

Umsetzungsstrategie Industrie 4.0

Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0

April 2015



Impressum

Plattform Industrie 4.0 (2013-2015)
ist ein gemeinsames Projekt der Verbände
BITKOM e.V., VDMA e.V. und ZVEI e.V.

Herausgeberkreis

BITKOM e.V.
Bundesverband Informationswirtschaft,
Telekommunikation und neue Medien e. V.
Albrechtstraße 10
10117 Berlin-Mitte

Tel.: 030.27576-0
bitkom@bitkom.org
www.bitkom.org

VDMA e.V.
Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt am Main

Tel.: 069.6603-0
zvei@zvei.org
www.vdma.org

ZVEI e.V.
Zentralverband Elektrotechnik- und
Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Tel.: 069.6302-0
kommunikation@vdma.org
www.zvei.org

Koordination, Redaktion und Lektorat

Wolfgang Dorst, BITKOM e.V.

Layout und Satz

Astrid Scheibe, BITKOM e.V.

Grafiken

Astrid Scheibe, BITKOM e.V.

Druck

Kehrberg Druck Produktion Service

Bildnachweise

Abbildung 17: Bildquelle: Mensch als Dirigent der Wertschöpfung: FESTO AG & Co. KG;
Abbildung 22: Bildquelle Maschine: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Klemmenblock: PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse links: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse rechts: FESTO AG & Co. KG; Abbildung 24 und 31: Bildquelle Maschine1 und 2: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Klemmenblock: PHOENIX CONTACT GmbH; Abbildung 25: Bildquelle Elektr. Achse links: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse rechts: FESTO AG & Co. KG; Abbildung 26: Bildquelle Sensor: Pepperl+Fuchs GmbH, Bildquelle Steuerung: Bosch Rexroth AG, Bildquelle Elektr. Achse links: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse rechts: FESTO AG & Co. KG; Abbildung 27: Bildquelle Auslegung: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Handbücher links: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Handbücher rechts: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse, Mitte 1: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse, Mitte 2: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse, Mitte 3: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse, Mitte 4: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse, unten 1: Pepperl+Fuchs GmbH, Bildquelle Elektr. Achse, unten 2: FESTO AG & Co. KG; Abbildung 28: Bildquelle Maschine: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Klemmenblock: PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse links: FESTO AG & Co. KG, Bildquelle Elektr. Achse rechts: FESTO AG & Co. KG.

Veröffentlicht April 2015

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung in der an dem Projekt „Plattform Industrie 4.0“ beteiligten Verbänden und Unternehmen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen.

Das Werk ist einschließlich aller seiner Teile durch das Urheberrechtsgesetz geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich durch das Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der Herausgeber. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.



Inhalt

1	Vorwort	6
2	Übergreifende Darstellung Industrie 4.0	8
2.1	Definition Industrie 4.0	8
2.2	Strategie und Ziele	8
2.3	Nutzen	9
2.4	Wettbewerb	10
3	Thesen des Wissenschaftlichen Beirates	12
4	Umsetzungstrategie Industrie 4.0	15
5	Forschung und Innovation	18
5.1	Einleitung	18
5.2	Themenfeld: Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke	19
5.2.1	Methoden für neue Geschäftsmodelle	19
5.2.2	Framework Wertschöpfungsnetzwerke	20
5.2.3	Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken	21
5.3	Themenfeld: Durchgängigkeit des Engineerings über den gesamten Lebenszyklus	23
5.3.1	Integration von realer und virtueller Welt	23
5.3.2	Systems Engineering	25
5.4	Themenfeld: Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme	26
5.4.1	Sensornetze	26
5.4.2	Intelligenz – Flexibilität – Wandelbarkeit	28
5.5	Themenfeld: Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit	29
5.5.1	Multimodale Assistenzsysteme	29
5.5.2	Technologieakzeptanz und Arbeitsgestaltung	31
5.6	Themenfeld: Querschnittstechnologien für Industrie 4.0	32
5.6.1	Netzkommunikation für Industrie 4.0-Szenarien	32

5.6.2	Mikroelektronik	34
5.6.3	Safety & Security	35
5.6.4	Datenanalyse	36
5.6.5	Syntax und Semantik für Industrie 4.0	37
5.7	Die Abhängigkeiten und Relevanz der Themen	38
6	Referenzarchitektur, Standardisierung, Normung	40
6.1	Einleitung	40
6.2	Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)	41
6.2.1	Anforderungen und Ziele	41
6.2.2	Kurzbeschreibung des Referenzarchitekturmodells	42
6.2.3	Die Schichten des Referenzarchitekturmodells (Layers)	43
6.2.4	Lebenszyklus und Wertschöpfungskette (Life Cycle & Value Stream)	45
6.2.5	Hierarchieebenen (Hierarchy Levels)	46
6.3	Referenzmodell für die Industrie 4.0-Komponente	47
6.3.1	Einordnung in die Diskussion zu Industrie 4.0	47
6.3.2	Relevante Materialien aus anderen Arbeitskreisen	48
6.3.3	Die "Industrie 4.0-Komponente"	50
6.4	Standardisierung und Normung	63
6.4.1	Hintergrund	63
6.4.2	Standardisierung und Normung als Innovationstreiber	64
6.4.3	Zusammenarbeit Standardisierungs- und Normungsgremien	65
6.4.4	Schlussfolgerungen	68
6.5	Themenroadmap	69
7	Sicherheit vernetzter Systeme	71
7.1	Einleitung	71
7.2	Annahmen, Hypothesen und Voraussetzungen	73
7.3	Bedrohungswelt Industrie 4.0	76
7.3.1	Werte in den Unternehmen	77
7.3.2	Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit	77

7.3.3	Safety als Zielscheibe	78
7.3.4	Integrität	78
7.3.5	Vertraulichkeit	79
7.3.6	Manipulation (beabsichtigt und unbeabsichtigt)	79
7.3.7	Identitätsdiebstahl	80
7.4	Schutzziele für Industrie 4.0 und Security-Anforderungen	80
7.4.1	Generelle Schutzziele	81
7.4.2	Security-by-Design für Industrie 4.0.	81
7.4.3	Identitätsmanagement	82
7.4.4	Dynamische Konfigurierbarkeit der Wertschöpfungsnetzwerke	82
7.4.5	Sicherheit für die virtuelle Instanz	83
7.4.6	Prävention und Reaktion	83
7.4.7	Awareness, Ausbildung, Weiterbildung	84
7.4.8	Handhabung	84
7.4.9	Standards und Vorgaben	84
7.5	Exemplarische IT Sicherheitsmaßnahmen	85
7.5.1	Security-Architektur	85
7.5.2	Identitätsmanagement	87
7.5.3	Kryptografie – Vertraulichkeitsschutz	88
7.5.4	Kryptografie – Integritätsschutz	88
7.5.5	Sicherer Fernzugriff und häufige Aktualisierungen	89
7.5.6	Prozesse und organisatorische Maßnahmen	90
7.5.7	Awareness	91
7.5.8	Unternehmensweite Abdeckung	91
7.6	Ausblick und Forderungen	92
8	Anhang	95
8.1	Literaturverzeichnis	95
8.2	Glossar Industrie 4.0	95
8.3	Autorenteam	96

Vorwort



1 Vorwort

Physische und virtuelle Welt wachsen zunehmend zusammen. Immer mehr physische Objekte verfügen über intelligente Sensor- und Aktor-Technologie und werden durch die Entwicklung des Internets der Dinge vernetzt. Die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit mittels Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten, löst die nächste Stufe der industriellen Revolution aus, die als Industrie 4.0 bezeichnet wird. Dies wird evolutionäre Auswirkungen auf die Technologien, aber revolutionäre Auswirkungen auf existierende Geschäftsprozesse haben und neue Geschäftsmodelle ermöglichen. Dabei steht die Optimierung der folgenden industriellen Kernprozesse im Fokus: Entwicklung, Produktion, Logistik und Service.

Die vorliegende Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 wurde durch die Plattform Industrie 4.0 (organisiert über die Verbände BITKOM, VDMA, ZVEI) und in Zusammenarbeit mit den Unternehmen der Deutschen Industrie sowie weiteren Verbänden erarbeitet. Sie sichert damit die Zukunftsfähigkeit des Standorts Deutschland und seiner Industrie.

Wesentliche Kernbausteine für Industrie 4.0 werden in Kapitel 4 beschrieben. Aufsetzend werden in dem Kapitel 5 „Forschung und Innovation“ wichtige Forschungsbedarfe abgeleitet und in Form von Forschungsroadmaps und Steckbriefen beschrieben. Die Forschungsroadmaps bieten eine gute Orientierung für eine sinnvolle Weiterentwicklung des Themas Industrie 4.0 mittels geeigneter Maßnahmen und Förderinstrumente durch Politik und Unternehmen (Spitzencluster, Demo-Labs, Demo-Anlagen, Demo-Fabriken, usw.).

Ein Referenzarchitektur-Modell für Industrie 4.0 (kurz RAMI 4.0) wird in Kapitel 6 vorgestellt. Darin werden die Industrie 4.0-Komponenten in ihrem Aufbau und ihrer Arbeitsweise definiert. Wo es sinnvoll ist, setzen Teile des Referenzarchitektur-Modells und der Industrie 4.0-Komponenten auf bestehende und relevante Normen auf, um schneller handlungsfähig zu sein. Wo notwendig wurden in der Umsetzungsstrategie zusätzliche identifizierte Standardisierungsbedarfe identifiziert und beschrieben.

Aufgrund der zunehmenden Vernetzung und Steuerbarkeit von physischen Objekten und der gleichzeitig steigenden Bedrohungslage durch Hacker, Geheimdienste, Spionage etc. ergeben sich besondere Sicherheitsanforderungen. Diese werden im Kapitel 7 umrissen.

Die Umsetzungsstrategie wendet sich an Leser aus der deutschen Industrie, den relevanten technologieorientierten Branchen, der Forschung und der Politik. Im Besonderen sind Führungskräfte, Fachkräfte und Berater angesprochen sowie alle Personen, die an einem Zukunftsbild der Industrie 4.0 in Deutschland interessiert sind oder dieses mitgestalten wollen.

