an der mangelnden Berücksichtigung disziplinspezifischer Denkweisen und Anforderungen. Der inhaltliche Kern einer "Modellierungstheorie" muss daher disziplinübergreifend (Produktionstechnik, Automatisierungstechnik, Informatik) im Sinne eines gemeinsamen Verständnisses erarbeitet werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die oben genannten Kernergebnisse (Modellierungstheorie und Anwendungsleitfaden) sich stets auf reale Lösungs- und Entscheidungsfindungsszenarien mit ausreichender Konkretisierung übertragen lassen.

Die Inhalte einer „Modellierungstheorie“ müssen in die Ausbildung und Lehre disziplinübergreifend aufgenommen werden, um frühzeitig das modellbezogene Verständnis für die oben genannten Potenziale zu wecken.

Bei der Gestaltung neuer Modellierungstheorien spielen Aspekte wie Benutzerfreundlichkeit, Einfachheit, intuitive Gestaltung etc. eine wichtige Rolle.

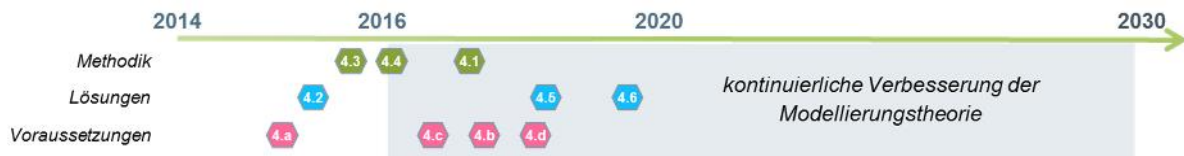
Es sind Standardisierungsaktivitäten notwendig, um ein standardisiertes, akzeptiertes Meta-Modell zu schaffen. Das Meta-Modell muss werkzeugunabhängig und sowohl fachdisziplinspezifisch als auch fachdisziplinübergreifend verwendbar sein.



### 5.2.1.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Erste Ergebnisse in Form eines gemeinsamen Modellbegriffs können 2-3 Jahre nach Start der Aktivitäten verfügbar gemacht werden. Wissenschaftlich fundierter Modellbegriff und Modellimplementierung in nachfolgenden Schritten bis 2025.

#### Meilensteine



Methodik		
4.1	2018	Erste Version einer Modellierungstheorie komplexer Systeme einschließlich daraus abgeleiteter Anforderungen an Werkzeuge und Daten- bzw. Informationsflüsse (auf allen Ebenen der Automatisierungspyramide)
4.3	2016	Praxistaugliche Anwendungsbeispiele und Modellierungsvorschriften; Anreicherungsmöglichkeiten aus bestehenden Modellen
4.4	2016	Verfahren für Wirtschaftlichkeitsnachweis einzelner Fall- bzw. Anwendungsbeispiele
Lösungen		
4.2	2015	Identifikation von Unternehmen, die in diesem Kontext „Best in Class“ sind
4.5	2019	Erste Version eines Modellierungsframeworks für Modularität und Wiederverwendung für Produktionsanlagen zur Etablierung eines allgemeinen Meta-Modells zur Beschreibung aller bzw. relevanter Phasen des Produktlebenszyklus
4.6	2020	Allgemeines, werkzeugunterstütztes Meta-Modell
Voraussetzungen		
4.a	2015	Etablierung einer branchenübergreifenden Community (Fokus produzierende Unternehmen, Unterteilung idealerweise nach Geschäftsart)
4.b	2018	Schaffung von Akzeptanz für Modellierung in der breiten Masse
4.c	2017	Entwicklung von Werkzeugen und Methoden zur Skalierung von Modellierungstiefen; Sicherstellung der vertikalen und horizontalen Konsistenz
4.d	2019	Konzepte für Werkzeugunterstützung unter Nutzung erster Referenzarchitekturen im Einklang mit der realen Welt (Sensorik)

## 5.2.2 Systems Engineering

### 5.2.2.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Systems Engineering versteht sich als durchgängige, fachdisziplinübergreifende Disziplin zur Entwicklung technischer Systeme, die alle Aspekte ins Kalkül zieht. Es stellt das multidisziplinäre System in den Mittelpunkt und umfasst die Gesamtheit aller Entwicklungsaktivitäten.

Im deutschsprachigen Raum ist die Verbreitung von Systems Engineering stark branchenabhängig. So ist Systems Engineering in der Luft- und Raumfahrttechnik fest etabliert und wird in der Fahrzeugindustrie stark vorangetrieben. Im mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbau ist Systems Engineering wenig verbreitet. Viele Unternehmen haben keine freien Kapazitäten, um zusätzlichen Aufwand für neue Ansätze wie Systems Engineering aufzubringen. Ferner erachten einige Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus die Anwendung von Systems Engineering als zu überdimensioniert für ihre Aufgabenstellung.

Systems Engineering ist heute mehr eine Sammlung von Praktiken als eine umfassende ganzheitliche Methodik der Kreation technischer Systeme. Gleichwohl ist Systems Engineering der

geeignete Ansatz für die erforderliche Methodik zur Entwicklung von komplexen technischen Systemen im Kontext Industrie 4.0.

Ziel muss es sein, dass ein ganzheitlicher fachdisziplinübergreifender Entwurf eines komplexen Systems im Zuge der weiteren Konkretisierung in die etablierte Entwicklungsmethodik und die entsprechenden Toolumgebungen der betroffenen Domänen wie Mechanik, Elektrotechnik, Softwaretechnik sowie Anlagen- und Prozesstechnik mündet.

Wichtige zu berücksichtigende Aspekte sind:

- Die Nutzung von Modellen über den gesamten Lebenszyklus (PLM, Betrieb, Außerbetriebnahme) von Produkten, Anlagen und Systemen und integriert über alle beteiligten Fachdisziplinen, einschließlich einer Rückverfolgbarkeit von Entwurfsentscheidungen (z. B. Ergebnisse aus V-Modell)
- Erprobung und Validierung von Entwurfsentscheidungen in "frühen" Phasen, auch im Hinblick darauf, welche intendierten Funktionen später mechanisch, elektrisch, durch Firmware, Software oder durch Dienstleistungen umgesetzt werden
- Modularisierung und Wiederverwendung der Anlagen und Systeme zwecks Beherrschung der zunehmenden Komplexität und Skalierbarkeit
- Rückfluss von Erfahrungen aus dem Einsatz der Anlagen und Systeme in die Entwicklung bzw. das Engineering und den Betrieb
- Verfügbarkeit aller relevanten Daten und Prozesse über Systemgrenzen (Teilsystem, Maschine / Prozess, Produktionsanlage, Fabrik) und Firmengrenzen hinweg, sowie deren Bereitstellung in skalierbaren Systemen (z. B. lokalen oder verteilten Datenbanken, stationären, mobilen oder temporären Infrastrukturkomponenten)
- Nutzung eines anforderungsorientierten Engineerings (Fertigungs-, Logistik- und Geschäftsprozessanforderungen) mit adaptiven Mechanismen, die auf physikalischen (z. B. Netzwerke wie Ethernet, WLAN, Bluetooth, PROFINET, ...) und semantischen Schnittstellen (z. B. Applikationen in Prozessen und Produktivsystemen, Engineering, Steuerungs- und Leittechnik) basieren
- Informationsarchitektur, die die Anforderungen der Produktionsebene sowie der Produktionsleit- und Unternehmensleitebene an eine hohe Vernetzung unterstützt.
- Durchgängiges (horizontal) und ganzheitliches (vertikal) anforderungsbasiertes Engineering durch Nutzung von Modellen. Dies ermöglicht die fachdisziplinübergreifende Nachverfolgbarkeit und Analyse von Anforderungen über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg.
- Requirement Management, das die Anforderungen des Shopfloors an ein planungssicheres und unter Produktionsbedingungen verfügbares System sowie die Anforderungen der Unternehmens- und Fabrikationssteuerung an eine hohe Vernetzung unterstützt
- Modelle, Methoden und Schnittstellen sind bez. ihrer on- und offline Verwendung, der Adaptierbarkeit an unterschiedlichste Produktiv- und Zielsysteme und für die Nutzung als Dienstleistung (SaaS) skalierbar sowie in wählbaren Bilanzierungsräumen (aus Applikationssicht zusammengesetzte Systemgrenze) verifizier- und qualifizierbar (Funktion, Ressourcen, erwartetes und unerwartetes Verhalten)
- Die verwendeten Methoden lassen eine interoperable Engineering-Kette entstehen, die eine sichere Nutzung (Austausch von Daten, Rollenmodelle, Zugriffsverfahren) der Engineering-, Simulations- und für den Betrieb genutzten Systeme, und deren Einbettung in Geschäftsmodelle (z. B. Lizenzen, Abrechnungssysteme) versionsorientiert ermöglichen.
- Integrative Entwicklung von Produkt und Produktionssystem. Von Beginn an müssen Produkt und Produktionssystem in einem engen Wechselspiel entwickelt und über den

Marktzyklus des Produkts kontinuierlich fortentwickelt werden. Nur so wird sichergestellt, dass alle Möglichkeiten der Gestaltung eines leistungsfähigen und kostengünstigen Erzeugnisses ausgeschöpft werden.

- Projektspezifische Anpassung von Entwicklungsprozessen (Tailoring), um den Entwicklungsprozess auf die Projektbedürfnisse zuzuschneiden. Ziel ist eine projekt- und situationsspezifische Gestaltung der Produktentstehung.

Konkret sind folgende Ergebnisse zu erarbeiten:

- Aufeinander abgestimmte Methoden
- Aufeinander abgestimmte Werkzeugketten und Entwicklungsumgebungen
- System- und ortsunabhängige Nutzung der Werkzeuge
- Innovative Abrechnungs- und Lizenzverfahren
- Semantik der applikativen Schnittstellen
- Durchgängiges Anforderungsmanagement in komplexen Systemen entlang der vertikalen Integration
- Praxistaugliche Leitfäden sowie Aus- und Weiterbildungsprogramme für die Anwendung der Methoden und Werkzeuge
- Skalierbares, branchenunabhängiges Referenzmodell für die Entwicklung intelligenter technischer Systeme.

#### 5.2.2.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

- Akzeptanzsteigerung von Systems Engineering, insbesondere in KMU
- Zunehmende kooperative Nutzung des System Engineering in kleinen und mittelständischen Unternehmen
- Beherrschung der zunehmenden Komplexität von Cyber Physical Production Systems hinsichtlich Kommunikationsfähigkeit, Rekonfiguration, Vernetzung sowie Interaktion mit der physikalischen und digitalen Welt
- Effiziente und effektive Abwicklung von Projekten im Engineering- und Produktionsverbund (Reduktion von Engineering-Aufwänden für Industrie-4.0-Systeme)
- Mechatronische Modularisierung
- Verständnis der Produktentstehung als vernetztes sozio-technisches System

#### 5.2.2.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?

Systems Engineering befähigt Unternehmen innerhalb sowie unternehmensübergreifend effektiv und effizient zu kooperieren und damit Iterationen und Abstimmungsaufwände zu reduzieren. Systems Engineering ist aus methodischer Sicht die Grundlage für die Integration verschiedenster Lösungen unterschiedlicher Hersteller und erschließt das noch ungenutzte Potenzial zur Kosteneinsparung mittels durchgängigem Engineering (von der Idee zum Ramp Up).

Systems Engineering fördert die Integration von realer und virtueller Welt (Thema 5.2.1).

#### 5.2.2.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

Keine Voraussetzungen, Aktivitäten können/müssen sofort gestartet werden.

Es sollte als flankierende Maßnahme für die Anwender eine branchenübergreifende Community mit Fokus auf produzierende Unternehmen etabliert werden (siehe auch Handlungsempfehlung Beherrschung komplexer Systeme).

Eine praxisorientierte Gestaltung der Ergebnisse ist wichtig, um eine praktische Anwendung unabhängig von der Branche und Unternehmensgröße zu ermöglichen.

### 5.2.2.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Die Forschung zum Thema "Systems Engineering" wird signifikant durch die Forschungsergebnisse zum Thema "Syntax und Semantik für Industrie 4.0" beeinflusst. Die Forschungsergebnisse zum Thema "Systems Engineering" haben keinen direkten signifikanten Einfluss auf die Forschung zu den anderen Themen.

### 5.2.2.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

Der Nutzen von Systems Engineering muss von Entscheidungsträgern verstanden werden; die Bedeutung des Themas wird in großen Kreisen unterschätzt.

Zurzeit die relativ hohen Kosten für die Einführung der entsprechenden (häufig monolithischen) Systeme.

Geschäftsmodelle der bisherigen Systemanbieter müssen sich bzgl. integrativer und lösungsorientierter Kleinfunktionen (z.B. Apps) öffnen.

Zwecks Anwendung von Systems Engineering muss das notwendige methodische Wissen in der industriellen Breite und insbesondere im Mittelstand adäquat vermittelt werden.

Kompetenzen und Qualifikationen des entsprechenden technischen Personals sowie des Managements insbesondere bei KMU sind systematisch zu entwickeln.

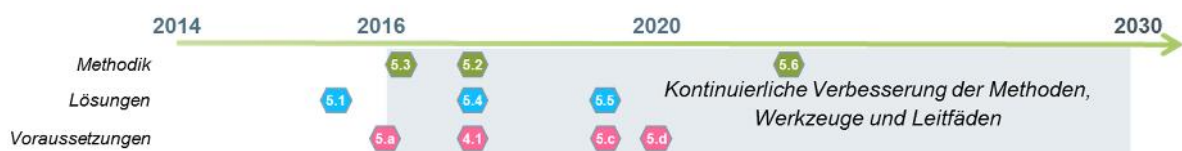
Die Heterogenität bestehender Systemlandschaften.

Verschiedene Sichten unterschiedlicher Akteure während des Problemlbenszyklus müssen berücksichtigt werden.

