Forschungsunion

Wirtschaft und Wissenschaft
begleiten die Hightech-Strategie

acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern

Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0

Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0

April 2013

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Impressum

Herausgeber

Promotorengruppe Kommunikation
der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft:
Prof. Dr. Henning Kagermann
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.
(Sprecher der Promotorenguppe)
Prof. Dr. Wolfgang Wahlster
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH
Dr. Johannes Helbig
Deutsche Post AG

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.

Redaktion

Ariane Hellinger, M.A.
Veronika Stumpf, M.A.
Mitarbeit: Christian Kobsda, B.A.
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.

Lektorat

Linda Treugut, M.A.
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.

Englische Übersetzung

Joaquín Blasco
Dr. Helen Galloway

Layout und Satz

HEILMEYERUNDSERNAU ■ GESTALTUNG
heilmeyerundsernau.com

Grafiken

isotype.com
HEILMEYERUNDSERNAU ■ GESTALTUNG

Kontakt / Vertrieb

Büro der Forschungsunion
beim Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft
Ulrike Findeklee, M.A.
ulrike.findeklee@stifterverband.de
forschungsunion.de

Geschäftsstelle der Plattform Industrie 4.0
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt/Main
kontakt@plattform-i40.de
plattform-i4.0.de

Erscheinungstermin: April 2013

© Copyright liegt bei den Herausgebern. Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung der Herausgeber unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.

Plattform
INDUSTRIE 4.0

Inhalt

Kurzfassung ... 04

Executive Summary ... 08

Mitglieder des Arbeitskreises | Autoren | Fachexperten ... 12

1 Einleitung ... 16

2 Die Vision: Industrie 4.0 als Teil einer vernetzten, intelligenten Welt ... 22
2.1 Die Vision Industrie 4.0 gestalten ... 23
2.2 Industrie 4.0-Zukunftsszenarien ... 24
2.3 Neue Geschäftsperspektiven und -modelle ... 26
2.4 Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit ... 27
2.5 Neuartige *service*-basierte, echtzeitfähige CPS-Plattformen ... 28
2.6 Der Weg zu Industrie 4.0 ... 29

Anwendungsbeispiel 1
Reduktion des Energiebedarfs einer Karosseriebauanlage in produktionsfreien Zeiten ... 31

3 Duale Strategie: Leitmarkt und Leitanbieterschaft ... 32
3.1 Leitanbieterperspektive ... 33
3.2 Leitmarktperspektive ... 33
3.3 Die duale Strategie und ihre kennzeichnenden Merkmale ... 34

Anwendungsbeispiel 2
Durchgängiges System Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette ... 37

4 Forschungsbedarf ... 38

5 Handlungsfelder ... 42
5.1 Standardisierung und offene Standards für eine Referenzarchitektur ... 43
5.2 Beherrschung komplexer Systeme ... 46
5.3 Flächendeckende Breitbandinfrastruktur für die Industrie ... 49
5.4 Sicherheit als erfolgskritischer Faktor für Industrie 4.0 ... 50
5.5 Arbeitsorganisation und Arbeitsgestaltung im digitalen Industriezeitalter ... 56
5.6 Aus- und Weiterbildung für Industrie 4.0 ... 59
5.7 Rechtliche Rahmenbedingungen ... 62
5.8 Ressourceneffizienz ... 66

Anwendungsbeispiel 3
Unterstützung der individuellen Produktion am Beispiel eines Kundenwunsches ... 68

Anwendungsbeispiel 4
Telepräsenz 69

6 Internationaler Vergleich 70

Anwendungsbeispiel 5
Lieferantenwechsel im laufenden Produktionsprozess aufgrund höherer Gewalt 77

7 Ausblick 78

Hintergrund: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 80

Glossar 83

A Anhang 88
A 1 Wo liegt der Forschungsbedarf? – Konsolidierte Forschungsempfehlungen 89
A 1.1 Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke 89
A 1.2 Durchgängigkeit des *Engineerings* über die gesamte Wertschöpfungskette 92
A 1.3 Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme 95
A 1.4 Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit 96
A 1.5 Technologie *Cyber-Physical Production Systems* (CPPS) 100