Übergreifende Darstellung Industrie 4.0



2 Übergreifende Darstellung Industrie 4.0

2.1 Definition Industrie 4.0

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 den 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 beispielsweise Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.

2.2 Strategie und Ziele

Die Industrieverbände BITKOM, VDMA und ZVEI hatten zur Fortführung der Aktivitäten der Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft und zur Sicherung eines koordinierten und branchenübergreifenden Vorgehens die gemeinsame Initiative Plattform Industrie 4.0 etabliert. Das wichtigste Ziel der Plattform Industrie 4.0 ist es die Vision Industrie 4.0 durch die Verbände BITKOM, VDMA und ZVEI in Richtung Industrie voranzutreiben. Damit soll Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort gesichert und ausgebaut werden.

Der Abschlussbericht der Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft zu Industrie 4.0 vom April 2013 beschreibt Umsetzungsempfehlungen [3], erläutert Forschungsbedarfe und nennt acht Handlungsfelder, die hier – ergänzt um einen Nutzenaspekt – zur Darstellung der Ausgangslage aufgelistet werden:

1. Standardisierung, Offene Standards für eine Referenzarchitektur
Ermöglicht firmenübergreifende Vernetzung und Integration über Wertschöpfungsnetzwerke.
2. Beherrschung komplexer Systeme
Nutzen von Modellen zur Automatisierung von Tätigkeiten und einer Integration der digitalen und realen Welt.
3. Flächendeckende Breitband-Infrastruktur für die Industrie
Sicherstellung der Anforderungen bei Industrie 4.0 an den Datenaustausch bzgl. Volumen, Qualität und Zeit.
4. Sicherheit
Das Ziel ist hier die Gewährleistung der Betriebssicherheit (engl. Safety), des Datenschutzes (engl. Privacy) und der IT-Sicherheit (engl. Security).
5. Arbeitsorganisation und Arbeitsplatzgestaltung
Klärung der Implikationen für den Menschen und Arbeitnehmer als Planer und Entscheider in den Industrie 4.0 Szenarien.
6. Aus- und Weiterbildung
Formulierung der Inhalte und innovativer Ansätze für die Aus- und Weiterbildung.
7. Rechtliche Rahmenbedingungen
Das Ziel ist die Schaffung erforderlicher – möglichst europaweit einheitlicher – rechtlicher Rahmenbedingungen für Industrie 4.0 (Schutz digitaler Güter, Vertragsrecht bei zwischen Systemen geschlossenen Verträgen, Haftungsfragen, ...).
8. Ressourceneffizienz
Verantwortungsvoller Umgang mit allen Ressourcen (personelle und finanzielle Ressourcen sowie Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe) als Erfolgsfaktor für die zukünftige industrielle Produktion.

Damit die Transformation der industriellen Produktion hin zu Industrie 4.0 gelingt, wird in Deutschland eine duale Strategie verfolgt:

- y Die deutsche Ausrüsterindustrie soll weiterhin führend auf dem Weltmarkt bleiben, indem sie durch das konsequente Zusammenführen der Informations- und Kommunikationstechnologie mit ihren klassischen Hochtechnologieansätzen zum Leitanbieter für intelligente Produktionstechnologien wird. Neue Leitmärkte für CPS-Technologien¹ und -Produkte sind zu gestalten und zu bedienen.
- y Gleichzeitig gilt es, die Produktion in Deutschland durch effiziente und die Ressourcen schonende Produktionstechnologien attraktiv und wettbewerbsfähig weiter zu entwickeln. Ziel ist der Ausbau der Wettbewerbsvorteile von Unternehmen in Deutschland, die durch die räumliche Nähe und aktive Vernetzung der Anwender und Hersteller durch das Internet entsteht. Automatisierungs-, Prozess- und Produktionstechnik in Deutschland haben von dieser Strategie gleichermaßen Vorteile.
- y Der Weg zu Industrie 4.0 ist ein evolutionärer Prozess. Es bedarf der Weiterentwicklung der vorhandenen Basistechnologien um die Erfahrungen und Besonderheiten der Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette zu erreichen. Die Umsetzung neuer Geschäftsmodelle über Dienste im Internet hat disruptiven Charakter. Erfolgreiche Unternehmen mit guten Produkten oder Dienstleistungen sowie wachsender Nachfrage in ihren Absatzmärkten sollen hohen Bereitschaft zu disruptiven Veränderungen entwickeln. Und zwar bei der Weiterentwicklung bestehender Prozesse im Unternehmen und bei der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle.

¹ Definition aus den Umsetzungsempfehlungen [3]: Cyber-Physical Systems (CPS): CPS umfassen eingebettete Systeme, Produktions-, Logistik-, Engineering-, Koordinations- und Managementprozesse sowie Internetdienste, die mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken, mittels digitaler Netze untereinander verbunden sind, weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen und über multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen. Cyber-Physical Systems sind offene soziotechnische Systeme und ermöglichen eine Reihe von neuartigen Funktionen, Diensten und Eigenschaften.

2.3 Nutzen

Der Nutzen für die entlang der Wertschöpfungskette Beteiligten ist vielfältig. Die Fähigkeit auf individualisierte Kundenwünsche einzugehen wird verbessert und die Produktion von Einzelstücken und Kleinstmengen wird rentabler. Die Flexibilisierung schreitet durch die dynamische Gestaltung der Geschäftsprozesse über das Internet in unterschiedlichen Dimensionen sowie agilen Engineering-Prozessen voran. Aufgrund der Informationen, die Industrie 4.0 zusammen mit zum Beispiel Big Data, Social Media, und Cloud Computing bereitstellt, werden eine optimierte Entscheidungsfindung, eine frühzeitige Absicherung von Entwurfsentscheidungen und eine flexible Reaktion auf Störungen, sowie die standortübergreifende globale Optimierung aller Ressourcen ermöglicht.

Die Produktionseffizienz wird sich steigern – einerseits durch Erhöhung der Produktivität, andererseits durch effizientere Nutzung von Ressourcen (Maschinen, Energie etc.).

Es ergeben sich neue Potenziale durch neue Formen von Wertschöpfung und Beschäftigung, zum Beispiel durch nachgelagerte Dienstleistungen, also den Services, die komplementär zum eigentlichen Produkt dem Anwender angeboten werden können, nachdem das Produkt die Produktionseinrichtung verlassen hat.

Auch für die Gestaltung der Arbeit unter Berücksichtigung des demografischen Wandels ergeben sich Vorteile. So ist die Unterstützung der körperlichen Möglichkeiten sowie der kognitiven Fähigkeiten ein entscheidender Mehrwert von Industrie 4.0-Konzepten. Um in wissensbasierten Unternehmen mit hohem Ausbildungsstand das Wissen und die Erfahrung der Mitarbeiter zu erhalten, sind durch Industrie 4.0 für die Personalentwicklung flexible und vielfältige Laufbahnmodelle neben der Führungslaufbahn vor allem Fachlaufbahnen möglich. Durch Soziale Medien werden Produktionsplanung und Arbeitszeitgestaltung flexibler. Die Auslastung im Produktionsprozess wird optimiert und Ressourcen werden besser genutzt. Zudem kann man auch kurzfristig auf Kundenwünsche reagieren. Nicht zuletzt können Mitarbeiter durch die stärkere Einbindung in die Personaleinsatzplanung, ihre Arbeit besser mit Familie und Freizeit in Einklang bringen.

Industrie 4.0 stärkt die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands als Hochlohnstandort, ermöglicht die Positionierung der Unternehmen als Leitanbieter und lässt Deutschland zum Leitmarkt für Industrie 4.0-Lösungen werden.

Mit unserem Wissen in Deutschland im Industriesektor haben wir einen Vorsprung – sei es bei den führenden Unternehmen, sei es bei dem gut aufgestellten KMU-Bereich, sei es bei den Lieferanten von Industrie-Automatisierung, sei es bei IT-Unternehmen, sei es bei dem Werkzeug-/Maschinen-Bau – um nur einige zu nennen.

2.4 Wettbewerb

Die Vision Industrie 4.0 setzt eine sichere Kommunikation und Kooperation aller Teilnehmer firmenübergreifend in Echtzeit für die gesamte Lebenszeit des Produktes voraus, die durch Internet-basierte Plattformen ermöglicht werden soll. Auf diesen digitalen Plattformen bauen neue, innovative Wertschöpfungsketten auf, die den Nutzen von Industrie 4.0 erbringen.

Für die Aufgabe, diese firmenübergreifende sichere „horizontalen“ Kommunikations- und Kooperations-Plattformen im vorwettbewerblichen Bereich gemeinsam zu definieren und samt allen Randbedingungen und weiteren Forschungsbedarfen festzulegen, wurde die Initiative Plattform Industrie 4.0 ins Leben gerufen.

Aber dies ist nicht alles, auch durch die mögliche Durchgängigkeit von Produkt-Produktion-Service mit einem jeweiligen virtuellen Abbild der physikalischen Welt und deren Simulation sind neue Technologien in Entwicklung.

Ferner ergeben sich mit einer verbesserten vertikalen Kommunikation, neue Möglichkeiten der sinnvollen und sicheren Nutzung von Technologien des „Internets der Dinge“ in der Produktion.

Die Industrieunternehmen der Plattform Industrie 4.0, der Wissenschaftliche Beirat und die Trägerverbände BITKOM, VDMA und ZVEI haben in technisch orientierten Arbeitsgruppen gemeinsam notwendige oder geeignete Standards für ein Modell einer oder mehrerer Referenzarchitekturen evaluiert, notwendige Rahmenbedingungen aufgezeigt und lohnende Forschungsfelder benannt. Auf der Basis des in der Plattform Industrie 4.0 erstellten Orientierungswissens können einzelne Unternehmen aus eigener Entscheidung, ausserhalb der Verbändeplattform neue Wertschöpfungsketten und innovative Geschäftsmodelle anbieten, die im Wettbewerb zueinander im Markt stehen.