### 5.2.2.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Erste Ergebnisse können 2 Jahre nach Start der Aktivitäten verfügbar gemacht werden. 2018: SW-Werkzeugunterstützung für Systems Engineering.

#### Meilensteine



Methodik		
5.2	2017	Praxistaugliche Leitfäden sowie Aus- und Weiterbildungsprogramme; Prüfung der Erweiterungsnotwendigkeit bestehender Standards
5.3	2016	Durchgängiges Anforderungsmanagement in komplexen Systemen entlang der vertikalen Integration
5.6	2024	Branchenunabhängiges Referenzmodell für Entwicklung intelligenter technischer Systeme
Lösungen		
5.1	2015	Erstes aufeinander abgestimmtes Methodenset; erste aufeinander abgestimmte Werkzeugkette
5.4	2017	System-, Mandanten- und ortsunabhängige Werkzeug-Nutzung
5.4.1	2017	Innovative Abrechnungs- und Lizenzverfahren
5.5	2019	Semantik der applikativen Schnittstellen

Voraussetzungen		
5.a	2016	Aufnahme und Formalisierung von technischen und produktionstechnischen Anforderungen in frühen Phasen der Entwicklung
4.1	2017	Erste Modellierungstheorie zur Entwicklung von komplexen automatisierungs- bzw. produktionstechnischen Systemen
5.c	2019	Disziplinübergreifende Modularisierung von technischen Systemen im Spannungsfeld Stückliste/Komponente – Funktion
5.d	2020	Erweiterung bestehender Standards zur produktionszentrierten Beschreibung von Produkten, automatisierte Testverfahren

### 5.3 Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme

Unter vertikaler Integration verstehen wir die Integration der verschiedenen IT-Systeme auf den unterschiedlichen Hierarchieebenen eines Produktionssystems (beispielsweise die Actor- und Sensorebene, Steuerungsebene, Produktionsleitebene, Manufacturing und Execution-Ebene, Unternehmensplanungsebene) zu einer durchgängigen Lösung.

#### 5.3.1 Sensornetze

##### 5.3.1.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Zentrale Motivation für das permanente Sammeln und Analysieren von Sensordaten aus der Fertigung ist die sich damit bietende Möglichkeit zum vertieften Prozessverständnis. Zur Anwendung kommen hierzu Methoden der prädiktiven Analyse. Sie umfassen eine Vielzahl grundlegender Techniken aus der Statistik, dem maschinellen Lernen und Data Mining. Gegenwärtige und historische Messwerte werden analysiert, um daraus bisher unbekanntes Zusammenhänge offenzulegen (descriptive analytics) oder auch Abschätzungen über zukünftiges Systemverhalten ableiten zu können (predictive analytics). Die neu gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen letztlich die Beurteilung verschiedener Handlungsalternativen und damit eine kontinuierliche Optimierung der Prozesssteuerung (prescriptive analytics). Unternehmen können auf diese Art die Qualität ihrer Produkte und die Effizienz der Produktion erhöhen, mögliche Fehlerquellen und Störungen frühzeitig erkennen und notwendige Wartungseinsätze ermitteln und planen. Um von den Sensordaten zu einer optimierten Prozesssteuerung zu gelangen, sind mehrere Schritte notwendig.

Das Wort „Zustandsüberwachung“ wird in diesem Zusammenhang häufig genannt, z.B. in der ISO 13374-2. Allerdings ist für eine optimale Prozesssteuerung mehr notwendig, als die reine Zustandsüberwachung. Die Ableitung von Handlungsempfehlungen oder direkten Maßnahmen zur Anpassung des Prozesses auf Basis der aufgenommenen Zustandsparameter ist die eigentliche Herausforderung. Die ISO 13374-2 fasst daher das Wort „Zustandsüberwachung“ auch etwas weiter als der eigentliche Wortlaut vermuten lässt. Es wird sowohl eine Prognosefunktion als auch die Handlungsableitung mit einbezogen.

Nach der Norm ISO 13374-2 besteht ein System zur Zustandsüberwachung (CMS) aus sieben Hauptkomponenten:

- Sensors
- Data Acquisition
- Data Manipulation
- State Detection
- Health Assessment
- Prognostic Assessment
- Advisory Generation.

In diesem Steckbrief wird fokussiert auf die Komponenten Sensors, Data Acquisition und Data Manipulation, im Steckbrief Datenanalyse (s. 5.5.4) werden die Komponenten State Detection, Health Assessment, Prognostic Assessment und Advisory Generation (allerdings in einem breiteren Kontext) betrachtet.

### **Sensors / Data Acquisition:**

Wie kann Data Acquisition bei einer großen Anzahl Sensoren in der Praxis gestaltet werden? Im Hinblick hierauf wird die Schnittstellenvielfalt zur Anbindung der Sensoren aktuell als ein Hemmnis betrachtet. Hier muss untersucht werden, wie universelle Schnittstellen die Anbindung unterschiedlicher Informationsquellen begünstigen können.

Neben der physikalischen Anbindung bedarf es der Integration semantischer Beschreibungskonzepte der Sensoren wie beispielsweise der W3C Semantic Sensor Network Ontology. Sie ermöglicht die ausdrucksstarke Beschreibung der Sensoren und ihrer Eigenschaften und damit fortgeschrittene Zugriffs- und Analysemöglichkeiten.

Die Vielzahl möglicher Sensoren erfordert weiterhin innovative Prozesse für die Inbetriebnahme. Sensoren müssen sich mittels Plug-and-Play selbständig am System anmelden und mittels der semantischen Beschreibung ihrer Metadaten weitgehend autonom konfigurieren. Zur Konfiguration bzw. Verwaltung der Sensoren werden interaktive grafische Benutzeroberflächen benötigt.

Großes Potential liegt im Einsatz energieautarker Sensoren. Sie beziehen die zu ihrem Betrieb und zum Funk der Daten erforderliche Energie durch Energy-Harvesting aus der Umgebung und nutzen hierfür u.a. piezo- oder thermoelektrische Effekte, elektromagnetische Strahlung oder Photovoltaik. Da sie ohne regelmäßige Batteriewechsel oder aufwändige Verkabelung auskommen, eignen sie sich besonders für den Einsatz in schwer zugänglichen technischen Anlagen. Im Idealfall werden sie wie ein Aufkleber einmalig angebracht und bilden dann ein energieautarkes, intelligentes und optional dezentrales Sensornetzwerk.

Durch den Skalierungseffekt der starken Verbreitung von Smartphones stehen sehr kostengünstige Sensoren für die Erfassung unterschiedlicher System- und Umgebungsparameter zur Verfügung. Diese wurden jedoch für kurze Lebensdauern unter gemäßigten Umgebungsbedingungen entwickelt. Eine Härtung dieser Massenprodukte für den Einsatz in Industrie 4.0 Szenarien bietet die Möglichkeit, Sensorik in - für Industrieanwendungen - großen Stückzahlen zu günstigen Kosten herstellen zu können.

### **Data Manipulation:**

Ungeklärt ist zurzeit die Frage, wo Data Manipulation sinnvollerweise durchgeführt wird. Im Hinblick auf Rechenleistung, Service und Skalierbarkeit wäre ein Cloud-Computing-Ansatz mit einer von der Data Acquisition getrennten Verarbeitung sicherlich wünschenswert. Ungeklärt ist jedoch die Umsetzbarkeit und Integrierbarkeit in (bestehende) Firmennetzwerke, die hierfür notwendig sind. Um die entstehende Transportlast auf den Netzwerken zu reduzieren, könnte an dieser Stelle ein Fog-Computing-Ansatz mit sensornaher, verteilter Datenhaltung und Rechenleistung mit Technologien wie Hadoop einen gangbaren Weg darstellen. Während bei einem Cloud-Computing-Ansatz die Auswirkung der entstehenden Datenmenge zu untersuchen ist, wäre bei einem Fog-Ansatz wiederum das Thema einer universellen Schnittstelle, die bspw. Veränderungen an der Signalverarbeitungskette oder einen variablen Zugriff auf Rohdaten ermöglicht, von Bedeutung.

### **State Detection, Health Assessment:**

Auf Basis der Data Manipulation wird der Zustand einer Anlage festgestellt (State Detection). Nahtlos daran schließt sich das Health Assessment an. Die Modellbildung, d.h. das in Beziehung setzen von gemessenen Werten und auftretenden Schäden bzw. Produktionsergebnissen, sowie die anschließende Interpretation der Zusammenhänge, erfordern ein hohes Maß an Fachkenntnis sowohl über relevante Produktionsprozesse als auch über die benötigte algorithmische Datenverarbeitung und Analyse, siehe Steckbrief Datenanalyse.

### **Prognostic Assessment:**

Ist der quantitative Zusammenhang bekannt, schließt sich das Prognostic Assessment an. Aufgrund der quantitativen Kenntnis kann eine Prognose über die weitere Zustandsänderung im Zeitverlauf geschehen. Dabei können sowohl Schäden oder Verschleiß als auch Abweichungen vom optimalen Prozesspfad oder der Produktqualität von Interesse sein.

### **Advisory Generation:**

Aufgrund der Prognose können nun Handlungsempfehlungen (Advisory Generation) generiert werden. Eine Handlungsempfehlung kann entweder automatisiert im Produktionsprozess umgesetzt werden (zeitnahe/Echtzeit Prozesssteuerung) oder für andere Prozesse verfügbar gemacht werden (z.B. Ersatzteilnachbestellung).

#### **5.3.1.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation**

Es soll eine Referenzarchitektur für Sensornetze entwickelt werden, die die Umsetzungsstrategien zum Einsatz zustandsabhängiger Überwachungs- und Steuerungsszenarien definiert:

- Es soll der Zugriff auf Sensordaten ermöglicht werden, ohne Kenntnisse über die physische Sensorebene besitzen zu müssen (Kapselung). Insbesondere ist die Einbindung kabelloser Sensoren zu berücksichtigen.
- Um einen möglichst hohen Grad an Autonomie des Sensornetzes zu erreichen, sollen die Sensoren mit semantischen Beschreibungen angereichert werden (Semantic Sensor Network Technologie).
- Die Inbetriebnahme und Konfiguration soll grafisch und interaktiv mittels Plug-and-Play Ansatz realisiert werden.
- Etablierung einer branchenübergreifenden Community (bspw. Austausch mit aktuellen Entwicklungen für das teilautonome Fahren)
- Der Zugriff auf die Hauptkomponenten (Layer) der Sensordatenverarbeitung soll, soweit möglich, standardisiert werden.
- Es soll eine Softwarearchitektur entwickelt werden, die die Auswertung mehrerer Sensordatenströme im Sinne von Datenfusion auf einer Metaebene ermöglicht, ohne dass jeder Anwendungsfall individuell entwickelt werden muss.
- Es soll eine Online-Regelung und Optimierung eines Fertigungsprozesses in Abhängigkeit von Echtzeitdaten aus dem Prozess sowie aktueller und prognostizierter Produktqualitäten und Systemzustände umgesetzt werden (model predictive control).
- Es sollen fallspezifische, adaptive Messstrategien in die Qualitätssicherung eingeführt werden.

#### **5.3.1.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?**

- Die Referenzarchitektur ermöglicht höheren Datenverarbeitungssystemen den transparenten Zugriff auf Sensordaten und damit die dezentrale Prozess- und Zustandserfassung im Produktionsumfeld
- Die entwickelten Konzepte ermöglichen die Realisierung großer Sensornetze, deren effiziente und effektive Nutzung und damit ein vertieftes Prozessverständnis.
- Eine breite Prozessdatenbasis, in der Sekundärdaten online generiert werden, ist die Voraussetzung für weitere, zukünftige Anwendungen, die über die ursprünglich beabsichtigten Modelle hinausgehen.

### 5.3.1.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

- Relevant aus der Forschung sind insbesondere Erkenntnisse und Methoden aus dem Bereich Semantic Sensor Network Ontology.
- Ein Austausch mit der aktuellen Entwicklung von teilautonomen Fahrzeugen erscheint hilfreich - Sensorik, Security und Datenfusion sind dort weit voran geschritten (siehe v.a. Daimler AG).
- Verfügbarkeit energieautarker, kostengünstiger Sensoren
- Im Rahmen von Konzepten wie Schwarmintelligenz entwickelte selbstorganisierte Ad-hoc-Kommunikationskonzepte könnten den Weg für die Verbreitung dezentraler Sensorik bereiten.

### 5.3.1.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Die Forschung auf dem Thema "Sensornetze" wird signifikant durch die Forschungsergebnisse zu den Themen "Netzkommunikation für Industrie 4.0 Szenarien" und "Mikroelektronik" beeinflusst. Die Forschungsergebnisse zum Thema "Sensornetze" haben signifikanten Einfluss auf die Forschung zu den Themen "Datenanalyse", aber auch "Netzkommunikation für Industrie 4.0 Szenarien".

### 5.3.1.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

- Mangelnde Bereitschaft zur Standardisierung
- Hohe erwartete Kosten für die Erarbeitung der Technologiegrundlagen (mangelndes Fachwissen)
- Mangelnde Verfügbarkeit leistungsfähiger Netzwerke, sowohl drahtgebunden als auch funkbasiert
- Bei einer Implementierung auf Basis von Sensorknoten ggf. mangelnde Verbreitung von IPv6

### 5.3.1.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Meilensteine:



Methodik		
6.1	2015	Transparenter Zugriff auf Sensordaten über universelle Schnittstellen / Beschreibung der Sensoren mit Metadaten
6.3	2016	Selbstorganisierende Kommunikationskonzepte
Lösungen		
6.2	2016	Interaktiver Inbetriebnahme-Prozess mittels Plug-and-Play-Ansatz
6.4	2019	Algorithmen zur dezentralen Datenanalyse (Fog-Computing), Amalgamation mit Cloud-Computing-Ansatz
6.5	2025	Dynamische Regelung komplexer Fertigungsprozesse, vertikale Integration mit betriebswirtschaftlichen Prozessen
Voraussetzungen		
6.a	2015	Lokale Datenerfassung, -verarbeitung und -speicherung in dezentralen Sensorknoten



6.b	2016	Vernetzte Produktionssysteme (Internet der Dinge und Dienste)
6.c	2017	Verfügbarkeit energieautarker Sensoren

### 5.3.2 Intelligenz, Flexibilität und Wandelbarkeit

#### 5.3.2.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Intelligente Produktionssysteme sind adaptiv. Das heißt, sie interagieren auf Basis des integrierten Modellwissens mit ihrer Umgebung und passen sich ihr selbständig an. Sie sind robust. Sie bewältigen auch unerwartete, vom Entwickler nicht berücksichtigte Situationen in einem sich stetig ändernden Umfeld, ohne ihr Leistungsniveau zu reduzieren. Sie sind aber auch vorausschauend. Sie antizipieren auf der Basis von Erfahrungswissen die Wirkungen unterschiedlicher Einflüsse. Und sie sind schließlich auch benutzungsfreundlich. Sie berücksichtigen sowohl das unterschiedliche Verhalten von Anwendern als auch unterschiedlichen Informationsbedarf und passen sich diesem selbständig an.