A 2 Die *Use Cases* Industrie 4.0 105
Use Case 1: Resiliente Fabrik (Quelle: Festo) 105
Use Case 2: Technologiedaten Marktplatz (Quelle: TRUMPF) 106
Use Case 3: Intelligentes Instandhaltungsmanagement (Quelle: wbk) 107
Use Case 4: Vernetzte Produktion (Quelle: iwb) 108
Use Case 5: Selbstorganisierende adaptive Logistik (Quelle: Daimler) 109
Use Case 6: Kundenintegriertes *Engineering* (Quelle: IPA) 110
Use Case 7: Nachhaltigkeit durch *Up-Cycling* (Quelle: IPA) 111
Use Case 8: *Smart Factory Architecture* (Quelle: IPA) 112

Vorbemerkung

Alle Personenbezeichnungen im vorliegenden Bericht beziehen sich ungeachtet ihrer grammatikalischen Form in gleicher Weise auf Frauen und Männer.

Kurzfassung

Kurzfassung

Deutschland ist einer der konkurrenzfähigsten Industriestandorte und gleichzeitig **führender Fabrikausrüster** weltweit. Das liegt nicht zuletzt an der Spezialisierung auf die Erforschung, Entwicklung und Fertigung innovativer Produktionstechnologien und der Fähigkeit komplexe industrielle Prozesse zu steuern. Mit seinem starken Maschinen- und Anlagenbau, seiner in ihrer Konzentration weltweit beachtlichen IT-Kompetenz und dem Know-how bei Eingebetteten Systemen und in der Automatisierungstechnik verfügt Deutschland über beste Voraussetzungen, um seine Führungsposition in der Produktionstechnik auszubauen. Wie kein anderes Land ist Deutschland befähigt, die Potenziale einer neuen Form der Industrialisierung zu erschließen: **Industrie 4.0**.

Nach Mechanisierung, Elektrifizierung und Informatisierung der Industrie läutet der Einzug des Internets der Dinge und Dienste in die Fabrik eine 4. Industrielle Revolution ein. Unternehmen werden zukünftig ihre Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel als ***Cyber-Physical Systems*** **(CPS)** weltweit vernetzen. Diese umfassen in der Produktion intelligente Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel, die eigenständig Informationen austauschen, Aktionen auslösen und sich gegenseitig selbstständig steuern. So lassen sich industrielle Prozesse in der Produktion, dem Engineering, der Materialverwendung sowie des Lieferketten- und Lebenszyklusmanagements grundlegend verbessern. In den neu entstehenden ***Smart Factory*** herrscht eine völlig neue Produktionslogik: Die intelligenten Produkte sind eindeutig identifizierbar, jederzeit lokalisierbar und kennen ihre Historie, ihren aktuellen Zustand sowie alternative Wege zum Zielzustand. Die eingebetteten Produktionssysteme sind vertikal mit betriebswirtschaftlichen Prozessen innerhalb von Fabriken und Unternehmen vernetzt und horizontal zu verteilten, in Echtzeit steuerbaren Wertschöpfungsnetzwerken verknüpft – von der Bestellung bis zur Ausgangslogistik. Gleichzeitig ermöglichen und erfordern sie ein durchgängiges Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg.

Das Potenzial von Industrie 4.0 ist immens: Die *Smart Factory* kann **individuelle Kundenwünsche** berücksichtigen und selbst Einzelstücke rentabel produzieren. In Industrie 4.0 sind **Geschäfts- und *Engineering*-Prozesse dynamisch** gestaltet, das heißt, die Produktion kann kurzfristig verändert werden und flexibel auf Störungen und Ausfälle, zum Beispiel von Zulieferern, reagieren. Die Produktion ist durchgängig transparent und ermöglicht **optimale Entscheidungen**. Durch Industrie 4.0 entstehen **neue Formen von Wertschöpfung und neuartige Geschäftsmodelle**. Gerade für Start-ups und kleine Unternehmen bietet sich hier die Chance, nachgelagerte Dienstleistungen zu entwickeln und anbieten.