Die Plattform Industrie 4.0 stimmt sich regelmässig mit relevanten Gremien und Vereinigungen ab, die in vergleichbaren Themen engagiert sind und für einzelne Arbeitspunkte der eigenen Arbeit in der Verbändeplattform relevant sind. Die Abstimmung erfolgt über benannte und entsprechend beauftragte Mitglieder.

Thesen des Wissenschaftlichen Beirates



3 Thesen des Wissenschaftlichen Beirates

Der Wissenschaftliche Beirat berät die Plattform Industrie 4.0 in allen wissenschaftlichen und programmatischen Forschungsfragen im engen Austausch mit der Begleitforschung. Im Beirat aktiv sind 16 Professorinnen und Professoren aus den Fachbereichen Produktion und Automatisierung, Informatik sowie Jura und Arbeitssoziologie.

Zur Hannovermesse 2014 (Stand 3. April 2014) hat der Wissenschaftliche Beirat seine Thesen veröffentlicht [12], die über die Webseite der Plattform öffentlich verfügbar sind. Die nachfolgend zitierten Thesen sind in die Abschnitte Mensch, Technik und Organisation strukturiert:

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 soziotechnisches 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 Atefakte – vermitteln dem Nutzer ihre Funktionalität automatisch.

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.

Organisation

14. Neue und etablierte Wertschöpfungsnetze mit Mehrwert integrieren Produkt, Produktion und Service und ermöglichen die dynamische Variation der Arbeitsteilung.
15. Zusammenarbeit und Wettbewerb (Competition) 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.

In einem von der Plattform ebenfalls zur Hannovermesse 2014 veröffentlichten „Whitepaper FuE Themen“ werden die, für die Umsetzung der Thesen notwendigen, verschiedenen Themenfelder bezüglich ihrer Inhalte und Ziele vorgestellt. Weiterhin wird ein grober Zeitplan für die Bearbeitung der Themenfelder gezeigt. Themenfelder und Zeitplan (siehe Kapitel 4 und 5) sind in die Arbeit der Plattform Arbeitsgruppen eingeflossen.

Umsetzungstrategie Industrie 4.0



4 Umsetzungstrategie Industrie 4.0

Zur Stärkung des Wirtschaftsstandortes Deutschland hat die „Plattform Industrie 4.0“ das Ziel eine Umsetzungsstrategie für Industrie 4.0 zu erarbeiten. Dazu wird einerseits in einem branchenübergreifenden Ansatz an Konzepten für Technologie, Standards, Geschäfts- und Organisationsmodellen gearbeitet, andererseits ein Schulterschluss zwischen Universitäten, Forschungseinrichtungen mit KMU und Industrieunternehmen geschlossen, der auch die praktische Umsetzung vorantreibt.

Durch Industrie 4.0 entstehen neue Wertschöpfungsketten und -netzwerke, die durch die weiter zunehmende Digitalisierung automatisiert werden. Als wichtige Kernbausteine, siehe Abbildung, werden entsprechend die Bereiche:

- y Forschung und Innovation,
- y Referenzarchitektur, Standardisierung und Normung sowie
- y Sicherheit vernetzter Systeme

gesehen, die in spezifischen Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0 bearbeitet werden. Hinzu kommt:

- y die Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen.

Digitalisierung von Wertschöpfungsketten / -netzwerken

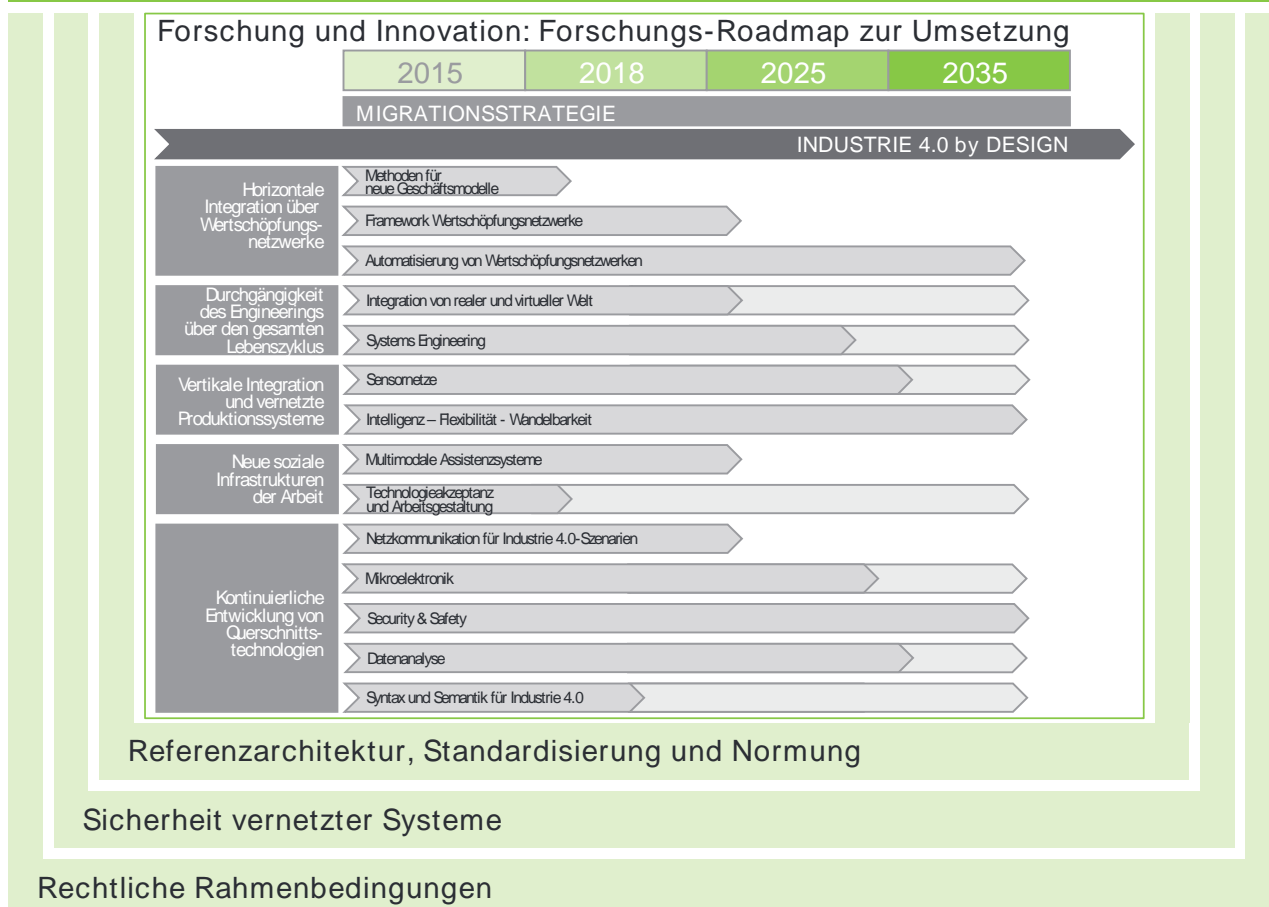


Abbildung 1: Kernbausteine Industrie 4.0

Dieses Thema wird nicht durch die Plattform Industrie 4.0 angegangen sondern insbesondere durch Arbeitskreise des BDI behandelt.

Im Bereich Forschung und Innovation wird in Abstimmung mit dem Wissenschaftlichen Beirat die zur Umsetzung von Industrie 4.0 erforderliche Forschungs- und Innovations-Roadmap erstellt und erforderliche Innovations- und Forschungsaktivitäten und deren Förderung aus Sicht der Industrie abgestimmt und koordiniert. Die wichtigsten Themenfelder sind dabei (siehe Kapitel 5):

- y **Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke**
Der Schwerpunkt liegt in der Ausgestaltung der unternehmensübergreifenden Kollaboration (Lieferanten, KMU's, produzierendes Gewerbe – um nur einige zu nennen). Dies schliesst Aspekte und Methoden für neue Geschäftsmodelle ein.
- y **Durchgängigkeit des Engineering über den gesamten Lebenszyklus**
Zentrale Themen sind hier das PLM-gestützte Engineering, welches das Produkt- und Produktionsdesign verbindet und eine durchgängige Unterstützung über die gesamte Wertschöpfung hinweg ermöglicht. Dies adressiert fachliche Punkte wie die integrierte Betrachtung von Systems Engineering, Modellierung und Simulation.
- y **Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme**
Das Kernthema bildet hierbei die Vernetzung der Produktion, die vielfach auch Echtzeitanforderungen bedingt. Wichtige Punkte sind hierbei, dass die erforderliche Wandlungsfähigkeit und die produktionstechnischen Sicherheitsanforderungen (z. B. Redundanz und Fehlertoleranz) gewahrt und sichergestellt werden können. Dies erfordert sowohl die Weiterentwicklung der zugehörigen Komponenten und Systeme, z. B. Sensornetze, als auch der Methoden wie beispielsweise Predictive Analytics.

y **Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit**

Der ausschlaggebende Erfolgsfaktor ist und bleibt der Mensch. Damit ist die Sicherstellung einer positiven Entwicklung der Veränderung der Arbeitswelt, gestützt und getrieben von allen Beteiligten (u.a. Gewerkschaften und Arbeitgeberverbände) von zentraler Bedeutung. Neben der Veränderung und Verbesserung der Aus- und Weiterbildung gibt es hier technische Aspekte wie die Einführung neuer Human-to-Machine Systeme und allgemein von Assistenzsystemen.

y **Kontinuierliche Entwicklung von Querschnittstechnologien**

Für die Realisierung von Industrie 4.0 sind unterschiedliche technologische Voraussetzungen zu schaffen bzw. in die industrielle Anwendung zu bringen. Wichtige Technologien sind Netzkommunikation, Breitband-Vernetzung, Cloud Computing, Data Analytics, Cyber Security, sichere Endgeräte sowie Machine-to-Machine Lösungen (inkl. Semantik).