Flexibilität bedeutet, dass Prozesse bzw. Systeme in definierten und begrenzten Korridoren vorgedacht wurden, um ein möglichst breites Spektrum an Anforderungen abzudecken. Im Produktionsumfeld bedeutet das ein flexibles Zusammenspiel von Menschen, Maschinen, Produktionssystemen und Wertschöpfungsnetzen in Bezug auf die Fertigung unterschiedlicher Produkte bzw. Varianten. Ein wichtiger Use-Case in diesem Zusammenhang ist die auftragsbasierte Steuerung der Produktion, wo der Produktionsablauf automatisiert aus den geforderten Eigenschaften des zu produzierenden Produkts abgeleitet wird. Dazu sind u.a. Selbstbeschreibungen der Eigenschaften des zu produzierenden Produkts und Fähigkeiten der Maschinen sowie Verhandlungs- und Optimierungsstrategien (beispielsweise basierend auf Multiagentensystemen) erforderlich.

Wandelbarkeit bedeutet, Grenzen der Flexibilitätskorridore zu verschieben. Damit können Prozesse und Systeme über einen konstruktiven Schritt geändert bzw. umgebaut werden. Im Produktionsumfeld, bezogen auf eine Maschine, ist das ein „einfaches“ Umbauen zur Fertigung neuer Produkte und Varianten, bezogen auf ein Produktionssystem ein „einfaches“ Ändern des Aufbaus.

Zu berücksichtigende Aspekte sind:

- Identifikation, Formalisierung und Beschreibung der direkt und indirekt auf die globalen Ziele wirkenden Flexibilisierungs- und Wandlungsmöglichkeiten
- Standardisierung der Schnittstellen und Fähigkeiten von Einheiten (Modulen) zum Aufbau einer flexiblen und wandelbaren Produktion
- soziale, ethische, ökologische und ergonomische Auswirkungen
- Engineering und Testen von autonomen Systemen im Produktionsumfeld; die Entwickler autonomer Systeme müssen entsprechend geschult und ausgebildet werden

#### 5.3.2.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Durch Intelligenz entfalten Produkte und Produktionssysteme neue Funktionalitäten und entlasten ihre Benutzer. Es werden Entwicklung, Engineering, Wartung und Lebenszyklusmanagement verbessert und es erhöhen sich Zuverlässigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit von Produkten und Produktionssystemen. Darüber hinaus werden Ressourcen wie Energie und Material effizienter eingesetzt und ermöglichen so äußerst flexible und einfach wandelbare Produktionsprozesse und -systeme.

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- Identifikation von autonomen, wiederverwendbaren Einheiten (Modulen) innerhalb einer Produktion und Ableitung der Anforderungen und Potenziale für Arbeitsmodelle

- robuste, zuverlässige Algorithmen für zentrale und dezentrale Intelligenz
- Strategien für die Verhandlung zwischen intelligenten Systemen im Produktionsumfeld
- Technologien und Anwendungsbeispiele für eine intuitive Mensch-Maschine-Interaktion
- Migrationsstrategien hin zu flexiblen und wandelbaren Produktionen

### 5.3.2.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?

Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken muss damit "Hand in Hand" gehen.

### 5.3.2.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

- Entwicklungs-/ Modellierungs- / Planungs- und Steuerungssprache (E/M/P/S) als Referenzarchitektur im "Framework Wertschöpfungsnetzwerke" und kontinuierliche Simulation von Auftragslage, Prognosen und Zielerreichung über alle Ebenen, siehe auch Steckbriefe "Systems Engineering" und "Integration von realer und virtueller Welt"
- Förderung und Weiterentwicklung von autonomen, hochflexiblen Ressourcen & CPS
- Fähigkeits- und funktionsorientierte Beschreibung der Bearbeitungsaufgabe, schon während des Produktentwicklungsprozesses
- Weitere Flexibilisierung von Arbeitsmodellen in Zusammenarbeit mit Tarifpartnern.

### 5.3.2.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Die Forschung auf dem Thema "Intelligenz, Flexibilität und Wandelbarkeit" wird signifikant durch die Forschungsergebnisse zu den Themen "Syntax und Semantik für Industrie 4.0" und "Methoden für Framework Wertschöpfungsnetzwerke" beeinflusst. Die Forschungsergebnisse zum Thema "Intelligenz, Flexibilität und Wandelbarkeit" haben signifikanten Einfluss auf die Forschung zu den Themen "Systems Engineering", "Security, Privacy & Safety", "Datenanalyse", aber auch "Syntax und Semantik für Industrie 4.0".

### 5.3.2.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

Inhärente Komplexität und diese durch Formalismen beherrschbar zu machen, fehlende Abstraktionsfähigkeiten.

### 5.3.2.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Man kann Flexibilität – Wandelbarkeit – Intelligenz als aufeinander aufbauende Stufen betrachten, muss sich aber mit den Themen in der Gesamtheit beschäftigen.

Meilensteine



Methodik		
7.1	2016	Analyse von Flexibilisierungs-/Wandlungsmöglichkeiten und Auswirkungen auf Arbeitsmodelle
7.1.1		Identifikation, Formalisierung und Beschreibung der Flexibilisierungs- und Wandlungsmöglichkeiten
7.1.2		Identifikation von autonomen (i.e. Plug & Produce), wiederverwendbaren Einheiten

7.2	2018	Migrationsstrategien in Richtung einer flexiblen und wandelbaren Produktion
7.2.1		Strategien für die Co-Existenz von unterschiedlichen intelligenten, flexiblen und wandlungsfähigen Einheiten in einer Produktion
7.2.2		Strategien für die Verhandlung zwischen intelligenten Systemen im Produktionsumfeld
7.3	2020	Methoden und Beschreibungsmittel für das Engineering und Testen von autonomen Systemen
<b>Lösungen</b>		
7.4	2019	Technologien und Anwendungsbeispiele für eine intuitive Mensch-Maschine-Interaktion
7.5	2025	Standardisierung der Kooperation von intelligenten Einheiten im Produktionsumfeld
7.5.1		Standardisierte Schnittstellen für Informationsaustausch (inkl. Semantik)
7.5.2		Standardisierte Beschreibung der Fähigkeiten von Anlagen, Maschinen und logistischen Einheiten
7.5.3		Standardisierte Beschreibung der Fähigkeiten von Mitarbeitern
7.6	2030	Robuste, zuverlässige Algorithmen für zentrale und dezentrale Intelligenz
<b>Voraussetzungen</b>		
3.2	2019	Strategische Vorgaben – Zielhierarchiesystem – Prozessmodellierung
9.5	2016	Modelle für Beteiligung der betroffenen Mitarbeiter und des Betriebsrats am Implementationsprozess von Industrie 4.0
3.3	2025	Komplexitätsbeherrschung und Anwendbarkeit

## 5.4 Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit

AG3 kann aufgrund ihrer Kompetenzen und Erfahrungen FuE-Bedarf nur zu technischen Aspekten benennen. Die inhaltlichen Themen in diesem Abschnitt werden deshalb vom wissenschaftlichen Beirat beigesteuert.

### 5.4.1 Multimodale Assistenzsysteme

#### 5.4.1.1 Inhalte von Forschung und Innovation

- Intelligente Assistenzsysteme mit multimodalen und bedienungsfreundlichen Benutzerschnittstellen zur Unterstützung der Beschäftigten in ihrem Arbeitsumfeld.
- Paradigmenwechsel in der Mensch-Technik-Interaktion: Die Maschinen passen sich im Sinne der Komplexitätsreduktion den Menschen an – und nicht umgekehrt. Intelligente industrielle Assistenzsysteme mit multimodalen Benutzerschnittstellen unterstützen auch digitale Lerntechnologien direkt am Arbeitsplatz.
- Grundsätzlich geht es um humanzentrierte und demographie-sensible Auslegung sowie Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.

Herausforderungen der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle stellen sich insbesondere im Rahmen des Themengebiets Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke. Um die Engineering-Aufwände bei der Gestaltung von Assistenzsystemen signifikant zu reduzieren, ist insbesondere die Durchgängigkeit des Engineerings über den Lebenszyklus (bei Inbetriebnahme und Service mit Herausforderung der disziplinübergreifenden Gestaltung) zu adressieren.

#### 5.4.1.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

In der künftigen Smart Factory werden erweiterte und neuartige Formen für die kollaborative Entwicklungs- und Fabrikarbeit, gestützt durch intelligente und integrierte Assistenzsysteme, entstehen.

- Durch den Einsatz von Methoden und Techniken der erweiterten Realität (Augmented Reality), der Dualwelttechnologie (Dual Reality) und der synchronisierten und multiplen Welten (Echtzeitsynchronisation von sensomotorischen und semantischen Fabrikmodellen mit realen Produktionsstätten) werden partielle und kollaborative Teleoperationen von hochkomplexen Komponenten ermöglicht. Primärer Verbesserungsbedarf besteht insbesondere im Rahmen der Inbetriebnahme und im disziplinübergreifenden Service.
- Es sollen neue kollaborative und kooperative Verhaltensweisen zwischen den Beschäftigten, u.a. durch neue Kooperationsformen unter Fachkräften mithilfe von angepassten sozialen Netzwerken und sozialen Medien auch über Unternehmens- und Bildungsniveaugrenzen hinaus, ermöglicht werden.
- Harmonisierte bzw. standardisierte Schnittstellenbeschreibungen und Zielgruppen gerichtete leicht adaptierbare Interaktionssysteme sollen entwickelt werden, um der Heterogenität hinsichtlich Ausbildungsstand und Lebensphase der Belegschaft Rechnung zu tragen.
- Integration virtueller Menschmodelle zur Unterstützung der Simulation maschineller Produktionsabläufe sowie Überführung dieser Erkenntnisse in den Entwicklungsprozess für integrierte Automatisierungslösungen.
- Assistenzsysteme sollten so gestaltet sein, dass die Voraussetzungen für die Nutzung und den Erhalt von Erfahrungswissen der Beschäftigten weiterhin Bestand haben. Dies ist eine wesentliche Bedingung für einen stabilen Systembetrieb.
- Herstellung und Sicherung von Transparenz über den Entwicklungs- und Systemstatus in Echtzeit für die Beschäftigten.
- Qualifizierung für alle Beschäftigtengruppen sicherstellen:
  - Förderung digitaler Lerntechniken,
  - Weiterentwicklung digitaler Lerntechniken.

#### 5.4.1.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?

Die Nutzung intelligenter industrieller Entwicklungs- und Assistenzsysteme mit multimodalen Benutzerschnittstellen ist eine ganz wesentliche Voraussetzung dafür, dass (qualifizierte) Beschäftigte in die Lage versetzt werden, durch entsprechende Informationsgestaltung (Reduktion von Interaktionskomplexität) und Systemtransparenz dauerhaft einen stabilen Systembetrieb zu gewährleisten.

#### 5.4.1.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

Eine zentrale Voraussetzung ist eine aufgabenbezogene und demografie-sensible Interaktionsgestaltung, Kriterien sind hier:

- Sinnfälligkeit der Ein-/Ausgaben
- Verstärkter Fokus auf eine Workflow- bzw. Prozessorientierte Interaktion
- Formalisierbarkeit von Erfahrungswissen (im Produktionsalltag)
- Wahrnehmbarkeit, auch unter ungünstigen Bedingungen
- Identifizierbarkeit, Verwechslungssicherheit
- Systemzuverlässigkeit/Technologiereife
- Individualisierbare Interaktionsgestaltung
- Verantwortungs- und Entscheidungskompetenz bei den Mitarbeitern

Weitere Voraussetzungen der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle nach DIN EN ISO 9241-110 "Grundsätze der Dialoggestaltung" sind:

- Aufgabenangemessenheit
- Selbstbeschreibungsfähigkeit
- Steuerbarkeit
- Erwartungskonformität
- Fehlertoleranz
- Individualisierbarkeit
- Lernförderlichkeit

Diese Kriterien bedürfen jeweils der systemspezifischen Anpassung und Präzisierung.

#### 5.4.1.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Es gibt weder Forschungsthemen, die direkt signifikant von Forschungsergebnissen zum Thema "Multimodale Assistenzsysteme" abhängen, noch beeinflussen Forschungsergebnisse zu diesem Thema direkt signifikant andere Forschungsergebnisse.