Industrie 4.0 leistet darüber hinaus einen Beitrag zur **Bewältigung aktueller Herausforderungen** wie Ressourcen- und Energieeffizienz, urbane Produktion und demografischer Wandel. **Ressourcenproduktivität** und **-effizienz** lassen sich in Industrie 4.0 fortlaufend und über das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk hinweg verbessern. Arbeit kann **demografie-sensibel** und sozial gestaltet werden. Die Mitarbeiter können sich dank intelligenter Assistenzsysteme auf die kreativen, wertschöpfenden Tätigkeiten konzentrieren und werden von Routineaufgaben entlastet. Angesichts eines drohenden Fachkräftemangels kann auf diese Weise die Produktivität älterer Arbeitnehmer in einem längeren Arbeitsleben erhalten werden. Die flexible Arbeitsorganisation ermöglicht es den Mitarbeitern, Beruf und Privatleben sowie Weiterbildung besser miteinander zu kombinieren und erhöht die ***Work-Life-Balance***.

Der globale Wettbewerb in der Produktionstechnik nimmt zu. Neben Deutschland haben auch andere Länder den Trend zur Nutzung des Internets der Dinge und Dienste in der industriellen Produktion erkannt. Nicht nur Konkurrenten aus Asien setzen die heimische Industrie unter Druck, auch die USA wirken ihrer eigenen De-Industrialisierung mit Förderprogrammen zum „*advanced manufacturing*“ entgegen.

Damit die Transformation der industriellen Produktion hin zu Industrie 4.0 gelingt, sollte Deutschland eine **duale Strategie** verfolgen: 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. Gleichzeitig gilt es, neue Leitmärkte für CPS-Technologien und -Produkte zu gestalten und zu bedienen. Um diese Ziele der dualen CPS-Strategie zu erreichen, sind folgende Charakteristika von Industrie 4.0 zu verwirklichen:

- **Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke**
- **Digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette**
- **Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme**

Der Weg zur Industrie 4.0 erfordert in Deutschland enorme Anstrengungen in Forschung und Entwicklung. Um die duale Strategie umsetzen zu können, besteht **Forschungsbedarf** zu der horizontalen und vertikalen Integration von Produktionssystemen sowie zur Durchgängigkeit des *Engineerings*. Darüber hinaus sind die neuen sozialen Infrastrukturen der Arbeit in Industrie 4.0-Systemen in den Blick zu nehmen und CPS-Technologien weiterzuentwickeln.
Neben Forschung und Entwicklung müssen für die Umsetzung von Industrie 4.0 auch industriepolitische und industrielle Entscheidungen getroffen werden. Der Arbeitskreis Industrie 4.0 sieht Handlungsbedarf in folgenden acht wichtigen **Handlungsfeldern**:

- **Standardisierung und Referenzarchitektur:** Industrie 4.0 bedeutet die firmenübergreifende Vernetzung und Integration über Wertschöpfungsnetzwerke. Diese kollaborative Zusammenarbeit wird nur mithilfe gemeinsamer, einheitlicher Standards gelingen. Für deren technische Beschreibung und Umsetzung ist eine Referenzarchitektur notwendig.
- **Beherrschung komplexer Systeme:** Produkte und Produktionssysteme werden immer komplexer. Adäquate Planungs- und Erklärungsmodelle sind eine Basis, um die zunehmende Komplexität zu beherrschen. Ingenieuren müssen Methoden und Werkzeuge an die Hand gegeben werden, um solche Modelle zu erstellen.
- **Flächendeckende Breitbandinfrastruktur für die Industrie:** Eine grundlegende Voraussetzung für Industrie 4.0 sind ausfallsichere, flächendeckende Kommunikationsnetze hoher Qualität. Die Breitband-Internet-Infrastruktur innerhalb Deutschlands und zu den Partnerländern muss daher massiv ausgebaut werden.
- **Sicherheit:** Die Betriebs- und Angriffssicherheit sind in den intelligenten Produktionssystemen erfolgskritische Faktoren. Zum einen sollen von den Produktionsanlagen und Produkten keine Gefahren für Menschen und Umgebung ausgehen; zum anderen müssen die Anlagen und Produkte selbst vor Missbrauch und unbefugtem Zugriff geschützt werden – insbesondere die darin enthaltenen Daten und Informationen. Dazu sind zum Beispiel integrierte Sicherheitsarchitekturen und eindeutige Identitätsnachweise zu verwirklichen, aber auch Aus- und Weiterbildungsinhalte entsprechend zu ergänzen.
- **Arbeitsorganisation und -gestaltung:** Die Rolle der Beschäftigten erfährt in der Smart Factory einen erheblichen Wandel. Die zunehmende echtzeitorientierte Steuerung verändert Arbeitsinhalte, -prozesse und -umgebungen. Das bietet Chancen für eine stärkere Eigenverantwortung und Selbstentfaltung der Arbeitnehmer, die durch einen sozio-technischen Gestaltungsansatz verwirklicht werden können. Dazu sollten eine partizipative Arbeitsgestaltung sowie lebensbegleitende Qualifizierungsmaßnahmen in den Blick genommen und Referenzprojekte mit Vorbildcharakter initiiert werden.
- **Aus- und Weiterbildung:** Die Aufgaben- und Kompetenzprofile der Mitarbeiter werden sich in Industrie 4.0 stark verändern. Das macht adäquate Qualifizierungsstrategien und eine lernförderliche Arbeitsorganisation notwendig, die lebensbegleiten-