Im Themenkomplex Referenzarchitekturen, Standardisierung und Normung geht es um die Erstellung einer lösungsneutralen Referenzarchitektur unter Nutzung von Normen und Standards und deren Etablierung (siehe Kapitel 6).

Im Bereich Sicherheit vernetzter Systeme wird auf Basis von exemplarischen Wertschöpfungsketten an konzeptuellen Beiträgen zur Gewährleistung der IT-Sicherheit innerhalb der horizontalen (Kunden/Zulieferer) und vertikalen (unternehmensinternen) Vernetzung gearbeitet. Dies dient der Identifikation von allgemeinen Anforderungen und Security-Prinzipien (siehe Kapitel 7). Die Ausgestaltung erfolgt dann in einem iterativen Prozess, der auch Forschungs- und Standardisierungsaspekte einbezieht und somit Beiträge für die Schaffung einer Industrie 4.0 Referenzarchitektur leistet.

Das Thema der rechtlichen Rahmenbedingungen adressiert die rechtsmäßige Gestaltung der neuen Produktionsprozesse und horizontalen Geschäftsnetzwerke. Zu den Herausforderungen zählen das Vertragsrecht (dynamischer Abschluss in automatisierten Wertschöpfungsketten), der Schutz von Unternehmensdaten, die Behandlung digitaler Güter, Haftungsfragen und der Umgang mit personenbezogenen Daten.

Forschung und Innovation



5 Forschung und Innovation

5.1 Einleitung

Die Plattform Industrie 4.0 spricht sich dafür aus, Forschungsaktivitäten im Umfeld von Industrie 4.0 noch klarer als bislang zu bündeln und im Sinne einer strukturierten und priorisierten Forschungsagenda zu bearbeiten. Als Grundlage dafür sollen die von der Verbändeplattform in diesem Kapitel dargestellten Forschungs-Roadmaps dienen. Weiterhin ist ein dem Potenzial des Themas angemessenes und im internationalen Vergleich wettbewerbsfähiges Förderbudget des Bundes für die Durchführung der anstehenden Forschungsaufgaben bereitzustellen. Dieses ergänzt die von den beteiligten Unternehmen bereits jetzt in signifikanter Höhe eingesetzten Mittel und ist eine wichtige Voraussetzung für die gezielte Bearbeitung der anstehenden Aufgaben zur raschen Umsetzung von Industrie 4.0.

Darüber hinaus muss die Politik durch geeignete Maßnahmen und Förderinstrumente (Spitzencluster, Demo-Labs, Demo-Anlagen, Demo-Fabriken, usw.) die weitere Vernetzung und Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Wissenschaft sowie zwischen Unternehmen unterschiedlicher Größe und aus verschiedenen Branchen unterstützen, intensivieren und einfordern.

Industrie 4.0 wird sich letztendlich nicht durch die staatlich gelenkte Umsetzung einer vorgegebenen Roadmap erreichen lassen, zumal sich eine exakte Vision von Industrie 4.0 angesichts der unterschiedlichen Interessen und Sichtweisen der verschiedenen Firmen schwerlich festlegen lassen wird. Vielmehr wird Industrie 4.0 das Ergebnis inkrementeller Entwicklungen zur Realisierung konkreter Anwendungsfälle (inklusive Analyse von Nutzen- und Wertschöpfungspotenzialen) sein. Es ist wünschenswert, auch diese eher praktisch ausgerichteten Projekte für eine Förderung durch den Bund in Betracht zu ziehen. Die Förderung sollte damit den kompletten Innovationspfad von der Erforschung neuer Methoden und Technologien bis zu deren Einsatz in universitätsnahen Demoplanen und industrienahen Pilotfabriken unterstützen.

Dieses Kapitel beschreibt die Forschungs- und Innovationsthemen zu Industrie 4.0. und basiert u.a. auf den Thesen des wissenschaftlichen Beirats. Erste Ergebnisse wurden bereits in dem „Whitepaper FuE-Themen“ zur Hannovermesse 2014 veröffentlicht. Seitdem wurde weiter an der Spezifikation relevanter Themen gearbeitet. Nachfolgend wird der überarbeitete Stand vom Februar 2015 dokumentiert (zu den Themenfeldern existieren jeweils detaillierte Steckbriefe, die über die in diesem Dokument geschriebenen Inhalte hinausgehen und jeweils in den Plattform Industrie 4.0 Arbeitsgruppen aktualisiert werden). Im ersten Halbjahr 2015 wird parallel auch eine neue Version des „Whitepapers FuE-Themen“ veröffentlicht, das diesbzgl. detaillierter auf diese Themen eingeht.

Nachfolgend werden zu jedem Themenfeld kurz (1) die Inhalte von Forschung und Innovation erläutert, (2) die angestrebten Ergebnisse und (3) die wesentlichen Meilensteine.

5.2 Themenfeld: 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.

5.2.1 Methoden für neue Geschäftsmodelle

5.2.1.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Ein Geschäftsmodell ist eine vereinfachte Darstellung, wie das Geschäft und die Wertschöpfung innerhalb eines Unternehmens funktionieren, und somit eine abstrakte Beschreibung, wie mit welchen Partnern, in welchen Märkten und mit welchen Kundengruppen Geld verdient wird. Im Kontext von Industrie 4.0 werden in Unternehmen aufgrund neuer Wertschöpfungsprozesse und einer sich verändernden Rollenverteilung in Wertschöpfungsnetzwerken neue Geschäftsmodelle entstehen.

Zu berücksichtigende Aspekte sind:

- y Go-To-Market-Ansätze (GTMs)
- y Methoden zur Bedarfsanalyse und -generierung sowie zur Potenzialermittlung
- y Zahlungs- und Abrechnungsmodelle
- y Nutzen- und Risikobewertung für jeden einzelnen Akteur im Netzwerk
- y rechtliche Aspekte
- y Anreiz- und Akzeptanzsysteme

5.2.1.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Ein gemeinsames Verständnis der Geschäftsmodelle ist die Voraussetzung für die nachhaltige Nutzung der Potenziale einer firmenübergreifenden Vernetzung. Methodische Ansätze sollten vereinheitlicht und konsolidiert werden, Best Practices und Erfahrungen – insbesondere auch aus den jeweils anderen Branchen – systematisch erfasst werden. Dann erfolgen eine Übertragung auf die Produktion und die Analyse der sich daraus ergebenden Konsequenzen. Dabei sind die unterschiedlichen Rollen innerhalb von Wertschöpfungsnetzwerken zu betrachten.

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- y exemplarische Go-to-Market-Ansätze für die unterschiedlichen Anbieterrollen innerhalb eines Netzwerkes, abgeleitet aus Best Practices
- y ein auf die Bedarfe von Industrie 4.0 abgestimmter Geschäftsmodellansatz, der die Aspekte von Wertschöpfungsnetzwerken berücksichtigt
- y exemplarische Zahlungs-, Abrechnungs- und Lizenzmodelle
- y Leitfaden zur Bewertung des Industrie 4.0-typischen Nutzens und der entsprechenden Risiken
- y Leitfaden für die rechtlichen Aspekte (u.a. Haftungsfragen insbesondere bei Service Level Agreements (SLAs) für Software as a Service (SaaS) und Plattform as a Service (PaaS)).

5.2.1.3 Die wesentlichen Meilensteine

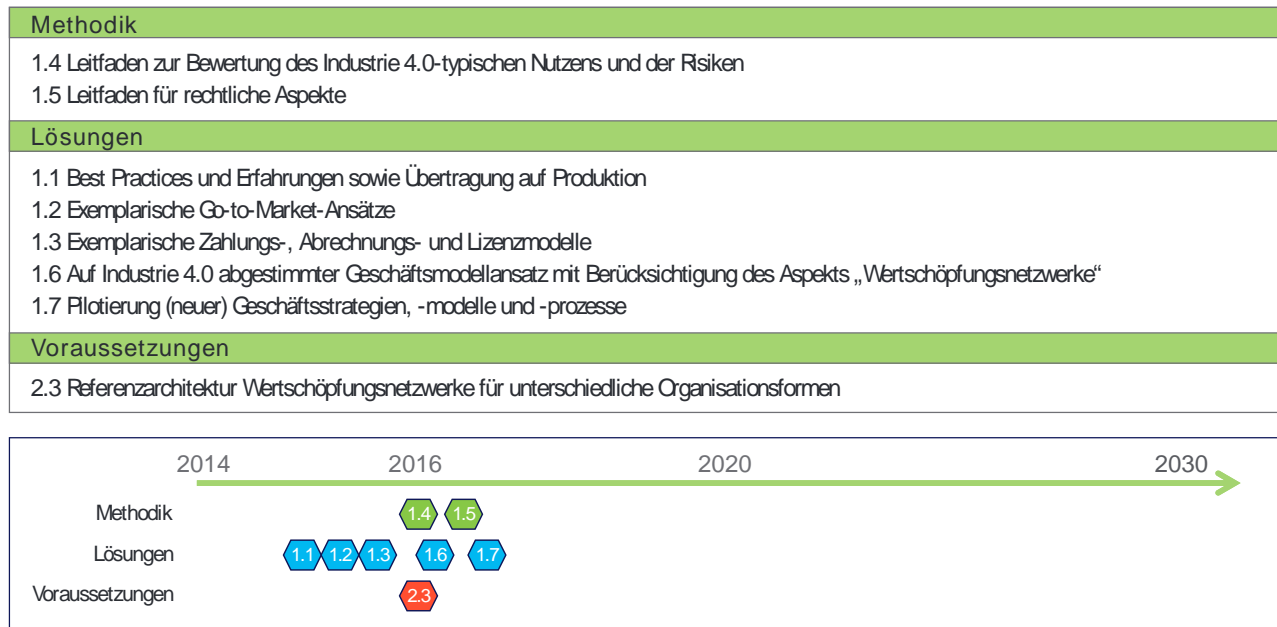


Abbildung 2: Meilensteine für die Forschung an Methoden für neue Geschäftsmodelle