#### 5.4.1.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

- Eine Tradition technikzentrierter Systemauslegung und die Vernachlässigung einer human-zentrierten Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.
- Vorherrschende Auffassungen, wonach Qualifikationsentwicklung und Personaleinsatz abgeleitete Größen von sekundärer Bedeutung sind und bei einer Systemauslegung keine systematische Berücksichtigung zu finden brauchen.
- Erforderlich ist vielmehr ein Verständnis von Industrie 4.0 als sozio-technisches System.
- Die Forderung nach digitalen Lerntechniken setzt Skaleneffekte in deren Nutzung voraus, um ein angemessenes Aufwand-/Nutzenverhältnis zu erzeugen. Dies sollte im Zusammenhang mit der Bildung von Kooperationsnetzwerken im Sinne von Communities of Practice betrachtet werden.
- Eine marktgerechte Einführung von Assistenztechnologien kann nur in Wechselwirkung mit lernförderlichen Arbeitsstrukturen und Organisationen erfolgen.
- Die informationstechnische Erfassung von differenzierten Dispositions- und Leistungsdaten der Mitarbeiter (Menschenmodell) muss sicher und transparent gestaltet werden.
- Verantwortungsempfinden der Mitarbeiter muss weiterhin sichergestellt werden
- Demografie und qualifikations-sensible Systementwicklung ist sicherzustellen.
- Persönlicher Mehrwert für Mitarbeiter muss ersichtlich werden.

#### 5.4.1.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Die Frage nach innovativen Multimodalen Assistenzsystemen und der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie arbeitsablaufunterstützenden Vorgehensweisen stellt sich zum einen als Querschnittsthema und laufende Herausforderung im Kontext weiterer Forschungsfelder heraus. Zum anderen sollten in einem Zeitraum bis 2018 neue und weiterführende Ergebnisse der Grundlagenforschung zur Mensch-Maschine-Interaktion an CPS erarbeitet werden.

## Meilensteine



Methodik		
8.1	2015	Definition von industriellen Anwendungsfällen für eine sinnvolle multimodale Unterstützung von Arbeitsschritten
8.3	2018	Allgemeine Methodik zur Bewertung der Interaktion
Lösungen		
8.2	2017	Praxistaugliche Leitfäden für eine aufgabenbezogene Interaktionsgestaltung in allen Phasen des Produktlebenszyklus
8.4	2020	Präzisierung der Gestaltungsrichtlinien der Mensch-Maschine-Schnittstelle
Voraussetzungen		
8.a	2016	Praxistaugliche Endgeräte für den Einsatz in Augmented Reality bzw. Dual Reality im Anwendungsfeld der Industrie
8.b	2017	Vernetzung von PLM-Systemen und Entwurf von Engineering-Konzepten für AR-/DR-Anwendungen
8.c	2020	Bereitschaft zur Flexibilisierung von Beschäftigungsverhältnissen
8.d	2021	Bereitschaft zur Gestaltung von Interaktionssystemen, die der Heterogenität der Belegschaft Rechnung tragen
8.e	2022	Sicherstellung des Qualifizierungszugangs für alle Beschäftigtengruppen

## 5.4.2 Technologieakzeptanz und Arbeitsgestaltung

### 5.4.2.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Bei diesem Thema geht es zunächst um die Begeisterung für neue Technologien und deren Akzeptanz durch die Mitarbeiter. Voraussetzungen sind Arbeitsbedingungen, die die Flexibilität im Sinne der Mitarbeiter ermöglichen und die Entfaltung ihrer Kreativität, Autonomie und lebenslange Lernfähigkeit unterstützen. „Multimodale Assistenzsysteme“ werden dafür die technologische Voraussetzung schaffen. Weiterhin geht es um Herausforderungen der Qualifikationsentwicklung und der Gestaltung der Arbeitsorganisation und -mittel im Rahmen von Industrie 4.0-Systemen.

Herausforderungen der Akzeptanz und Arbeitsgestaltung stellen sich insbesondere im Rahmen des Themengebiets „Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke“ sowie durch die Bestrebungen eines durchgängigen Engineerings über den Produkt- und Produktionsmittellebenszyklus.

### 5.4.2.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Mit Industrie 4.0-Systemen sowie deren Entwicklung wird die Chance verbunden, dass das Aufgabenspektrum der Mitarbeiter erweitert, ihre Qualifikationen und Handlungsspielräume erhöht sowie ihr Zugang zu Wissen deutlich verbessert werden kann. Es ist davon auszugehen, dass neuartige kollaborative Formen von Produkt- und Prozessentwicklung sowie Produktionsarbeit möglich und systembedingt erforderlich werden.

Damit bietet Industrie 4.0 die Chance, die Attraktivität von Produktionsarbeit im allgemeinen Sinne zu steigern und dem absehbaren Fachkräftemangel entgegenzuwirken.

Schließlich bietet Industrie 4.0 gute Voraussetzungen dafür, durch entsprechende Maßnahmen der Arbeitsgestaltung den wachsenden Anforderungen des demographischen Wandels Rechnung zu tragen.

#### 5.4.2.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?

Eine Systemauslegung und Arbeitsgestaltung, die auf Akzeptanz und Qualifikation der Mitarbeiter in allen Berufsgruppen ausgerichtet ist, ist eine zentrale Voraussetzung für einen effizienten und effektiven Change-Prozess und erweiterten Systembetrieb.

#### 5.4.2.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

Grundlegendes Systemverständnis: Voraussetzung ist ein Verständnis von Industrie 4.0 als sozio-technisches System, in dem Technik, Organisation, Netzwerk und Mitarbeiter systematisch aufeinander abgestimmt und nutzer-zentriert gestaltet werden müssen. Hierbei sind insbesondere Auswirkungen durch veränderte rechtliche Rahmenbedingungen und Vorgaben zu berücksichtigen.

Arbeitsgestaltung: Entscheidend für Akzeptanz, Leistungs- und Entwicklungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit arbeitender Menschen sind daran ausgerichtete Tätigkeits- und Aufgabenstrukturen. Kriterien hierfür ist beispielsweise, dass planende, organisierende, durchführende und kontrollierende Tätigkeiten an einem Arbeitsplatz integriert sind, und dass ein angemessenes Verhältnis zwischen anspruchssarmen Routineaufgaben und anspruchsvolleren, z.B. problemlösenden Aufgaben besteht. Lernförderliche Arbeitsmittel sollen eine lernförderliche Arbeitsorganisation unterstützen.

Beteiligung: Um Akzeptanz und Motivation zu steigern und nutzer-zentrierte Arbeitsformen zu realisieren, sollten Einführungsprozesse beteiligungsorientiert ablaufen, d. h. sowohl die betroffenen Mitarbeiter als auch der Betriebsrat sollten in den Implementations- und Entwicklungsprozess eingebunden werden.

Organisationskultur: zugrundeliegende Normen- und Wertesysteme müssen im Einklang mit Technologisierung stehen.

#### 5.4.2.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Es gibt weder Forschungsthemen, die direkt signifikant von Forschungsergebnissen zum Thema "Technologieakzeptanz und Arbeitsgestaltung" abhängen, noch beeinflussen Forschungsergebnisse zu diesem Thema direkt signifikant andere Forschungsergebnisse.

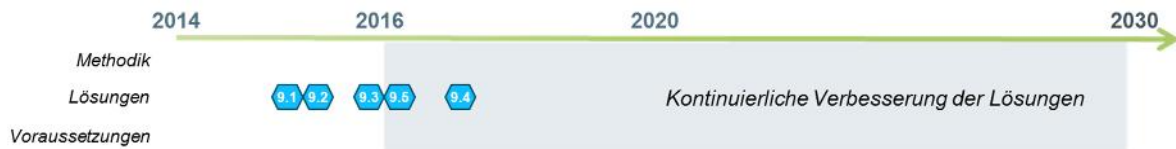
#### 5.4.2.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

- Eine Tradition technikzentrierter Systemauslegung und die Vernachlässigung einer nutzer-zentrierten Auslegung bei Entwicklungs- und Automatisierungsprojekten.
- Vorherrschende Auffassungen, wonach Qualifikationsentwicklung und Personaleinsatz abgeleitete Größen von sekundärer Bedeutung sind und bei einer Systemauslegung keine systematische Berücksichtigung zu finden brauchen. Erforderlich ist vielmehr ein Verständnis von Industrie 4.0 als sozio-technisches System.
- Mangelnde Einbindung der Mitarbeiter und der Betriebsräte bei der Systemeinführung und daraus resultierende Akzeptanzprobleme auf Endanwenderenebene.
- Generationskonflikte (Technikaffinität vs. Technikaversion) → Bedarf an generationssensiblen Gestaltungs- und Implementierungsstrategien.
- „De-Personalisierung“ aufgrund zunehmender Technologisierung, „Kontrollüberzeugung“. Dies betrifft das Verantwortungsempfinden der Mitarbeiter (Wahrnehmung als in eigener Verantwortung bzw. in Verantwortung eines dritten)
- Zuverlässigkeit neuer Technologien.

### 5.4.2.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Die Frage der Akzeptanz und Arbeitsgestaltung stellt sich zum einen als Querschnittsthema und laufende Herausforderung im Kontext weiterer Forschungsfelder. Zum anderen sollten in einem Zeitraum bis 2018 neue und weiterführende Ergebnisse der Grundlagenforschung zur Mensch-Maschine-Interaktion an CPS erarbeitet werden.

#### Meilensteine



Methodik		
Lösungen		
9.1	2015	Konzepte für geeignete Tätigkeits- und Aufgabenstrukturen
9.2	2015	Vorschläge für die Integration von planenden, organisierenden, durchführenden und kontrollierenden Tätigkeiten
9.3	2016	Modelle für ein angemessenes Verhältnis zwischen anspruchsarmen Routineaufgaben und anspruchsvolleren Aufgaben
9.4	2018	lernförderliche Arbeitsmittel, die die Arbeitsorganisation unterstützen
9.5	2016	Modelle für die Beteiligung der betroffenen Mitarbeiter und des Betriebsrats am Implementationsprozess von Industrie 4.0
Voraussetzungen		

## 5.5 Querschnittstechnologien für Industrie 4.0

Die Liste der Querschnittstechnologien in diesem Kapitel erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und ist erweiterbar. Wichtig für Erweiterungen um weitere Technologien ist, jeweils die Bedeutung der Querschnittstechnologie speziell für Industrie 4.0 deutlich herauszuarbeiten.

### 5.5.1 Netzkommunikation für Industrie 4.0 Szenarien

#### 5.5.1.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Netzkommunikation der in Industrie-4.0-konforme Produktionsszenarien involvierten (stationären und mobilen) Komponenten von Cyber-Physical Systems. Dies beinhaltet die Komponenten, Dienstleistungs- und Produktivsysteme im Shopfloor und in Backend-Systemen des Unternehmens, einschließlich der damit verbundenen Lieferketten und der Betrachtung der Lebenszyklen.

Wichtige zu berücksichtigende Aspekte sind:

- Anforderungsgerechte Nutzung der drahtlosen Kommunikation im Office und Shop Floor
- Koexistenz verschiedenster drahtloser und drahtgebundener Kommunikationssysteme [z.B. 2G, 3G, LTE, 5G, WLAN, Bluetooth, Mesh-Netzwerke (WirelessHART, ZigBee, IEEE 1451)] und proprietäre Systeme (Trusted Wireless, ISM Funksysteme) in ihren Frequenzbändern und physikalischen Übertragungsmedien
- Interoperabilität verschiedenster drahtloser und drahtgebundener Kommunikationssysteme im Sinne der Herstellbarkeit von Ende-zu-Ende IP-Konnektivität
- Plan- und Validierbarkeit der einzelnen und interagierenden Systeme



- Vorausschauende Wirkungsanalyse bei sich ändernden Systemkonfigurationen (z.B. mobile Geräte verlassen oder erweitern bestehende Systeme), ohne die Anforderungen des Shopfloors bzw. der Officewelt zu verletzen
- Weltweiter Einsatz der Produkte (Anforderungen an Umgebungsbedingungen, Emissionen, Standards)
- Anforderungsmanagement der Bandbreite, Vorhersagbarkeit und Echtzeit
- Die verwendeten Methoden lassen sich in einer interoperablen Engineering-Kette nutzen
- Die verwendeten Modelle und Methoden sind skalierbar und lassen sich von Embedded Systemen bis hin zu Backend-Systemen durchgängig nutzen
- Security; die Nutzung von Zertifikaten und Sicherheitstechnologien unterschiedlicher Branchen (z.B. Virtuelle IP Netze: SSL, Open VPN, ...)
- Safety; die Nutzung der funktionalen Sicherheitstechnik als inhärenter Bestandteil Netzkommunikation basierender Systeme
- Geschäftsmodelle in Lizenzen und nutzbaren Diensten

Konkret sind folgende Ergebnisse zu erarbeiten:

- Aufeinander abgestimmte Methoden und Spezifikationen zu den Themenbereichen
  - Netzwerk-Redesign öffentlicher Netze, Ableitung neuer Funktechnologien und Frequenzplanung für öffentliche mobile Netze in Public-Private Partnership (5G PPP)
  - Standardisierte, SDN-basierte Virtualisierung von Netzwerkressourcen
  - Evolutionäre Weiterentwicklung der WLAN Standardisierung
  - Adaptive Antennensysteme für (WLAN) Funknetzwerke
  - Entwicklung von Koexistenz-Verfahren inkl. Interferenzdetektion, -unterdrückung und -vermeidung
  - Neue Nahfeld-Technologien
- Aufeinander abgestimmte und integrierbare Prozesse und Werkzeuge, die die einzelnen Methoden im Lebenszyklus unterstützen
- Abrechnungs- und Lizenzverfahren
- Semantik der applikativen Schnittstellen
- Durchgängiges Anforderungsmanagement in komplexen Systemen
- Standards und Prüfverfahren
- Anforderungen an Endpunkte und Übergabestellen in Netzwerken und deren Installationssystemen (z.B. Stecksysteme, TAE, Modem, Router)
- Leitfäden für die praktische Anwendung der Methoden, Definitionen und Werkzeuge

#### 5.5.1.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

- Entwicklung und Bewertung von Vernetzungs- und Anbindungslösungen zur (branchenübergreifenden) Erfüllung des Anforderungskatalogs für den Einsatz in Industrie-4.0-Produktionsszenarien, insbesondere der Anforderungen an Übertragungsleistung (Bandbreite, Echtzeit und Vorhersagbarkeit), Robustheit im physischen Einsatzumfeld, Security, Safety und Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und internationale Ausrollbarkeit.
- Kosteneffizienz und Akzeptanz in Industrie 4.0 durch standardisierte Lösungen, deren Standards die Ziele - Interoperabilität, Skalierbarkeit, Kostensensitivität (z.B. auch für den kostensensitiven Sensor in geringer Stückzahl) und Anforderungsakzeptanz – berücksichtigen. Standards sind durch Mechanismen zu qualifizieren, die in den üblichen Entwicklungsprozessen nutzbar sind und keine kostenerhöhenden Zertifikate (weder technisch

noch räumlich getrieben) beinhalten. Hier sind z.B. offene Verfahren wie CE "Selbsterklärung der Hersteller", anzustreben.