des Lernen und eine arbeitsplatznahe Weiterbildung ermöglichen. Dazu sollten zum Beispiel Modellvorhaben und „Netzwerke guter Praxis“ gefördert sowie digitale Lerntechniken erforscht werden.

- **Rechtliche Rahmenbedingungen:** Die neuen Produktionsprozesse und horizontalen Geschäftsnetzwerke in Industrie 4.0 müssen rechtsgemäß gestaltet und bestehendes Recht innovationsadäquat fortgebildet werden. Zu den Herausforderungen zählen der Schutz von Unternehmensdaten, Haftungsfragen, der Umgang mit personenbezogenen Daten und Handelsbeschränkungen. Gefragt ist nicht nur der Gesetzgeber, sondern vor allem die Wirtschaft: Leitfäden, Musterverträge und -betriebsvereinbarungen oder Selbstregulierungen wie Audits und vieles mehr sind geeignete Instrumente.
- **Ressourceneffizienz:** Der hohe Rohstoff- und Energieverbrauch der industriellen Produktion bedeutet nicht nur hohe Kosten, sondern auch Umwelt- und Versorgungsrisiken. In Industrie 4.0 lassen sich Ressourcenproduktivität und -effizienz steigern. Trade-offs zwischen dem Zusatzeinsatz an Ressourcen durch die Smart Factory und Einsparpotenzialen sollten ermittelt werden.

Der Weg zu Industrie 4.0 ist ein evolutionärer Prozess. Vorhandene Basistechnologien und Erfahrungen müssen an die Besonderheiten der Produktionstechnik angepasst werden sowie gleichzeitig innovative Lösungen für neue Standorte und neue Märkte erforscht werden. Dann kann Deutschland mit Industrie 4.0 seine internationale Wettbewerbsfähigkeit ausbauen und Produktionsvolumen am Standort halten.

Executive Summary

Executive Summary

Germany has one of the most competitive manufacturing industries in the world and is a **global leader in the manufacturing equipment sector**. This is in no small measure due to Germany's specialisation in research, development and production of innovative manufacturing technologies and the management of complex industrial processes. Germany's strong machinery and plant manufacturing industry, its globally significant level of IT competences and its know-how in embedded systems and automation engineering mean that it is extremely well placed to develop its position as a leader in the manufacturing engineering industry. Germany is thus uniquely positioned to tap into the potential of a new type of industrialisation: **Industrie 4.0**.

The first three industrial revolutions came about as a result of mechanisation, electricity and IT. Now, the introduction of the Internet of Things and Services into the manufacturing environment is ushering in a fourth industrial revolution. In the future, businesses will establish global networks that incorporate their machinery, warehousing systems and production facilities in the shape of **Cyber-Physical Systems (CPS)**. In the manufacturing environment, these Cyber-Physical Systems comprise smart machines, storage systems and production facilities capable of autonomously exchanging information, triggering actions and controlling each other independently. This facilitates fundamental improvements to the industrial processes involved in manufacturing, engineering, material usage and supply chain and life cycle management. The **smart factories** that are already beginning to appear employ a completely new approach to production. Smart products are uniquely identifiable, may be located at all times and know their own history, current status and alternative routes to achieving their target state. The embedded manufacturing systems are vertically networked with business processes within factories and enterprises and horizontally connected to dispersed value networks that can be managed in real time – from the moment an order is placed right through to outbound logistics. In addition, they both enable and require end-to-end engineering across the entire value chain.