5.2.2 Framework Wertschöpfungsnetzwerke

5.2.2.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Ein Wertschöpfungsnetzwerk beschreibt ein System aus einzelnen Wertschöpfungsprozessen und deren prozesstechnische Abhängigkeit. Die einzelnen Wertschöpfungsprozesse werden durch autonome, rechtlich selbstständige Akteure realisiert. Sie 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:

- y Voraussetzungen, Treiber, Konsequenzen für die Entstehung neuer Wertschöpfungsnetzwerke
- y wirtschaftliche Rolle von CPS-Plattformen als Integrator von Wertschöpfungsnetzwerken
- y mögliche geschäftliche Bedrohungen und resultierende Konsequenzen
- y Organisationsformen von Wertschöpfungsnetzwerken, deren unterschiedliche Komponenten und Rollen sowie deren rechtliche Implementierung

5.2.2.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Es sollen Konzepte für die Implementierung von Wertschöpfungsnetzwerken entstehen und in Pilotprojekten angewendet werden, damit Themen wie (neue) Geschäftsstrategien, -modelle und -prozesse unter stärkerer Einbeziehung von Kunden, Lieferanten, Partnern und Markt praktisch beleuchtet werden. Dazu werden für die konkreten Beispiele Business-Pläne erstellt und Erfahrungen bezüglich einer „Orchestrierung“ gesammelt, die auch als zukünftige Anforderungen an CPS-Plattformen zur Unterstützung von Wertschöpfungsnetzwerken veröffentlicht werden sollen.

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- y die flexible Integration von Wertschöpfungsnetzen in der Produktion
- y Methoden zur Analyse und Bewertung wirtschaftlicher und technologischer Potenziale aus Sicht der Netzwerkpartner und deren Kunden
- y Mobilisierung insbesondere mittelständischer Unternehmen für die Kooperation in Netzwerken

- y Eröffnung neuer Geschäftsmöglichkeiten
- y Win-Win-Wertschöpfungspartnerschaften und damit nachhaltige, „integrierte“ Geschäftsmodelle

5.2.2.3 Die wesentlichen Meilensteine



Abbildung 3: Meilensteine für die Forschung zum Thema „Framework Wertschöpfungsnetzwerke“

5.2.3 Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken

5.2.3.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Der Automatisierungsgrad der horizontalen Integration wird erhöht, indem Wertschöpfungsstufen automatisiert durchlaufen werden. Im Vordergrund stehen dabei Stufen, in denen die Wertschöpfung automatisiert erbracht wird oder rein in der „digitalen“ Welt erfolgt.

Zu berücksichtigende Aspekte sind:

- y Durchgängigkeit der Informationsflüsse
- y Einsatz von Verfahren zur Modellierung, Berechnung, Simulation und Optimierung
- y Integration von Anwendungen wie PLM, APS, MES, SCM und ERP

- y Einbindung des Menschen als kreativen Akteur in den globalen Wertstrom
- y Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle
- y Abhängigkeit von Qualifizierungsmaßnahmen und Migrationsprozessen

5.2.3.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Die Wertschöpfung soll effizienter und flexibler erbracht werden und sicher prognostizierbar sein. Menschen werden von nicht-kreativen Tätigkeiten entlastet. Produktivitätssteigerung, Ressourceneffizienz und Automatisierung stehen im Fokus. Durch die weitere Automatisierung einzelner Teilschritte komplexer Planungsprozesse werden die übergeordneten Wertschöpfungsketten und -netze sowie der operative Betrieb hinsichtlich global definierbarer Zielgrößen optimiert. Dabei werden Abhängigkeiten

berücksichtigt und Synergieeffekte erzielt. Dies wird möglich, indem ehemals hierarchisch-sequenziell organisierte Prozesse entweder integriert und teilweise synchron oder autonom durchgeführt werden.

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- y eine Methodik, die die direkten und indirekten Zusammenhänge und Abhängigkeiten aller Unternehmensprozesse (z. B. PLM, ERP, APS, MES) beschreibt
- y ein gemeinsames Zielhierarchiesystem, das die Auswirkung aller Tätigkeiten und Prozesse auf global definierte Ziele referenziert
- y Prozesse und Tätigkeiten, die unter Berücksichtigung der o.g. Zusammenhänge und Abhängigkeiten hinsichtlich einer möglichst optimalen globalen Zielerreichung gestaltet und organisiert sind
- y einfach anwendbare und integrierbare, autonom beschriebene Module
- y Werkzeuge und Programme, die die Anwender durch eine einfache, intuitive Darstellung und kontinuierliche Simulationsmöglichkeiten unterstützen

5.2.3.3 Die wesentlichen Meilensteine

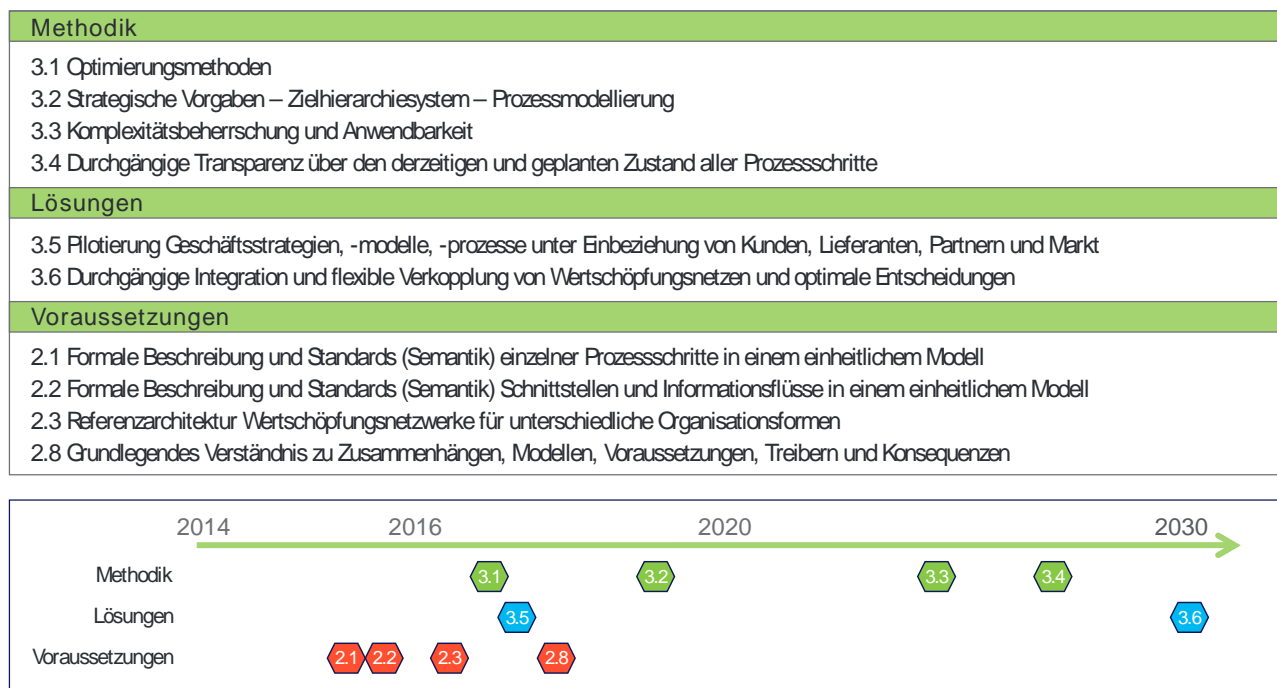


Abbildung 4: Meilensteine für die Forschung zur Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken

5.3 Themenfeld: 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.

5.3.1 Integration von realer und virtueller Welt

5.3.1.1 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:

- y Die Modellierungstheorie muss die Grundlage bilden, um Fragestellungen wie „Was sind gute Modelle?“ (Einschließlich der 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.
- y 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.
- y 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:

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

5.3.1.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Die notwendige Grundlage ist ein einheitliches Verständnis von Modellen im Maschinenbau, in der Elektrotechnik und der Informatik im Umfeld der Produktion. Langfristiges Ziel ist die Befähigung produzierender Unternehmen zur wirtschaftlichen, nutzenstiftenden, bidirektionalen Modellierung. Damit sollen Elemente aus virtuellen Welten mit der realen Welt auf einem hohen semantischen Niveau interdisziplinär verknüpft werden können, um die Effizienz der internen Auftragsabwicklung sowie die Sicherheit von Entscheidungen signifikant zu erhöhen.