- Bewertung der Möglichkeiten heutiger und zukünftiger
  - öffentlicher Netze im Industrie-4.0-Kontext
  - WLAN-Technologien und möglicher Alternativen wie z.B. Bluetooth im Industrie-4.0-Kontext
  - Nahfeld-Technologien im Industrie-4.0-Kontext
- Identifikation von Anforderungen an spezifische
  - Funklösungen (Wireless M-Bus, ZigBee, KNX-RF, ...), Netzwerktechnologien öffentlicher Netze (4G, 5G, Software Defined Networks), proprietäre Lösungen und Identifikation möglicher Alternativen
- Applikationsfelder wie z.B. Gebäude, Prozesstechnik oder Infrastruktur (Energie, Wasser, Transportwesen).

#### 5.5.1.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?

- Basistechnologie für die Funktionsfähigkeit von Cyber-Physical Systems, insbes. bei Einbeziehung mobiler Komponenten
- Mobilitätsunterstützung für Maschinen, prozesstechnische Anlagen, Infrastrukturkomponenten in beweglichen Produktionssystemen
- Detektion und kontaktlose Identifikation von Produkten, Produktionsmitteln und Logistikketten über deren spezifischen Lebenszyklen
- Weiterentwicklung der Interaktion von Menschen, Produktionsmitteln, Logistikketten und Produkten in ihrer jeweiligen Rollen.
- Die Netzwerkkommunikation ist die Grundlage für die Vernetzung von Wertschöpfungsketten

#### 5.5.1.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

- Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Berechenbarkeit der mobilen und stationären/festen/drahtgebundenen Netze und Kontaktstellen
- Verbesserung der drahtlosen Kommunikationsversorgung in Industriegebäuden
- Erhöhung der Protokoll- und Ressourceneffizienz von Funktechnologien, Funknetzen und draht-/fasergebundenen Netzen
- Neue Konzepte zur intelligenten Nutzung des Funkfrequenzspektrums, Koexistenz der Funktechnologien, Anforderungen (Shopfloor, Office) und Ausleuchtung von sich ändernden Einsatzräumen (Bewegung des Funksystems oder der Maschine)
- Skalierbare und im jeweiligen Bilanzierungsraum planbare Netzkommunikations-Lösungen für verschiedene Anforderungen hinsichtlich Reichweiten, Datenübertragungsraten, Ad-hoc-Fähigkeit, Echtzeitfähigkeit, Vorhersagbarkeit und Zuverlässigkeit
- Konzepte zur intelligenten Nutzung verschiedener (verfügbarer und in Entwicklung befindlicher) Funksysteme in lizenzierten und nicht-lizenzierten Frequenzbändern
- Flexibilität mobiler Systeme im Hinblick auf die Nutzung von Frequenzspektrum, Sendeleistung und Abstrahlcharakteristik.
- Flexibilität netzgebundener Systeme in Hinblick auf die geforderte Bandbreite, Laufzeit, Datenvolumen und „Nutzergeographie“
- Standardisierung der 5G Netz-Infrastruktur

- Frequenzvergabe für neue 5G Funktechnologien
- Verfügbarkeit standardisierter Hardware für SDN-basierte Netzwerk Virtualisierung

### 5.5.1.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

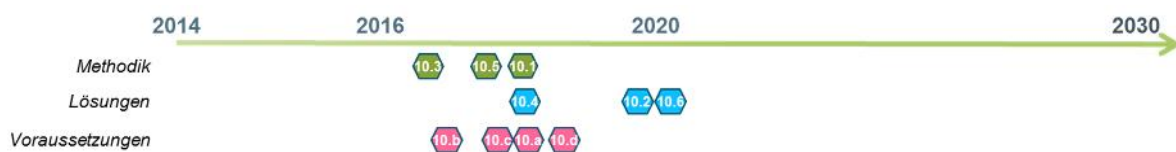
Die Forschung zum Thema "Netzkommunikation für Industrie 4.0 Szenarien" wird signifikant durch die Forschungsergebnisse zu den Themen "Sensornetze", "Mikroelektronik" und "Security, Privacy & Safety" beeinflusst. Die Forschungsergebnisse zum Thema "Netzkommunikation für Industrie 4.0 Szenarien" haben signifikanten Einfluss auf die Forschung zu den Themen "Sensornetze" und "Mikroelektronik", aber auch zu "Security, Privacy & Safety".

### 5.5.1.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

- Internationale Verfügbarkeit von geeigneten Funkfrequenzspektren
- Globale Standards für I 4.0 Kommunikationssysteme
- Aufwand und Komplexität (z.B. für Interferenzmanagement in nicht-lizenzierten Frequenzbändern oder für die vollständige Ausleuchtung von Produktionsräumen/Lagern usw.)
- Abbildung von Geschäftsmodellen für bestimmte Szenarien, z.B. großflächige ländliche Bereiche oder Infrastruktursysteme (Wasser, Abwasser, Energie, Mobilität)
- Sicherheit, Latenzanforderungen in Produktionsanlagen.

### 5.5.1.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Meilensteine



Methodik		
10.1	2018	Re-Design öffentlicher Netze, Ableitung neuer Funktechnologien & Frequenzplanung in Public-Private Partnership
10.3	2016	Standardisierung SDN-basierter Virtualisierung von Netzwerkressourcen
10.5	2017	Evolutionäre Weiterentwicklung der Funkstandards, Nahfeldtechnologien und adaptiver Antennensysteme
Lösungen		
10.2	2020	100 Gbit/s 5G Netzwerkinfrastruktur in öffentlichen Netzen verfügbar
10.4	2018	SDN im produktiven Einsatz
10.6	2022	Nutzung neuer Funkstandards, Nahfeldtechnologien und adaptiver Antennensysteme in I40 Anwendungen
Voraussetzungen		
10.a	2018	Design und Standardisierung der 5G Netzwerkinfrastruktur sowie neuer Funkstandards und Nahfeldtechnologien
10.b	2016	Verfügbarkeit von Standardhardware für SDN-basierte Netzwerk-Virtualisierung
10.c	2017	Industrialisierung neuer Antennentechnik für flexible Funknetzwerke
10.d	2019	Standardisierung von Koexistenz-Verfahren inkl. Interferenzdetektion, -unterdrückung und -vermeidung

5G	
2015-2018	Re-Design öffentlicher Netze, für die Ableitung neue Funktechnologien und Frequenzplanung in Forschungsprojekten der Public-Private Partnership (5G PPP)
2018	Design und Standards für 5G Netzwerkinfrastruktur öffentlicher Netze vorhanden
2020	100 Gbit/s 5G Netzwerkinfrastruktur in öffentlichen Netzen verfügbar
SDN	
2015-2017	Standardisierung SDN-basierter Virtualisierung von Netzwerkressourcen
2017	Verfügbarkeit von Standardhardware für SDN-basierte Netzwerk-Virtualisierung
2018	SDN im produktiven Einsatz
Neue Funktechnologien	
2015-2017	Evolutionäre Weiterentwicklung der WLAN Standardisierung (z.B. hinsichtlich Echtzeitanwendungen)
2017	Einführung neuer (WLAN) (Echtzeit) Funkstandards
2020	Nutzung aktueller WLAN Standards in I40 Anwendungen
Adaptive Antennensysteme für Funknetzwerke (Beamforming), "Software Defined Antenna"	
2016-2018	Entwicklung von Methoden Adaptiver Antennensysteme für (WLAN) Funknetzwerke
2018	Industrialisierung neuer Antennentechnik für flexible Funknetzwerke Clients
2020	Nutzung Adaptiver Antennensysteme im I40 Umfeld
Nahfeldtechnologien	
2015-2016	Evolutionäre Weiterentwicklung der Nahfeld-Technologien(RFID, NFC,...)
2016	Industrialisierung neuer Nahfeld-Technologien
2017	Erster Einsatz neuer Nahfeld-Technologien
Koexistenz-Verfahren inkl. Interferenzdetektion,-unterdrückung und -vermeidung	
2016-2018	Entwicklung
2018	Standardisierung
2020	Erster Einsatz

## 5.5.2 Mikroelektronik

### 5.5.2.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Die Mikroelektronik ist die Basis für die CPS-Hardware zur intelligenten Steuerung, Überwachung und Identifikation von Produktions- und Logistikprozessen in der Industrie 4.0. Sie stellt einen umfangreichen Baukasten bereit, um Elemente der Industrie 4.0-Szenarien schrittweise umzusetzen. In diesem Zusammenhang steht die Mikroelektronik sowohl für "More Moore" als auch für "More than Moore"-Technologien, denen eine besondere Bedeutung zukommt, da die Technologien zur Systemintegration (z. B. 3D-Integration auf Waferlevel, Selbstdiagnosefähigkeit, Energieeffizienz) hier eine Schlüsselrolle spielen. Die wichtigsten Forschungsthemen sind:

- Sensoren und Aktoren, insb. Mikro-Elektro-Mechanische Systeme (MEMS)
- Embedded Systems on Chip inkl. Spezialprozessoren, spezielle echtzeitfähige Mikrocontroller und Hightech-Speicher mit hoher Leistung und minimaler Leistungsaufnahme, sowie Multi-Core Architekturen
- Leistungselektronik für kompakte und effizient arbeitende Aktuator-Systeme
- Robuste Funkkommunikation (low power, low latency)
- Energy Harvesting mit höchstmöglicher Ausbeute

- Systemintegration
- Embedded Security Architektur
- Robustheit und Alterungsresistenz

Nicht berücksichtigt in diesem Steckbrief werden folgende Themen, die in anderen Steckbriefen abgedeckt werden:

- Funkkommunikation (Netzkommunikation für Industrie 4.0-Szenarien)
- IT-Security (Security, Privacy & Safety)

#### **5.5.2.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation**

Die Mikroelektronik ist eine der Schlüsseltechnologien, um Industrie-4.0-Ziele wie Flexibilität, Produktivitätserhöhung und Kostenreduktion zu verwirklichen. Hierzu ist ein optimiertes Zusammenspiel von spezieller elektronischer Hardware und intelligenter Software Voraussetzung. Die Umsetzung von Industrie 4.0-Szenarien hängt von der Verfügbarkeit geeigneter mikroelektronischer Bausteine und Systeme ab. Es besteht daher Bedarf für kontinuierliche Forschung und Entwicklung, um neue Komponenten der Mikroelektronik zu entwickeln und bestehende an die konkreten Anforderungen im Industrie-4.0-Umfeld anzupassen.

#### **5.5.2.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?**

Die Mikroelektronik kann mit Hilfe fortschrittlicher Systemintegrationstechnologien Smart Systems bereitstellen, die optimal an die Anwendungsumgebung in der Industrie angepasst sind. Über moderne Kommunikationsplattformen stellen diese Komponenten ihre Funktionalität und Leistungsfähigkeit im Kontext eines Industrie-4.0-Gesamtsystems zur Verfügung. Durch die sichere Umsetzung aller an der Kommunikation beteiligten Systemschichten (Hardware und Software) wird das Gesamtsystem effektiv gegen Angriffe und Missbrauch geschützt.

#### **5.5.2.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?**

- Material- und Technologieoptimierung zur Erreichung von längeren Lebensdauern und höherer Zuverlässigkeit im rauen industriellen Umfeld.
- Vorantreiben von Prototyping, optimierten Fertigungsprozessen sowie der Fertigungsqualifizierung für eine weitere Umsetzung der 3D-Integration und der Embedded-Technologien auf Substratebene.
- Entwurfsverfahren und –werkzeuge für den Entwurf robuster, echtzeitfähiger, energieeffizienter Schaltungen unter Berücksichtigung von Lastverläufen, Umgebungsparametern und Alterung.
- Virtuelle Prototypen zur Bewertung der Leistungsfähigkeit, des Echtzeitverhaltens, der Energieaufnahme und der Robustheit komplexer CPS in ihrer Anwendungsumgebung.
- F&E für spezielle sichere Hardware und Software zur Verbesserung der Sicherheit der Systeme in Bezug auf Datenintegrität (Security), Datenschutz (Privacy) und funktionale Sicherheit (Safety).
- Drahtlose Kommunikationslösungen mit hohen Zuverlässigkeits- und Latenzanforderungen, Selbstüberwachungsfähigkeit der Systeme und Integrierter Lokalisierungsfunktionalität
- Fälschungssichere und manipulationssichere Systemaufbauten (Modul-Packaging), drahtlose Identifikationssysteme für industrielle Anwendungen und Weiterentwicklung von RFIDs zu Massen- (1-Cent-) Transpondern.
- Integrierte Plug&Trust Funktionalität mit der Möglichkeit zur Selbstdiagnose und -überwachung; diese müssen durch die automatische Einbeziehung von Authentifizierungs- sowie

rollen- und attribut-bezogenen Autorisierungsmethoden zu industriellen Nutzbarkeit ausgebaut werden

- Einführung einer von kryptographischen Schutzmechanismen unabhängigen Sicherheits-ebene, bei der Informationen über die Topologie des Netzwerkes und über Signaleigenschaften berücksichtigt werden, um die Position der Kommunikationspartner zu verifizieren (Lokalisierung, Funkkanalüberwachung)
- Erhöhung der Systemperformanz bei deutlicher Reduzierung der Leistungsaufnahme zur Ermöglichung von Echtzeitscheidungen.
- Verbesserung der Robustheit von Schaltungstechniken im industriellen Umfeld, um die korrekte Funktionsweise in Anwesenheit technologiebedingter Alterung, ggfs. hohen Betriebstemperaturen und sehr starker elektromagnetischer Felder (EMV) zu garantieren.
- Neu- und Weiterentwicklung von smarten MEMS-Devices, -Prozesstechnologien sowie Aufbau- und Verbindungstechnologien.
- Entwicklung spezieller Schnittstellen zur Funkkommunikation und Module für den notwendigen Übergang von analog auf digital (mixed-signal).
- Neue Technologien der optischen Datenübertragung zur optischen Freiraumkommunikation in für Industrie 4.0 notwendigen Preis- und Leistungsklassen.
- Evaluierung und Verbesserung von hocheffizienten Energy-Harvesting-Systemen sowie
- Optimierung ihrer Produktion und Integration in mikroelektronische Systeme.
- Höhere Erfassungsraten bei gleichzeitig geringerer Stromaufnahme und weiteren Nebenbedingungen (EMV, Safety, Security).
- Weiterentwicklung der Technologien zur Systemintegration (z.B. 3D-Integration auf Wafer-level)
- Weiterentwicklung von integrierten und anwendungsspezifischen Prozessoren, Mikrokontrollern und Speichern, um die für Industrie 4.0 notwendigen Bausteine realisieren zu können.