Industrie 4.0 holds huge potential. Smart factories allow **individual customer requirements** to be met and mean that even one-off items can be manufactured profitably. In Industrie 4.0, **dynamic business and engineering processes** enable last-minute changes to production and deliver the ability to respond flexibly to disruptions and failures on behalf of suppliers, for example. End-to-end transparency is provided over the manufacturing process, facilitating **optimised decision-making**. Industrie 4.0 will also result in **new ways of creating value and novel business models**. In particular, it will provide start-ups and small businesses with the opportunity to develop and provide downstream services.

In addition, Industrie 4.0 will address and **solve some of the challenges facing the world today** such as resource and energy efficiency, urban production and demographic change. Industrie 4.0 enables continuous **resource productivity and efficiency** gains to be delivered across the entire value network. It allows work to be organised in a way that takes **demographic change** and social factors into account. Smart assistance systems release workers from having to perform routine tasks, enabling them to focus on creative, value-added activities. In view of the impending shortage of skilled workers, this will allow older workers to extend their working lives and remain productive for longer. Flexible work organisation will enable workers to combine their work, private lives and continuing professional development more effectively, promoting a better **work-life balance**.

Global competition in the manufacturing engineering sector is becoming fiercer and fiercer and Germany is not the only country to have recognised the trend to deploy the Internet of Things and Services in manufacturing industry. Moreover, it is not just competitors in Asia that pose a threat to German industry – the US is also taking measures to combat deindustrialisation through programmes to promote "advanced manufacturing".

In order to bring about the shift from industrial production to Industrie 4.0, Germany needs to adopt a **dual strategy**. Germany's manufacturing equipment industry should seek to maintain its global market leadership by consistently integrating information and communication technology into its traditional high-tech strategies so that it can become the leading supplier of smart manufacturing technologies. At the same time, it will be necessary to create and serve new leading markets for CPS technologies and products. In order to deliver the goals of this dual CPS strategy, the following features of Industrie 4.0 should be implemented:

- **Horizontal integration through value networks**
- **End-to-end digital integration of engineering across the entire value chain**
- **Vertical integration and networked manufacturing systems**

The journey towards Industrie 4.0 will require Germany to put a huge amount of effort into research and development. In order to implement the dual strategy, **research is required** into the horizontal and vertical integration of manufacturing systems and end-to-end integration of engineering. In addition, attention should be paid to the new social infrastructures in the workplace that will come about as a result of Industrie 4.0 systems, as well as the continued development of CPS technologies.

If Industrie 4.0 is to be successfully implemented, research and development activities will need to be accompanied by the appropriate industrial and industrial policy decisions. The Industrie 4.0 Working Group believes that action is needed in the following eight **key areas**:

- **Standardisation and reference architecture:** Industrie 4.0 will involve networking and integration of several different companies through value networks. This collaborative partnership will only be possible if a single set of common standards is developed. A reference architecture will be needed to provide a technical description of these standards and facilitate their implementation.
- **Managing complex systems:** Products and manufacturing systems are becoming more and more complex. Appropriate planning and explanatory models can provide a basis for managing this growing complexity. Engineers should therefore be equipped with the methods and tools required to develop such models.
- **A comprehensive broadband infrastructure for industry:** Reliable, comprehensive and high-quality communication networks are a key requirement for Industrie 4.0. Broadband Internet infrastructure therefore needs to be expanded on a massive scale, both within Germany and between Germany and its partner countries.
- **Safety and security:** Safety and security are both critical to the success of smart manufacturing systems. It is important to ensure that production facilities and the products themselves do not pose a danger either to people or to the environment. At the same time, both production facilities and products and in particular the data and information they contain – need to be protected against misuse and unauthorised access. This will require, for example, the deployment of integrated safety and security architectures and unique identifiers, together with the relevant enhancements to training and continuing professional development content.
- **Work organisation and design:** In smart factories, the role of employees will change significantly. Increasingly real-time oriented control will transform work content, work processes and the working environment. Implementation of a socio-technical approach to work organisation will offer workers the opportunity to enjoy greater responsibility and enhance their personal development. For this to be possible, it will be necessary to deploy participative work design and lifelong learning measures and to launch model reference projects.
- **Training and continuing professional development:** Industrie 4.0 will radically transform workers' job and competence profiles. It will therefore be necessary to implement appropriate training strategies and to organise work in a way that fosters learning, enabling lifelong learning and

workplace-based CPD. In order to achieve this, model projects and "best practice networks" should be promoted and digital learning techniques should be investigated.