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

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

5.3.1.3 Die wesentlichen Meilensteine

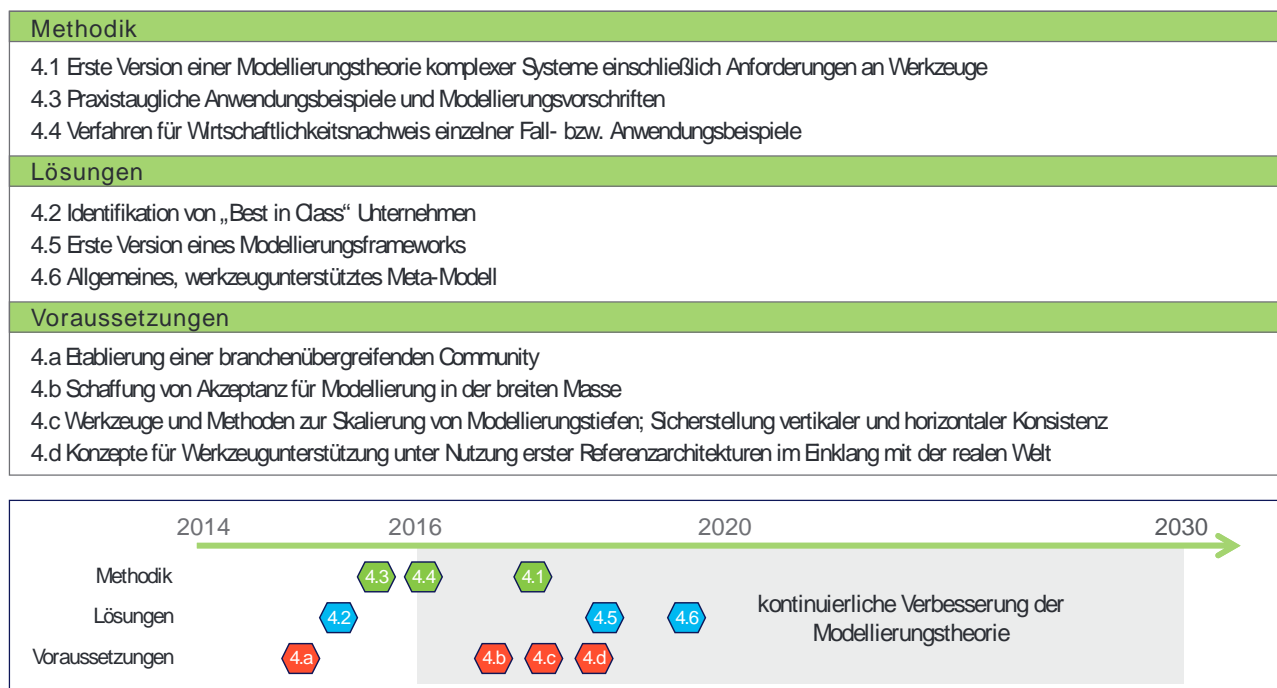


Abbildung 5: Meilensteine für die Forschung zur Durchgängigkeit des Engineerings über den gesamten Lebenszyklus

5.3.2 Systems Engineering

5.3.2.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Systems Engineering ist eine durchgängige fachübergreifende 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.

Zu berücksichtigende Aspekte sind:

- y integrative Entwicklung von Produkt, Prozess und Produktionssystem. Von Beginn an müssen alle Aspekte in einem engen Wechselspiel entwickelt und über den Marktzyklus des Produkts kontinuierlich fortentwickelt werden
- y 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
- y Verfügbarkeit aller relevanten Daten und Prozesse über Systemgrenzen (Teilsystem, Maschine/Prozess, Produktionsanlage, Fabrik) und Firmengrenzen hinweg, sowie deren Bereitstellung in skalierbaren Systemen
- y Modularisierung und Wiederverwendung der Anlagen und Systeme für die Beherrschung der zunehmenden Komplexität und Skalierbarkeit
- y Rückfluss von Erfahrungen aus dem Einsatz der Anlagen und Systeme in die Entwicklung bzw. das Engineering und den Betrieb
- y 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, deren Einbettung in Geschäftsmodelle (z. B. Lizenzen, Abrechnungssysteme) versionsorientiert ermöglichen

5.3.2.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

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

Das Systems Engineering soll – insbesondere in KMU – mehr Akzeptanz erhalten und dort zunehmend kooperativ genutzt werden. Die zunehmende Komplexität von Industrie 4.0-Systemen wird damit beherrscht und ermöglicht die effiziente und effektive Abwicklung von Projekten im Engineering- und Produktionsverbund.

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- y aufeinander abgestimmte Methoden sowie abgestimmte Werkzeugketten und Entwicklungsumgebungen
- y System- und ortsunabhängige Nutzung der Werkzeuge
- y Semantik der applikativen Schnittstellen
- y Disziplinübergreifendes, durchgängiges Anforderungsmanagement in komplexen Systemen

5.3.2.3 Die wesentlichen Meilensteine

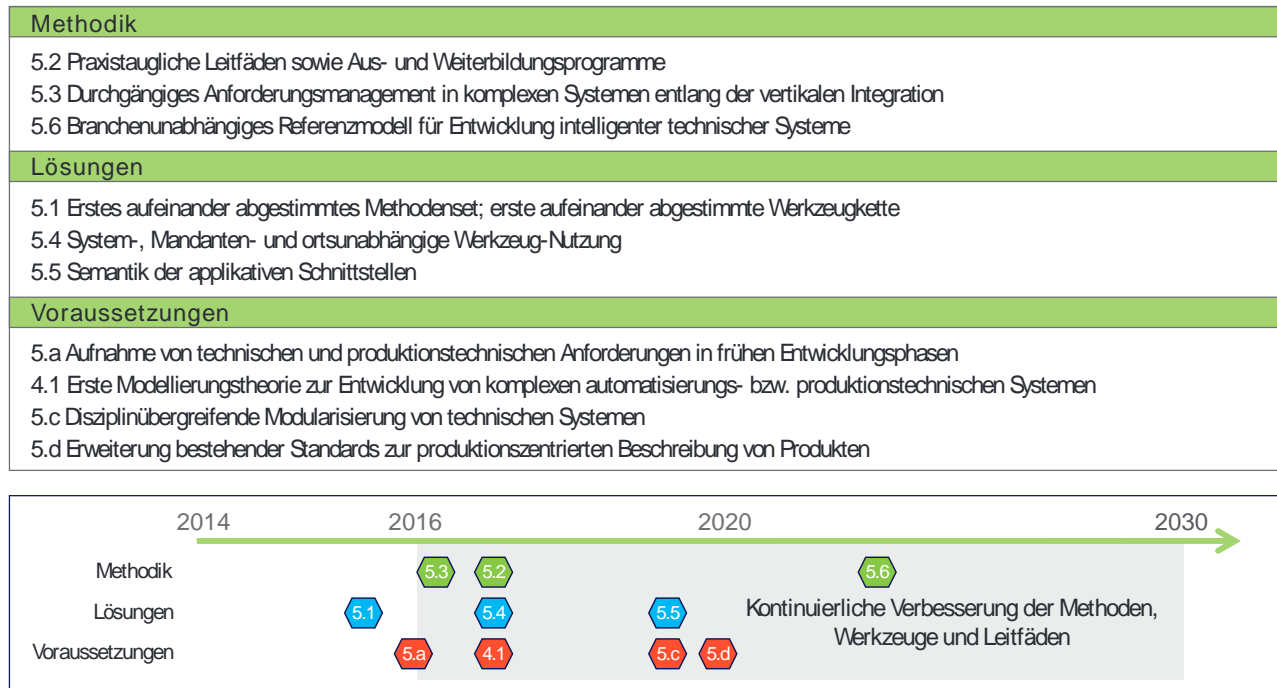


Abbildung 6: Meilensteine für die Forschung zum Thema „Systems Engineering“

5.4 Themenfeld: Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme

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

5.4.1 Sensornetze

5.4.1.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Die zentrale Motivation hinter der Sensordatenanalyse ist die kontinuierliche Erfassung von Informationen über einen (technischen) Prozess entweder als Basis für dessen Steuerung und Regelung oder für eine Diagnose, Alarmierung etc. So können beispielsweise bei einem reaktivem Eingriff Prozessparameter angepasst werden oder bei Diagnosen Maschinendefekte signalisiert werden.

Die Verknüpfung der diversen Sensoren und deren Auswertung (teilweise unter kritischen Echtzeitbedingungen) ist eine zentrale Herausforderung.

Zu berücksichtigende Fragen sind:

- y Wie kann Data Acquisition bei einer großen Anzahl von Sensoren in der Praxis gestaltet werden?
- y Wo wird Data Manipulation sinnvollerweise durchgeführt?
- y Wie kann der qualitative und quantitative Zusammenhang zwischen gemessenen Werten und auftretenden Effekten erkannt und in ein (Zustands-)Modell überführt werden?

5.4.1.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Es soll ein Gerüst entwickelt werden für die Umsetzung von zustandsabhängigen Überwachungen und Steuerungen in Industrie 4.0-Szenarien. Der Zugriff auf die Hauptkomponenten (Layer) der Sensordatenverarbeitung soll, soweit möglich, standardisiert werden. Es wird eine Softwarearchitektur entstehen, die den Zugriff auf Sensordaten ermöglicht, ohne Kenntnisse über die physische Sensorebene besitzen zu müssen (Kapselung). Insbesondere ist die Einbindung kabelloser Sensoren zu berücksichtigen. Die Inbetriebnahme und Konfiguration soll grafisch und interaktiv mittels Plug-and-Play-Ansatz realisiert werden. Die Auswertung mehrerer Sensordatenströme im Sinne von Datenfusion muss ermöglicht werden, ohne dass jeder Anwendungsfall individuell entwickelt werden muss. Um einen möglichst hohen Grad an Autonomie des Sensornetzes zu erreichen, sollen die Sensoren mit semantischen Beschreibungen angereichert werden (Semantic Sensor Network Technologie).