#### 5.5.2.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Die Forschung auf dem Thema "Mikroelektronik" wird signifikant durch die Forschungsergebnisse zum Thema "Netzkommunikation für Industrie 4.0 Szenarien" beeinflusst. Die Forschungsergebnisse zum Thema "Mikroelektronik" haben signifikanten Einfluss auf die Forschung zu den Themen "Sensornetze", und ihrerseits zu "Netzkommunikation für Industrie 4.0 Szenarien".

Weiterhin besteht ein Zusammenhang mit Forschung im Bereich "Embedded Systems". Hier liefert die Mikroelektronik die notwendigen Plattformen.

#### 5.5.2.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

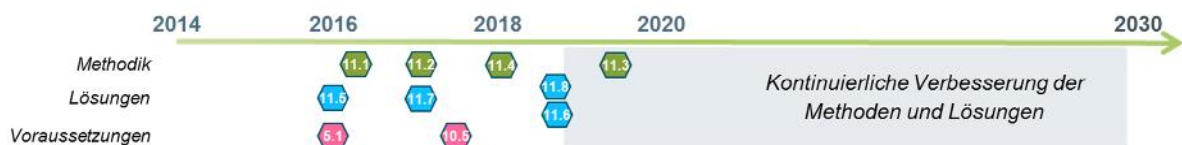
- Sensoren/Aktoren: kritische Eigenschaften wie Langzeitstabilität durch Parameterdriften, Signal-Rauschverhältnisse, Unempfindlichkeit gegen elektrostatische bzw. –magnetische Störungen
- Prozessoren:
  - Leck-Ströme beeinflussen bei immer kleiner werdenden Strukturen den Gesamtenergieverbrauch
  - Aktuelle und zukünftige Mikroelektroniktechnologien sind aufgrund der atomaren Strukturgrößen verstärkt Alterungseffekten ausgesetzt, die die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer signifikant beschränken.

- Kommunikation: energieeffiziente bzw. -autarke Funkübertragung; Aufbau- und Verbindungstechnik auf Waferlevel
- Energy Harvesting: verfügbare Lösungen sind aufwändig in der Fertigung und liefern zu geringe Energieerträge; neue Ansätze (z.B. dielektrische Elastomere) erst im Forschungsstadium
- Security: Performanceanforderungen für die Ausführung aufwändiger kryptographischer Funktionen stehen im Gegensatz zu Miniaturisierung und Energieknappheit. Hier sind Lösungen und Plattformen mit sehr geringer Latenz und extrem geringer Leistungsaufnahme gefordert
- Security: neue Ansätze für ein schnelles und ressourcensparendes Schlüsselmanagement werden benötigt, da z.B. herkömmliche PKI Strukturen hier nicht einsetzbar sind
- Systemintegration: steigende Komplexität beim Aufbau der elektronischen Systeme aufgrund sehr hoher Systemanforderungen bei Industrie 4.0

### 5.5.2.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Prototypen auf Basis existierender Technologien in 1-2 Jahren, grundlegende Fortschritte bei der Weiterentwicklung der Technologien in Richtung spezifischer Industrie-4.0-Anforderungen je nach Komplexität in 3-5 Jahren. Im letzteren Fall sollten entsprechende Forschungsprojekte mit der Förderung durch Bundesmittel unterstützt werden.

Meilensteine:



Methodik		
11.1	2016	Systemintegration
11.2	2017	Robustheit und Alterungsresistenz
11.3	2018	Energy Harvesting mit höchstmöglicher Ausbeute
11.4	2019	Embedded Systems on Chip inkl. Spezialprozessoren, spezielle echtzeitfähige Mikrocontroller und Hightech-Speicher mit hoher Leistung und minimaler Leistungsaufnahme
Lösungen		
11.5	2016	Mikro-Elektro-Mechanische Systeme (MEMS) inkl. Sensoren und Aktoren
11.6	2017	Embedded IT-Security
11.7	2019	Leistungselektronik für effizient arbeitende Aktuator-Systeme
11.8	2019	Funk-Kommunikation (low power, low latency)
Voraussetzungen		
5.1	2016	Erstes aufeinander abgestimmtes Methodenset; erste aufeinander abgestimmte Werkzeugkette
10.5	2017	Evolutionäre Weiterentwicklung der Funkstandards, Nahfeldtechnologien und adaptiver Antennensysteme

### 5.5.3 Security, Privacy & Safety

Das Thema "Security & Safety" wurde von der Arbeitsgruppe 4 der Plattform Industrie 4.0 adressiert. Den aktuellen Stand der Arbeiten findet man in der „Umsetzungsstrategie Industrie 4.0, Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0, Version 1.0 - April 2015“.

Inhaltlich ist die Integration von Betriebssicherheit (Safety), Datenschutz (Privacy) und Sicherheit (Security) in Komponenten und Systemen bei Industrie 4.0-Szenarien wechselwirkend zu betrachten. Eine Anpassung der Konzepte für Sicherheit, Datenschutz sowie Betriebssicherheit und deren Technologien an das zukünftige industrielle Umfeld ist erforderlich. Dies gilt insbesondere für die höhere Dynamisierung in zukünftigen Industrie 4.0-Systemen. Das bedeutet, dass die bisher statisch geplanten Systeme in Industrie 4.0-Systemen im Prozess neu zusammengestellt werden und sich die derzeit eher starre Planung von Safety, Privacy und Security automatisiert anpassen muss. Beispielsweise werden Maschinen oder Teilmaschinen produktionsbedingt neu zusammengestellt, Betriebsmittel wechseln ihren Platz oder werden anderweitig genutzt. Mit ihrem adaptiven Verhalten sind nun auch Safety-, Privacy- und Security-Aspekte automatisiert zu unterstützen.

Am Beispiel Fernwartung wird deutlich, dass die Sicherheit die geänderte Maschinenkonstellation bezüglich eines Fernzugriffes auf z.B. neu eingebrachte Betriebsmittel neu bewerten muss, ohne Einschränkungen bezüglich der Verfügbarkeit, Authentifizierung und Datenintegrität zuzulassen. Am Beispiel Qualifizierung wird deutlich, dass die Aspekte der Betriebssicherheit bezüglich ihrer Risikoabschätzung und den daraus resultierenden Maßnahmen zum Schutz von Mensch, Maschine und Umwelt unter Berücksichtigung bestehender Standards neu zu gestalten ist. Das ist eine der Voraussetzungen, um z.B. neue integrierte Produktionsmittel für die Produktion nutzen zu können. Dabei ist die Erstellung einer automatisierten Herstellererklärung (z.B. CE) inbegriffen.

Die zunehmende Auswertung persönlicher Daten erfordert neue Methoden für den Datenschutz, insbesondere da Daten aus sozialen Netzwerken, aber auch direkt von Mitarbeitern mit anderen Daten vermengt werden. Ein Beispiel ist hier die Auswertung der Qualität von Produkten bzw. deren Komponenten während ihrer Anwendung durch einen Nutzer mithilfe von sozialen Netzwerken.

Beispielsweise weisen in diesem Zusammenhang die Themen Safety, Privacy und Security Ähnlichkeiten auf, die sich in den Schutzzielen (z.B. Authentifizierung), den Prozessen (Risikobewertung betrachteter Bereiche) und der Dynamisierung im Engineering (Betrachtung des Lebenszyklus) widerspiegeln.

Derzeit beschäftigt sich die Arbeitsgruppe mit diesen Themenstellungen. Die konkret zu adressierenden Forschungsthemen befinden sich noch in der Diskussion.

## 5.5.4 Datenanalyse

### 5.5.4.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Zentrale Motivation für die Datenanalyse ist einerseits die sich damit bietende Möglichkeit zum Generieren von (neuen) Erkenntnissen. Andererseits dient „actionable“ Datenanalyse zur Entscheidungsunterstützung sowie für autonome Entscheidungen (welche Information an wen und wann zur Verfügung stellen), was dann Unternehmen hilft, die Qualität ihrer Produkte und die Effizienz ihrer Produktion zu erhöhen und mögliche Fehlerentwicklungen frühzeitig zu erkennen. Dies kann insbesondere auch als Basis für neue Geschäftsmodelle dienen. Zur Anwendung kommen hierzu Methoden der prädiktiven Analyse. Sie umfassen eine Vielzahl grundlegender Techniken aus der Statistik, dem maschinellen Lernen und Data Mining. Gegenwärtige und historische Messwerte, aber auch „unstrukturierte“ Daten beispielsweise aus sozialen Netzen werden analysiert, um daraus bisher unbekannt Zusammenhänge offenzulegen (descriptive analytics) oder auch Abschätzungen über zukünftiges Systemverhalten bzw. Effekte ableiten zu können (predictive analytics). Die neu gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen letztlich die Beurteilung verschiedener Handlungsalternativen und damit eine kontinuierliche Optimierung von Systemen, Prozessen und Strategien (prescriptive analytics). Die Ableitung von Handlungsempfehlungen oder direkten Maßnahmen auf Basis der Datenanalyse ist die eigentliche Herausforderung.



Das Thema Datenanalyse beinhaltet die folgenden Aspekte:

- Data Manipulation
- State Detection
- Prognostic Assessment
- Advisory Generation.

#### **Data Manipulation:**

Neben den eher technischen Aspekten, die die Behandlung eines Datenstroms aus einem Sensornetz betreffen und im Steckbrief ‚Sensornetze‘ diskutiert werden, folgen aus der Vielzahl der Informationsquellen auch im Rahmen der Datenanalyse zu behandelnde Fragen. Grundlage der weiteren Verarbeitung bildet eine initiale Informationsfusion. Um die verschiedenen Messgrößen konsistent zu verdichten, können neben der Maximum-Likelihood Methode der klassischen Statistik auch die Bayessche Statistik oder Dempster-Shafer-Ansätze zur Anwendung kommen. In diesem Szenario stellt sich verstärkt auch die Frage zur Informationsqualität, die gemäß verschiedener Dimensionen beurteilt werden kann, beispielsweise bezüglich intrinsischer Qualität, kontextueller Qualität oder der Qualität der Repräsentation oder Zugänglichkeit der Daten. Tendenziell kann durch eine größere Sensorbasis eine größere Datenqualität erzielt werden, die sich positiv auf die weiteren Verarbeitungsschritte auswirken kann.

#### **State Detection:**

Auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten wird ein aktueller Zustand festgestellt und bewertet. Die Modellbildung, d.h. das in Beziehung setzen vorhandener Informationen mit Schlussfolgerungen sowie die Interpretation und Bewertung der Zusammenhänge erfordern teilweise sowohl ein hohes Maß an Fachkenntnis (beispielsweise über relevante Produktionsprozesse) als auch über die benötigte algorithmische Datenverarbeitung und Analyse. Oft sind viele Untersuchungen und Adaptionszyklen notwendig, um den Zusammenhang mit der geforderten inhaltlichen Güte und statistischen Relevanz beschreiben zu können. Zur Reduktion der Komplexität wäre hier in gewissen Fällen eine Zerlegung des globalen Gesamtmodells in lokale Submodelle wünschenswert. Diese Modelle sollten in den Engineering Prozess integriert sein und über adaptive Eigenschaften verfügen, um sich ändernden Systemanforderungen gegenüber anpassen zu können. Die modellgenerierenden Algorithmen müssen autonom Daten verschiedenster Quellkonfigurationen verarbeiten können.

#### **Prognostic Assessment:**

Aufgrund der qualitativen und ggf. sogar quantitativen Kenntnis kann eine Prognose über die weitere Zustandsänderung im Zeitverlauf erstellt werden. Dabei können beispielsweise im Umfeld der Produktion Schäden, Verschleiß oder Abweichungen vom optimalen Prozesspfad bzw. der Produktqualität von Interesse sein.

#### **Advisory Generation:**

Aufgrund der Prognose können nun Handlungsempfehlungen generiert werden. Dazu müssen aus der potentiell unendlichen Menge möglicher Handlungen optimale nächste Handlungen bestimmt werden. Typischerweise ist hierzu ein hochdimensionales Optimierungsproblem zu lösen. Eine Handlungsempfehlung kann beispielsweise automatisiert im Produktionsprozess umgesetzt werden (zeitnahe/Echtzeit Prozesssteuerung) oder aber auch für andere Prozesse verfügbar gemacht werden (z.B. Ersatzteilmachbestellung).

Um eine statistisch hohe „Richtigkeit“ der Handlungsempfehlungen zu gewährleisten und damit auch die Glaubwürdigkeit der Handlungsempfehlungen sicherzustellen, besteht in diesem Bereich die Herausforderung in der Abschätzung der richtigen und notwendigen Handlungen.

Aus juristischer Sicht ist zu klären, wer auf welche Daten und in welcher Form Zugriff hat. Hat beispielsweise ein Maschinenbetreiber das Recht auf Einsicht aller beim Betrieb anfallenden Daten? Welche haftungstechnischen Konsequenzen können sich hieraus ergeben?

#### 5.5.4.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Es soll ein Kriterienkatalog für den Einsatz von Datenanalysen entwickelt werden, der die Umsetzung der folgenden Prinzipien ermöglicht:

- Zugriff auf Daten, ohne Kenntnisse über die konkrete (physische) Herkunft (Kapselung resp. Virtualisierung).
- Einbinden neuer Datenquellen über standardisierte Schnittstellen mittels Plug&Use Ansatz (Semantische Beschreibung)
- Nutzung der Daten in einem branchenübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerk
- Eine breite und kontinuierlich erweiterbare Prozessbasis soll erstellt werden, die die Ableitung neuer Anwendungsfälle erlaubt.
- Rechtssicherheit (Wer hat welche Rechte an welchen Daten und daraus resultierenden Erkenntnissen)

Dazu sollen Prinzipien entwickelt werden, die einer Softwarearchitektur und entsprechenden Schnittstellen die Auswertung mehrerer Datenströme im Sinne von Datenfusion auf einer Metaebene ermöglicht, ohne dass jeder Anwendungsfall individuell entwickelt werden muss.

- Modelle zur Beschreibung von Zuständen sollen entwickelt werden, die die Prädiktion zukünftiger Zustände ermöglichen.
- Verfahren und Algorithmen sollen entwickelt werden, die die stetig steigenden Datenmengen effektiv und effizient analysieren können.

#### 5.5.4.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?

- Die Einigung auf Prinzipien und Schnittstellen ermöglicht die Analyse von Daten (insbesondere großen Datenmengen in „Echtzeit“).
- Eine breite Datenbasis, die online generiert wird, ist die Voraussetzung für weitere, zukünftige Anwendungen, die über die ursprünglich beabsichtigten Modelle hinausgehen.
- Das Verständnis der rechtlichen Aspekte der Eigentums- und Besitzverhältnisse von Daten und ihren abgeleiteten Informationen sichert die Akzeptanz des Einsatzes von Datenanalysen und ermöglicht so die Entstehung neuer Geschäftsmodelle

#### 5.5.4.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

Relevant aus der Forschung sind neben dem Bereich descriptive-, predictive- und prescriptive analytics auch Erkenntnisse und Methoden aus den Bereichen Statistik, Optimierung, maschinelles Lernen und Entscheidungsunterstützung, Complex Event Processing, Big Data Mining und Streaming Analytics, Case-Based Reasoning und Data Fusion.

#### 5.5.4.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Die Forschung auf dem Thema "Datenanalyse" wird signifikant durch die Forschungsergebnisse zu den Themen "Methoden für Framework Wertschöpfungsnetze", "Sensornetze" und "Intelligenz, Flexibilität und Wandelbarkeit" beeinflusst. Die Forschungsergebnisse zum Thema "Datenanalyse" haben signifikanten Einfluss auf die Forschung zum Thema "Security, Privacy & Safety".

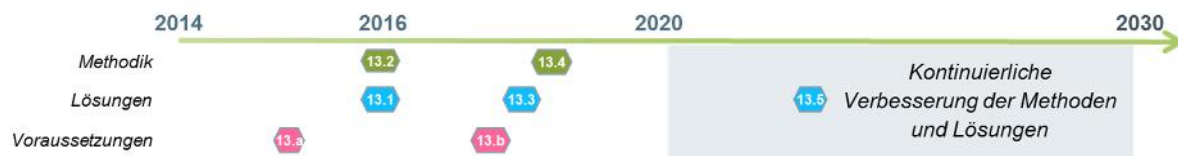
#### 5.5.4.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

- Hohe erwartete Kosten für die Erarbeitung der Technologiegrundlagen (insbesondere auch mangelndes Fachwissen)
- Hohe Komplexität auf der algorithmischen und mathematischen Ebene

- Ungeklärte rechtliche Rahmenbedingungen bezüglich Eigentumsrechten von Daten
- Mangelndes Vertrauen in die Sicherheit

### 5.5.4.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Meilensteine:



Methodik		
13.2	2016	Anwendungsleitfaden zur Nutzung von Datenanalyse im Umfeld der Produktion
13.4	2019	Analyse-Technologien zur online Anpassung und Optimierung von Produktionsprozessen
Lösungen		
13.1	2016	Technologien und Anwendungsbespiele für Datenanalyse
13.3	2018	Algorithmen zur dezentralen Datenanalyse (Fog-Computing), Amalgamation mit Cloud-Computing-Ansatz
13.5	2025	Dynamische Regelung komplexer Fertigungsprozesse, vertikale Integration mit betriebswirtschaftlichen Prozessen
Voraussetzungen		
13.a	2015	Juristische Klärung der Eigentums- und Verfügungsverhältnisse an den Daten
13.b	2017	Theoretische Grundlagen zu descriptive-, predictive- und prescriptive analytics

### 5.5.5 Syntax und Semantik für Industrie 4.0

#### 5.5.5.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Die Realisierung von Industrie 4.0-Szenarien setzt voraus, dass die beteiligten Objekte (wie z.B. Maschinen, Maschinenkomponenten, Produkte, und Ressourcen im Sinne der Digitalen Fabrik sowie allg. CPS) von den handelnden Subjekten (z.B. Menschen, Software-Werkzeugen, Software-Agenten, Leitsystemen (inkl. ERP/MES), Software-Diensten) interpretiert, d.h. identifiziert und verstanden werden können. Dafür müssen die jeweils relevanten Eigenschaften der Objekte in Form von Merkmalen in einem Modell und die Aufgaben der Objekte in Bezug auf Rollen beschrieben werden. Damit Industrie 4.0 Objekte und Subjekte ein gemeinsames Verständnis ihrer Eigenschaften haben, gibt es Informationsmodelle. Damit diese in Computern verarbeitet werden können, werden im Produktionsumfeld nach Epple [Epple 2009; Begriffliche Grundlagen der leittechnischen Modellwelt; Teil 2] (Daten-)Modelle, Modellsysteme, Erklärungsmodelle, Planungsmodelle sowie Komponentenmodelle benötigt.

Die Syntax beschreibt gültige Symbole, die zur Beschreibung von Dokumenten und Daten verwendet werden dürfen (z.B. Buchstaben, Ziffern, Sonderzeichen, graphische Symbole), und wie diese Zeichen korrekt miteinander zu Symbolketten verbunden werden

Die Semantik stellt eine Beziehung zwischen Symbolen und Modellen her, dadurch bekommen Symbolketten bzw. Daten eine Bedeutung, und aus Daten werden Informationen. Eine solche Beziehung ist z.B. die Vereinbarung, dass eine bestimmte Zeichenkette in einer Datei ein be-

stimmtes Merkmal eines Modells beschreibt, welche Attribute dieses Merkmals näher beschreiben und welche Ausprägungen diese Attribute haben dürfen. Zudem müssen auch die Interdependenzen zwischen den Merkmalen und den Attributen beschrieben werden.

Wichtige zu berücksichtigende Aspekte sind:

- Der Umfang der Verständigung (vom einzelnen Hersteller über die Community of Practice bis hin zu weltweit allen Betroffenen). Normen und Standards sind hierfür hilfreich. Der Weg dorthin kann unterschiedlich aussehen (initiale Standardisierung vs. evolutionäre Entwicklung von Standards aus der Anwendungspraxis heraus).
- Der Formalisierungsgrad der Festlegung von Syntax und Semantik (formal oder semiformal)
- Die IT-Vernetzung in nicht-hierarchischen, flexiblen Automatisierungsstrukturen

Konkret sind folgende Ergebnisse zu erarbeiten:

- Identifikation von Anforderungen an Daten und Informationsmodelle für Objekte und Subjekte, vorzugsweise durch Analyse von Industrie 4.0-Anwendungsfällen und -Wertschöpfungsketten
- Benennung von Normungslücken, basierend auf einem Abgleich von Normungs-Roadmap und Anwendungsfällen
- Integrationskonzepte in bestehende Kommunikationsstandards (z.B. OPC UA) und konzeptionelle Erweiterung existierender Software-Werkzeuge
- Ein wichtiger Aspekt ist die Formalisierung von einerseits Eigenschaften eines zu produzierenden Produkts sowie andererseits Fähigkeiten von Maschinen. Daneben muss formalisiert werden, über welche Fähigkeiten von Maschinen die geforderten Produkteigenschaften realisiert werden können, um auf dieser Basis Use-Cases wie die auftragsbasierte Steuerung der Produktion umsetzen zu können.

#### 5.5.5.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Ziel ist es, für Industrie 4.0- eine formale für Computer bearbeitbare Form der Beschreibung als gemeinsame Semantik zu entwickeln und damit auf Anwendungs- und Nutzungsebene eine domänenspezifische „Sprache“ zu spezifizieren, die alle Objekte, Subjekte und deren Verkettungen (also Prozesse, Kommunikations- und Wertschöpfungsnetzwerke) im Verbund nutzen können. Dabei gilt es die Durchgängigkeit von Informationsflüssen in und zwischen den Wertschöpfungsketten sicherzustellen und auf den erwähnten bestehenden Normen aufzusetzen, diese weiter zu entwickeln und erkannte Normungslücken zu schließen.

- Semantik und Syntax schaffen eine wesentliche Grundvoraussetzung für herstellerübergreifende Interoperabilität von Datenspeicherung, Datenübertragung und Datenverarbeitung (=Analyse).
- Genormte semantische Beschreibungen ermöglichen die Integration und Umsetzung von Industrie 4.0 in produktionstechnischen Systemen
- Dies schafft die Basis für selbstoptimierendes Verhalten (Verweis auf Steckbrief Flexibilität) und die Automatisierung von Wertschöpfungsketten (Verweis auf gleichnamigen Steckbrief)
- Dies ermöglicht die Einbindung von Modellen in den vollständigen Lebenszyklus (Beschreibung von Produkt-, Prozess und Ressource im Engineering)
- Mithilfe von Syntax und Semantik ist die Erstellung von generischen Werkzeugen/Tools und Funktionalitäten möglich, wie:
  - Industrie 4.0 Discovery Funktionen/Services

- Anreicherung von Produktmodellen (Instanzen) mit Realdaten (z.B. Pläne, Stücklisten, Prozess, Historie)
- Nutzung von Modellen durch viele Anwendungen
- Semantik und Syntax sind Voraussetzung für Plug&Produce Funktionalitäten im Rahmen von Industrie 4.0 und somit Flexibilität und Anpassbarkeit.

Die Herausforderung wird sein, einerseits rasch Ergebnisse bei der Ausgestaltung von Syntax und Semantik für Industrie 4.0 zu erzielen und gleichzeitig einen größtmöglichen Anwendungsbereich (im Sinne eines Industry Footprints) zu erreichen.

#### 5.5.5.3 Welche Voraussetzungen werden durch das Thema geschaffen?

Syntax und Semantik sind Voraussetzung für den Erfolg einer Vielzahl von Industrie 4.0 Forschungsthemen. An vorderster Stelle sind zu nennen:

- Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken/Wertschöpfungsketten
- Integration von realer und virtueller Welt
- Intelligenz/Flexibilität und Wandelbarkeit
- Datenanalyse
- Multimodale Assistenzsysteme.

#### 5.5.5.4 Welche Voraussetzungen werden dafür benötigt?

Forschungsfragestellungen zu Syntax und Semantik von Industrie 4.0-Objekten ergeben sich schwerpunktmäßig aus

- Ansätzen zur Abbildung der realen Welt auf digitale, wertschöpfungskettenübergreifende Planungs- und Beschreibungsmodelle (u.a. Vernetzung im/in das Engineering)
- der Formalisierung und Beschreibung der direkt und indirekt auf die globalen Ziele wirkenden Flexibilisierungs- und Wandlungsmöglichkeiten zukünftiger Produktionsprozesse und -systeme
- der Standardisierung der Schnittstellen und Fähigkeiten von Komponenten zum Aufbau einer flexiblen und wandelbaren Produktion sowie
- dem Ziel der „Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken“
- der Auswahl von Basistechnologien im Produktionsumfeld

Zukünftige Ergebnisse von Forschungsarbeiten zu diesen Themen sind bei der Forschung zu Syntax und Semantik von Industrie 4.0 ebenso zu berücksichtigen wie bereits vorhandene, in der praktischen Anwendung befindliche Festlegungen wie bspw. die Merkmalklassifikations-Systeme eCI@ss (IEC 61360, IEC 61987 usw.) und ProSTEP (ISO 10303).

#### 5.5.5.5 Abhängigkeit von anderen Forschungsthemen

Die Forschung auf dem Thema "Syntax und Semantik für Industrie 4.0" wird signifikant durch die Forschungsergebnisse zu den Themen "Integration von realer und virtueller Welt" und "Intelligenz, Flexibilität und Wandelbarkeit" beeinflusst. Und auch in der entgegengesetzten Richtung haben die Forschungsergebnisse zum Thema "Syntax und Semantik für Industrie 4.0" signifikanten Einfluss auf die Forschung zu den Themen "Integration von realer und virtueller Welt" und "Intelligenz, Flexibilität und Wandelbarkeit".

#### 5.5.5.6 Was steht der Verwirklichung entgegen?

- Fehlende Standards, Beschreibungssprachen (z.B. für Produkt- und Automatisierungsmodelle), Schnittstellen

- Abstimmungsbedarfe mit anderen Standardisierungsaktivitäten in den Bereichen Internet of Things und Internet of Services sowie Wechselwirkungen mit anderen Initiativen (Bspw. Industrial Internet Consortium)
- Historisch gewachsene, von Herstellern getriebene Festlegungen
- Investitionsschutz-Interessen von Anlagenbetreibern
- Marktdifferenzierungs-Interessen von Komponenten- und Lösungsanbietern

Zum Start, Ausstattung und Ausgestaltung der Forschungsthemen werden schnelle und schlanke Entscheidungsprozesse benötigt.