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- y erweiterte und verfeinerte Modelle zur Feststellung des System-/Produktzustands, die die Ableitung zuverlässiger Handlungsempfehlungen ermöglichen
- y Online-Regelung eines Fertigungsprozesses in Abhängigkeit von den rückgeführten Echtzeitdaten aus dem Prozess sowie der Qualität des Prozessoutputs
- y Einführung fallspezifischer, adaptiver Messstrategien in die Qualitätssicherung
- y Etablierung einer branchenübergreifenden Community

5.4.1.3 Die wesentlichen Meilensteine

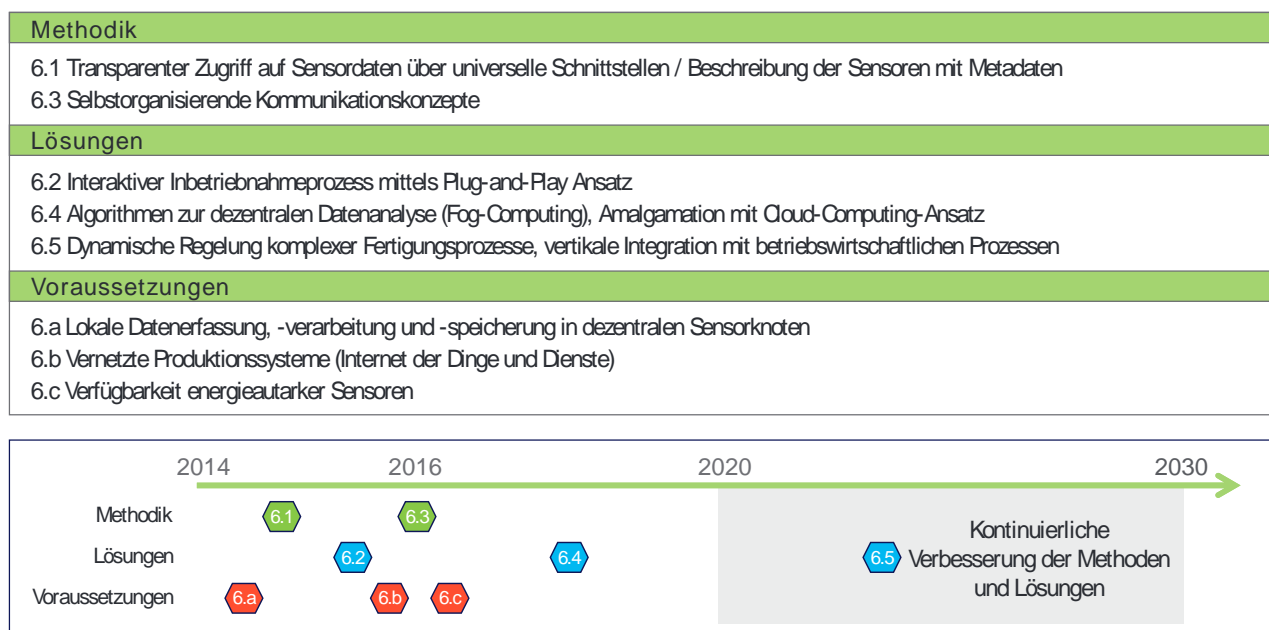


Abbildung 7: Meilensteine für die Forschung zu Sensornetzwerken

5.4.2 Intelligenz – Flexibilität – Wandelbarkeit

5.4.2.1 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 selbstständig an. Sie sind robust. Sie bewältigen auch unerwartete, vom Entwickler nicht berücksichtigte Situationen in einem sich stetig ändernden Umfeld, ohne ihre 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 den unterschiedlichen Informationsbedarf und passen sich diesem selbstständig 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. 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:

- y Identifikation, Formalisierung und Beschreibung der direkt und indirekt auf die globalen Ziele wirkenden Flexibilisierungs- und Wandlungsmöglichkeiten
- y Standardisierung der Schnittstellen und Fähigkeiten von Einheiten (Modulen) zum Aufbau einer flexiblen und wandelbaren Produktion
- y soziale, ethische, ökologische und ergonomische Auswirkungen

Engineering und Testen von autonomen Systemen im Produktionsumfeld; die Entwickler autonomer Systeme müssen entsprechend geschult und ausgebildet werden

5.4.2.2 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:

- y Identifikation von autonomen, wiederverwendbaren Einheiten (Modulen) innerhalb einer Produktion und Ableitung der Anforderungen und Potenziale für Arbeitsmodelle
- y robuste, zuverlässige Algorithmen für zentrale und dezentrale Intelligenz
- y Strategien für die Verhandlung zwischen intelligenten Systemen im Produktionsumfeld
- y Technologien und Anwendungsbeispiele für eine intuitive Mensch-Maschine-Interaktion
- y Migrationsstrategien hin zu flexiblen und wandelbaren Produktionen

5.4.2.3 Die wesentlichen Meilensteine

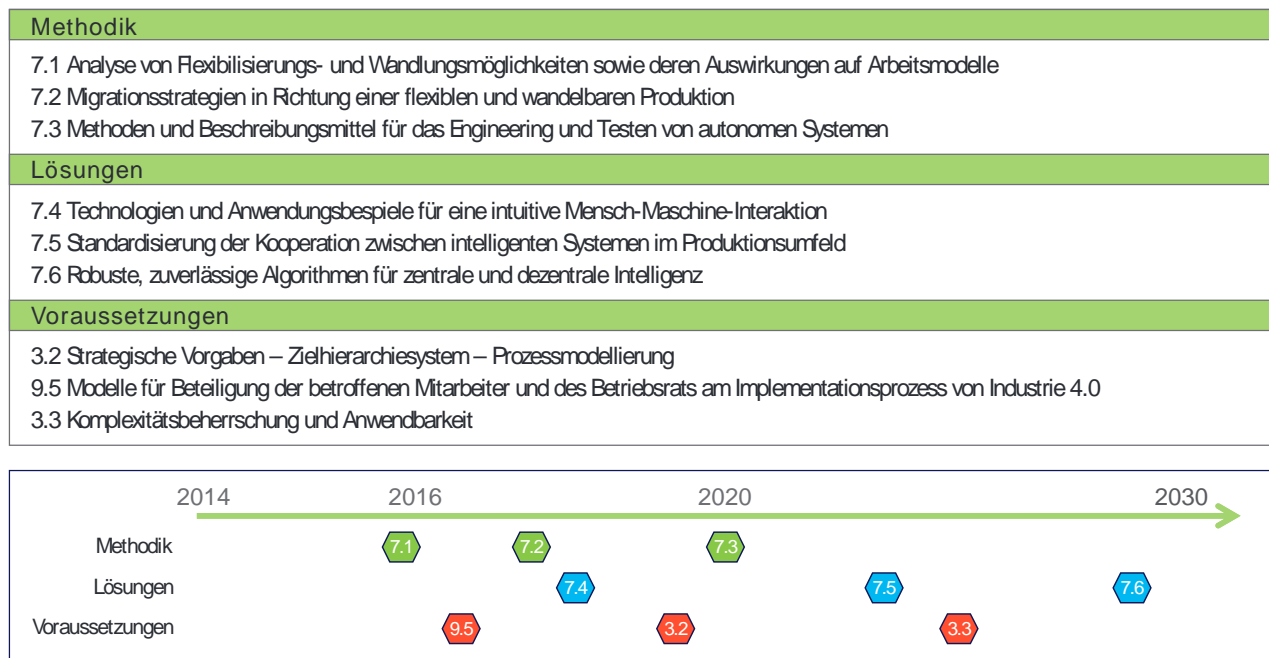


Abbildung 8: Meilensteine für die Forschung zu Intelligenz – Flexibilität – Wandelbarkeit

5.5 Themenfeld: Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit

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

5.5.1 Multimodale Assistenzsysteme

5.5.1.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Grundsätzlich adressiert dieses Themenfeld eine humanzentrierte Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Im Rahmen von Industrie 4.0 wird sich die Mensch-Technik-Interaktion verändern: Die Maschinen passen sich den Menschen an – und nicht umgekehrt. Intelligente industrielle Assistenzsysteme mit multimodalen, bedienungsfreundlichen Benutzerschnittstellen können die Beschäftigten bei ihrer Arbeit unterstützen und bringen digitale Lerntechnologien direkt an den Arbeitsplatz.

Zu berücksichtigende Aspekte bei der Interaktionsgestaltung sind:

- y Sinnfälligkeit der Ein-/Ausgaben
- y Wahrnehmbarkeit, auch unter ungünstigen Bedingungen
- y Identifizierbarkeit, Verwechslungssicherheit
- y Aufgabenangemessenheit
- y Selbstbeschreibungsfähigkeit
- y Steuerbarkeit
- y Erwartungskonformität

5.5.1.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

In der Fabrik sollen neue Formen der kollaborativen Arbeit entstehen, gestützt durch intelligente Assistenzsysteme. Methoden und Techniken der erweiterten Realität (Augmented Reality), der Dualwelttechnologie (Dual Reality) und der synchronisierten und multiplen Welten – also der Echtzeitsynchronisation von sensomotorischen und semanti-

schen Fabrikmodellen mit realen Fabriken – ermöglichen kollaborative Teleoperationen von hochkomplexen Komponenten, etwa bei der Fehlersuche. Die Zusammenarbeit der Beschäftigten wird sich damit grundlegend verändern. Kooperation und Kollaboration, zum Beispiel über angepasste soziale Netzwerke und soziale Medien, werden auch über Unternehmens- und Bildungsniveaugrenzen hinaus möglich. Leicht adaptierbare Interaktionssysteme werden der Heterogenität der Belegschaft Rechnung tragen, weil sie personalisiert und für spezielle Zielgruppen entwickelt sind.

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- y Integration virtueller Menschmodelle zur Unterstützung der Simulation maschineller Produktionsabläufe
- y Voraussetzungen für die Nutzung und den Erhalt von Erfahrungswissen der Beschäftigten als Bedingung eines stabilen Systembetriebs
- y Herstellung und Sicherung von Transparenz über den Systemstatus für die Beschäftigten
- y Absicherung der Qualifizierung für alle Beschäftigten-
gruppen
 - y Förderung digitaler Lerntechniken
 - y Weiterentwicklung digitaler Lerntechniken