### 5.5.5.7 Wann kann das Ergebnis verfügbar sein?

Meilensteine:



Methodik		
14.8	2018	Anwendungsleitfaden im Hinblick auf den Umgang von Syntax und Semantik bei Industrie 4.0
Lösungen		
14.1	2015	Ist-Analyse der Standardisierung/Normung im Umfeld von Syntax und Semantik
14.2	2015	Ist-Analyse und Bewertung relevanter Konzepte im Umfeld von Syntax und Semantik
14.3	2016	Industrie 4.0-Anforderungskatalog zu Syntax und Semantik
14.4	2016	Benennung von Forschungsthemen auf Basis von Anwendungsfällen und Wertschöpfungsketten
14.5	2017	Normungslücken und Aufnahme entsprechender Standardisierungsbedarfe in Standardisierungs-/Normungs-Roadmaps
14.6	2018	Realisierung von ausgewählten Interoperabilitäts-Demonstratoren
14.7	2019	Integrationskonzepte in bestehende Kommunikationsstandards, konzeptionelle Erweiterung von Software-Werkzeugen
Voraussetzungen		
14.a	2015	Anforderungen an Daten und Informationsmodelle abgeleitet aus Anwendungsfällen und Wertschöpfungsketten

## 6 Die Abhängigkeiten und die Relevanz der Themen

Die verschiedenen Forschungsthemen stehen nicht für sich allein, sondern es ergeben sich Abhängigkeiten der Forschungsergebnisse untereinander. So beeinflussen neue Ergebnisse in einem Forschungsbereich die Forschung eines andern Bereiches. Die AG3 arbeitet zurzeit in Zusammenarbeit mit dem wissenschaftlichen Beirat an einer Analyse der gegenseitigen Beeinflussung und der Relevanz der Themen. Dabei werden die Methoden der Szenariofeld-Analyse nach Prof. Gausemeier<sup>2</sup> angewendet.

<sup>2</sup> Jürgen Gausemeier, Christoph Plass, Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung, Auflage 2, Carl Hanser Verlag, München 2014, Seite 43 ff.

Entsprechend dieser Methode bestimmt man als erstes die Einflussfaktoren, die in diesem Fall durch die Auswahl der Forschungsthemen geben sind. Ziel der Szenariofeld-Analyse ist die Identifikation der relevanten bzw. besonders prägenden Themen im Sinne von Einflussfaktoren. Für die Analyse der Forschungsthemen wurden zunächst nur die direkten Einflüsse mit Hilfe einer Einflussmatrix (siehe Abbildung) untersucht. In dieser Matrix werden die folgenden zwei Fragen zu jedem Forschungsthema beantwortet:

1. Welchen Einfluss haben die Forschungsergebnisse des gegebenen Themas auf die auf die Forschung der jeweils anderen Themen? (Bestimmung der Aktivsumme)
2. Wie beeinflussen die Forschungsergebnisse der jeweils anderen Themen das eigene Forschungsthema? (Bestimmung der Passivsumme)

Szenariofeld-Analyse Industrie 4.0																	
nach Prof. Gausemeier																	
Version 2.4 - März 2015 (konsolidiert AG3)																	
Einflussmatrix  Fragestellung: Wie stark beeinflusst der Faktor i (Zeile) den Faktor j (Spalte)?  Bewertung: 0 = keinen Einfluss 1 = schwacher Einfluss 2 = mittlerer Einfluss 3 = starker Einfluss	Themen	(1) Methoden für neue Geschäftsmodelle	(2) Methoden für Framework Wertschöpfungsnetzwerke	(3) Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken	(4) Integration von realer und virtueller Welt	(5) Systems Engineering	(6) Sensornetze	(7) Intelligenz, Flexibilität und Wandelbarkeit	(8) Multimodale Assistenzsysteme	(9) Technologieakzeptanz und Arbeitsgestaltung	(10) Netzkommunikation für Industrie 4.0-Szenarien	(11) Mikroelektronik	(12) Security, Privacy & Safety	(13) Datenanalyse	(14) Syntax und Semantik für Industrie-4.0	Aktivsumme	Rang
	Themen	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
(1) Methoden für neue Geschäftsmodelle	1		2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	6	14
(2) Methoden für Framework Wertschöpfungsnetzwerke	2	1		3	1	1	0	3	1	1	1	0	2	3	1	18	3
(3) Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken	3	0	1		0	2	0	2	1	2	1	0	1	2	2	14	8
(4) Integration von realer und virtueller Welt	4	0	0	2		3	1	2	2	0	0	0	0	2	3	15	6
(5) Systems Engineering	5	0	0	1	2		2	2	0	0	1	0	1	1	2	12	11
(6) Sensornetze	6	1	1	2	0	2		1	1	1	3	2	2	3	1	20	1
(7) Intelligenz , Flexibilität und Wandelbarkeit	7	0	1	2	0	3	2		0	1	1	1	3	3	3	20	1
(8) Multimodale Assistenzsysteme	8	1	0	1	1	1	1	1		2	1	0	1	0	1	11	12
(9) Technologieakzeptanz und Arbeitsgestaltung	9	1	0	1	1	1	0	1	1		0	0	1	0	0	7	13
(10) Netzkommunikation für Industrie 4.0-Szenarien	10	0	1	0	0	1	3	1	1	0		3	3	1	1	15	6
(11) Mikroelektronik	11	0	0	1	0	2	3	0	2	0	3		2	1	0	14	8
(12) Security; Privacy & Safety	12	1	1	2	0	2	2	2	0	0	3	2		1	2	18	3
(13) Datenanalyse	13	1	1	1	0	2	0	1	1	1	0	0	3		2	13	10
(14) Syntax und Semantik für Industrie-4.0	14	0	0	2	3	1	0	3	1	1	1	0	2	2		16	5
<b>Passivsumme</b>		6	8	19	8	21	14	19	11	10	15	8	22	20	18		
<b>Rang</b>		14	11	4	11	2	8	4	9	10	7	11	1	3	6		

Einflussmatrix für die Forschungsthemen – Ergebnisse der AG3, Stand März 2015

Bewertet wird der Einfluss mit einer Werteskala von 0 bis 3 (0 = keinen Einfluss, 1 = schwacher Einfluss, 2 = mittlerer Einfluss, 3 = starker Einfluss).

Die Abbildung stellt das aktuelle Ergebnis vor, das die aktuellen Arbeiten einschließlich eines zweitägigen Workshops der AG3 im Januar 2015 widerspiegelt. In dem Workshop wurden basierend auf den zuvor von den Mitgliedern der AG3 individuell erstellten Bewertungen und deren statistischer Auswertung die Themen hinsichtlich ihrer jeweilige Einflüsse noch einmal intensiv besprochen und anschließend eine konsolidierte Bewertung durchgeführt. Diese führte in der Folge zu einer weiteren Präzisierung der Steckbriefe.

Seitens des wissenschaftlichen Beirats werden weitere Bewertungen einfließen. Zusätzlich sollen dann auch noch die Ergebnisse einer bereits begonnen Relevanz-Analyse, die auf dem paarweisen direkten Vergleich der Wichtigkeit jeweils zweier Themen beruht, einfließen.

Auf diese Weise wird ein konsolidiertes Ergebnis erwartet, das im Laufe des Jahres veröffentlicht wird. Allerdings lässt sich jetzt schon feststellen, dass Forschungsergebnisse der folgenden Themen großen Einfluss auf die jeweils anderen Forschungsergebnisse haben werden:

- „Flexibilität, Intelligenz und Wandelbarkeit“
- „Sensornetzwerke“
- „Framework Wertschöpfungsnetzwerke“
- „Security, Privacy & Safety“

## 7 Ausblick

Die bisherige Arbeit der Arbeitskreise der Plattform Industrie 4.0 am Zukunftsprojekt Industrie 4.0 hat gezeigt, dass der Weg hin zu Industrie 4.0 fähigen Systemen aus einer aktuellen Handlungsperspektive mit verfügbaren Technologien über einen Migrationsweg hin zum Leitbild Industrie 4.0 verlaufen wird.

In der Arbeitsgruppe „Forschung und Innovation“ wurden die elementaren Handlungsfelder für Forschung, Entwicklung und Innovation beschrieben und mit Blick auf ihren FuE-Bedarf, ihre Chancen und Risiken, die Wechselwirkung untereinander und ihre Priorisierung dokumentiert. Naturgemäß ist auch diese Whitepaper-Version eine Momentaufnahme und muss kontinuierlich weiterentwickelt werden.

Die vorgeschlagenen FuE-Themen sollten im nächsten Schritt an Use Cases gemessen werden, von denen einige derzeit entwickelt und in Demonstratoren umgesetzt werden. Die Kernfragen lauten:

- aus Sicht der Steckbriefe: Liefern die Ergebnisse der FuE-Themen Beiträge zur Verwirklichung der Use Cases?
- aus Sicht der Use Cases: Sind alle Voraussetzungen zur Verwirklichung der Use Cases vorhanden?

Die Arbeitsgruppe sieht das vorliegende Whitepaper auch als einen Beitrag zur inhaltlichen Gestaltung zukünftiger Förderaktivitäten, die durch den Bund, die EU, aber auch durch die Regionen zielgerichtet und abgestimmt zu unterstützen sind. Unabdingbar für eine solche Abstimmung scheint nicht nur ein umfassender Überblick über bereits laufende FuE-Projekte, wie er bereits durch BMBF und BMWi geliefert wurde, sondern auch ihre Bewertung auf tatsächliche Industrie 4.0-Relevanz.

Die Förderung durch Bund und Länder sollte aber nicht nur FuE-Projekte, sondern auch breite Transferaktivitäten umfassen. Zentrale Anlaufstellen für solche Transferaktivitäten wären Industrie 4.0 Demonstrationszentren. Solche Zentren kann es in unterschiedlichen Ausprägungen geben: „Industrie-Demonstratoren“ sollten im vorwettbewerblichen Umfeld konkrete, prin-



ziell wirtschaftlich realisierbare Lösungen und Produkte als Use Cases demonstrieren können, bei Betonung des wirtschaftlichen Mehrwerts und des Kundennutzens. „Transfercluster“ könnten auf übergreifende Industrie 4.0-Szenarien und -Konzepte fokussieren und in Netzwerken mit Partnern aus unterschiedlichen Branchen Umsetzungen erproben. Die Plattform Industrie 4.0 hat generelle Anforderungen an Demonstrationszentren und Transfercluster diskutiert. Die Arbeitsgruppe „Forschung und Innovation“ wird diese detaillieren und weiterentwickeln

Die Förderung von Transferaktivitäten bedingt einen weiter gefassten Förderfokus, der neben der reinen vorwettbewerblichen Forschungsperspektive auch den Transfer von Technologien in die produktnahe Umsetzung ohne große bürokratische Hürden zulässt, um kleine und mittelständische Unternehmen zu unterstützen. Konkrete Beispiele hierzu lassen sich beispielsweise im Spitzencluster „it's OWL“ unter den Transferprojekten finden.

Die Arbeitsgruppe stellt mit den vorgetragenen Empfehlungen in den Steckbriefen die praktische Umsetzung zur Erreichung der Ziele von Industrie 4.0 durch Forschung, Entwicklung und Innovation in den Vordergrund. Es wird eine kontinuierliche Aufgabe sein, die Wirkung, Akzeptanz und Aktualität der Empfehlungen zu prüfen und ggf. neu zu bewerten. Die Abhängigkeiten zwischen den elementaren Handlungsfeldern und ihre zeitlichen Perspektiven sind ebenso zu berücksichtigen wie die sich durch den Markt schnell ändernden Anforderungen an die Sicherheit (Security), Geschäftsmodelle, IT Technologien und Dynamik von Automatisierungssystemen im Zusammenspiel mit dem Menschen und seiner Umwelt.

In allen Fällen werden sich neue oder ändernde Forschungsbedarfe abbilden, die die Arbeitsgruppe der Plattform Industrie 4.0 weiterhin mit den betroffenen Ministerien, Gremien, Arbeitskreisen, der Wissenschaft und der Öffentlichkeit offen diskutiert, um in einem konstruktiven Dialog die Umsetzung des Leitbildes und die Basis für einen Leitmarkt Industrie 4.0 durch Forschung und Innovation aktiv zu gestalten.

## 8 Impressum

Veröffentlichung der Plattform Industrie 4.0 in Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftlichen Beirat.

Mitglieder der Arbeitsgruppe „Forschung und Innovation“:

- Dr. Bernhard Diegner (ZVEI e.V.)
- Johannes Diemer (Hewlett Packard GmbH)
- Dr. Mathias Dümmler (Infineon Technologies AG)
- Stefan Erker (Huber + Suhner GmbH)
- Prof. Dr. Alexander Fay (Helmut-Schmidt Universität Hamburg)
- Dr. Werner Herfs (RWTH Aachen, WZL - Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen)
- Claus Hilger (HARTING IT Services GmbH & Co. KG)
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jasperneite (Institut für industrielle Informationstechnik / inIT, Hochschule OWL, Lemgo und Fraunhofer IOSB-INA)
- Johannes Kalhoff (Phoenix Contact GmbH & Co. KG)
- Prof. Dr. Uwe Kubach (SAP AG)
- Dr. Ulrich Löwen (Siemens AG)
- Georg Menges (NXP Semiconductors Germany GmbH)
- Dr. Jan Stefan Michels (Weidmüller Interface GmbH & Co. KG)
- Frank Mildner (Deutsche Telekom AG)
- Mathias Quetschlich (MAN Truck & Bus AG)
- Ernst-Joachim Steffens (Deutsche Telekom AG)
- Dr. Thomas Stiedl (Robert Bosch GmbH)

Wir danken dem Wissenschaftlichen Beirat für konstruktive Anregungen.