5.5.1.3 Die wesentlichen Meilensteine

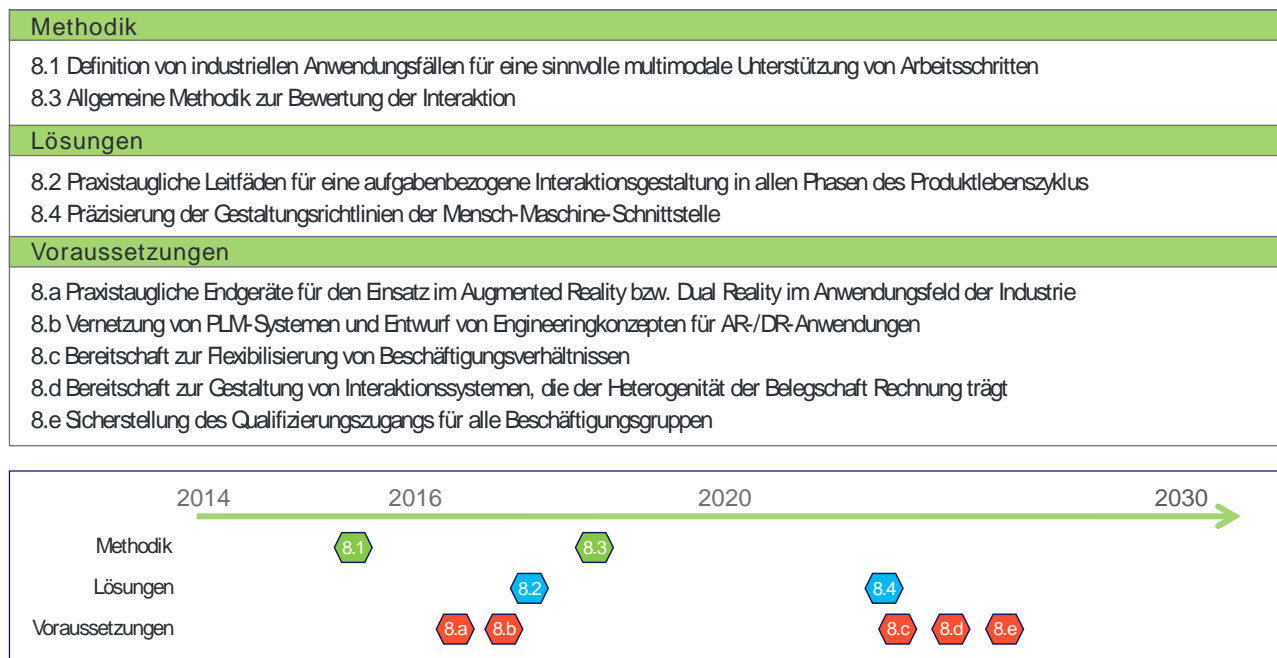


Abbildung 9: Meilensteine für die Forschung zu multimodalen Assistenzsystemen

5.5.2 Technologieakzeptanz und Arbeitsgestaltung

5.5.2.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Industrie 4.0 muss von den Mitarbeitern in der Produktion akzeptiert werden. Die Voraussetzung dafür sind Arbeitsbedingungen, die eine Flexibilität im Sinne der Mitarbeiter ermöglichen und ihre Kreativität und Lernfähigkeit unterstützen. „Multimodale Assistenzsysteme“ werden dafür die technologische Voraussetzung schaffen. Im Fokus dieses Themenfelds sind auch die Qualifikationsentwicklung und die Arbeitsorganisation sowie die Gestaltung der Arbeitsmittel im Rahmen von Industrie 4.0-Systemen.

Zu berücksichtigende Aspekte sind:

- y grundlegendes Verständnis von Industrie 4.0 als sozio-technisches System, in dem Technik, Organisation und Personal systematisch aufeinander abgestimmt werden müssen
- y Arbeitsgestaltung, die die Akzeptanz, Leistungs- und Entwicklungsfähigkeit, das Wohlbefinden und die Gesundheit arbeitender Menschen unterstützt
- y Beteiligung der Mitarbeiter und Gremien der Arbeitnehmervertretung an Einführungsprozessen

5.5.2.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Das Aufgabenspektrum der Mitarbeiter soll erweitert werden, ihre Qualifikationen und Handlungsspielräume sollen erhöht und ihr Zugang zu Wissen deutlich verbessert werden. Auszugehen ist davon, dass neuartige kollaborative Formen von Produktionsarbeit möglich und systembedingt erforderlich werden. Damit bietet Industrie 4.0 die Chance, die Attraktivität von Produktionsarbeit zu steigern und dem absehbaren Fachkräftemangel entgegenzuwirken. Schließlich werden gute Voraussetzungen geschaffen, durch entsprechende Maßnahmen der Arbeitsgestaltung den wachsenden Anforderungen einer alternden Belegschaft gerecht zu werden.

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- y Konzepte für Tätigkeits- und Aufgabenstrukturen, die an Akzeptanz, Leistungs- und Entwicklungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit arbeitender Menschen ausgerichtet sind
- y Vorschläge für die Integration von planenden, organisierenden, durchführenden und kontrollierenden Tätigkeiten an einem Arbeitsplatz
- y Modelle für ein angemessenes Verhältnis zwischen anspruchssarmen Routineaufgaben und anspruchsvollen problemlösenden Aufgaben
- y lernförderliche Arbeitsmittel, die die Arbeitsorganisation unterstützen
- y Modelle für die Beteiligung sowohl der betroffenen Mitarbeiter als auch des Betriebsrats am Implementationsprozess von Industrie 4.0

5.5.2.3 Die wesentlichen Meilensteine

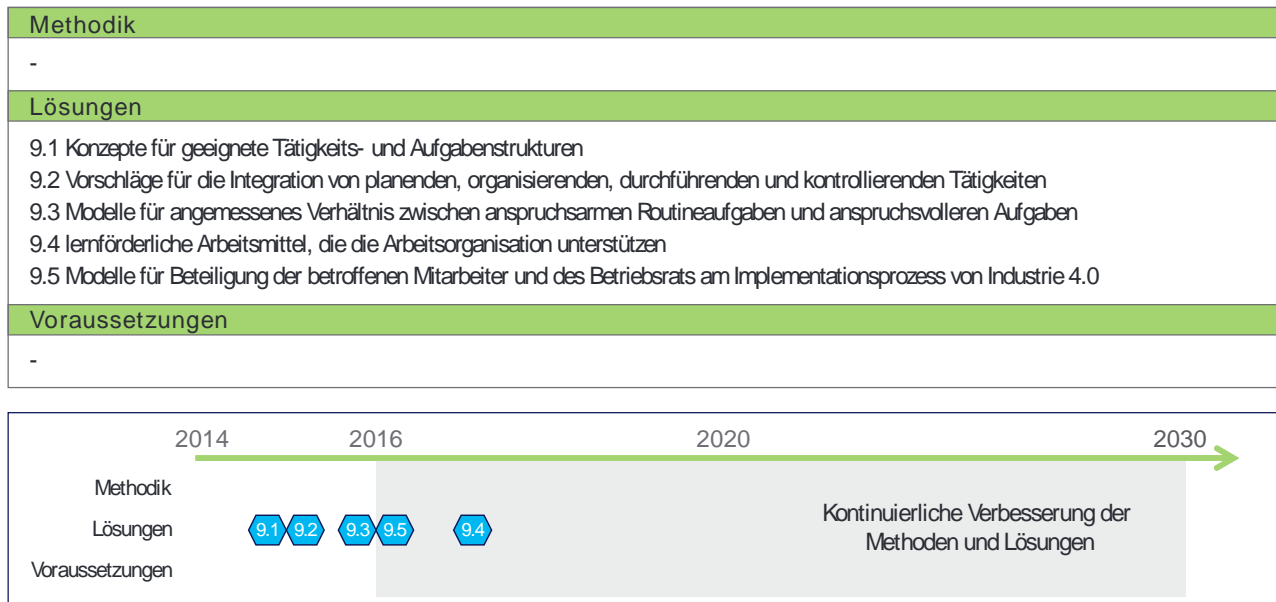


Abbildung 10: Meilensteine für die Forschung zu Technologieakzeptanz und Arbeitsgestaltung

5.6 Themenfeld: 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.

5.6.1 Netzkommunikation für Industrie 4.0-Szenarien

5.6.1.1 Inhalte von Forschung und Innovation

Dieses Themenfeld adressiert die Netzkommunikation der involvierten stationären und mobilen Komponenten von Cyber-Physical Systems. Das sind Komponenten, Dienstleistungs- und Produktivsysteme im Shopfloor und in den Hintergrund-Systemen des Unternehmens, in denen der Austausch von Daten über die damit verbundenen Lieferketten und die Phasen des Lebenszyklus hinweg möglich ist.

Zu berücksichtigende Aspekte sind:

- y Anforderungsgerechte Nutzung der drahtlosen Kommunikation im Büro und Shopfloor

- y Koexistenz verschiedener drahtloser und drahtgebundener Kommunikationssysteme und proprietärer Systeme
- y Interoperabilität verschiedener drahtloser Kommunikationssysteme
- y vorausschauende Wirkungsanalyse bei sich ändernden Systemkonfigurationen
- y weltweiter Einsatz der Produkte in den verfügbaren Bändern
- y Anforderungsmanagement der Bandbreite, Deterministik und Echtzeit
- y skalierbare und durchgängige Nutzung in einer interoperablen Engineering-Kette
- y Security und Safety

5.6.1.2 Angestrebte Ergebnisse von Forschung und Innovation

Um den Anforderungskatalog für den Einsatz in Industrie 4.0-Produktionsszenarien zu erfüllen, sollen Vernetzungs- und Anbindungslösungen für den branchenübergreifenden Einsatz entwickelt und bewertet werden. Insbesondere die

Anforderungen an die Übertragungsleistung, Robustheit, die Security und Safety sowie die Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und die internationale Ausrollbarkeit sind Ziele dieses Themenfelds.

Folgende Ergebnisse werden erwartet:

- y Kosten-Effizienz und Akzeptanz von Industrie 4.0 durch standardisierte Lösungen, deren Standards die Ziele Interoperabilität, Skalierbarkeit, Kostensensitivität (z.B. auch für den teuren 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 die CE „Selbsterklärung der Hersteller“ anzustreben.
- y Bewertung der Möglichkeiten heutiger und zukünftiger
 - y öffentlicher Netze im Industrie 4.0-Kontext
 - y WLAN-Technologien und möglicher Alternativen wie z. B. Bluetooth im Industrie 4.0-Kontext
 - y Nahfeld-Technologien im Industrie 4.0-Kontext
- y Identifikation von Anforderungen an spezifische
 - y Funklösungen, Netzwerktechnologien öffentlicher Netze, proprietäre Lösungen und Identifikation möglicher Alternativen
 - y Applikationsfelder wie Gebäude, Prozesstechnik oder Infrastruktur (Energie, Wasser, Transportwesen)

5.6.1.3 Die wesentlichen Meilensteine



Abbildung 11: Meilensteine für die Forschung zu Netzkommunikation für Industrie 4.0-Szenarien