- **Regulatory framework:** Whilst the new manufacturing processes and horizontal business networks found in Industrie 4.0 will need to comply with the law, existing legislation will also need to be adapted to take account of new innovations. The challenges include the protection of corporate data, liability issues, handling of personal data and trade restrictions. This will require not only legislation but also other types of action on behalf of businesses – an extensive range of suitable instruments exists, including guidelines, model contracts and company agreements or self-regulation initiatives such as audits.
- **Resource efficiency:** Quite apart from the high costs, manufacturing industry's consumption of large amounts of raw materials and energy also poses a number of threats to the environment and security of supply. Industrie 4.0 will deliver gains in resource productivity and efficiency. It will be necessary to calculate the trade-offs between the additional resources that will need to be invested in smart factories and the potential savings generated.

The journey towards Industrie 4.0 will be an evolutionary process. Current basic technologies and experience will have to be adapted to the specific requirements of manufacturing engineering and innovative solutions for new locations and new markets will have to be explored. If this is done successfully, Industrie 4.0 will allow Germany to increase its global competitiveness and preserve its domestic manufacturing industry.

The full English version of the report is available at: **plattform-i40.de/finalreport2013**

Mitglieder des Arbeitskreises
Autoren
Fachexperten

Mitglieder des Arbeitskreises | Autoren | Fachexperten

Vorsitzende

Dr. Siegfried Dais, Robert Bosch GmbH
Prof. Dr. Henning Kagermann, acatech

AG-Sprecher

AG 1 – Die Smart Factory
Dr. Manfred Wittenstein, WITTENSTEIN AG

AG 2 – Das reale Umfeld
Prof. Dr. Siegfried Russwurm, Siemens AG

AG 3 – Das wirtschaftliche Umfeld
Dr. Stephan Fischer, SAP AG

AG 4 – Mensch und Arbeit
Prof. Dr. Wolfgang Wahlster, DFKI

AG 5 – Der Faktor Technologie
Dr. Heinz Derenbach, Bosch Software Innovations GmbH

Mitglieder aus der Wirtschaft

Dr. Reinhold Achatz, ThyssenKrupp AG
Dr. Heinrich Arnold, Deutsche Telekom AG
Dr. Klaus Dräger, BMW AG
Dr. Johannes Helbig, Deutsche Post DHL AG
Dr. Wolfram Jost, Software AG
Dr. Peter Leibinger, TRUMPF GmbH & Co. KG
Dr. Reinhard Ploss, Infineon Technologies AG
Volker Smid, Hewlett-Packard GmbH
Dr. Thomas Weber, Daimler AG
Dr. Eberhard Veit, Festo AG & Co. KG
Dr. Christian Zeidler, ABB Ltd.

Mitglieder aus der Wissenschaft

Prof. Dr. Reiner Anderl, TU Darmstadt
Prof. Dr. Thomas Bauernhansl, Fraunhofer-Institut IPA
Prof. Dr. Michael Beigl, KIT
Prof. Dr. Manfred Broy, TU München
Prof. Dr. Werner Damm, Universität Oldenburg / Offis
Prof. Dr. Jürgen Gausemeier, Universität Paderborn
Prof. Dr. Otthein Herzog, Jacobs University Bremen
Prof. Dr. Fritz Klocke, RWTH Aachen / WZL
Prof. Dr. Gunther Reinhart, TU München
Prof. Dr. Bernd Scholz-Reiter, BIBA

Forschungsunion & Verbände

Dr. Bernhard Diegner, ZVEI
Rainer Glatz, VDMA
Prof. Dieter Kempf, BITKOM
Prof. Dr. Gisela Lanza, WBK, KIT
Dr. Karsten Ottenberg, Giesecke & Devrient GmbH
Prof. Dr. August Wilhelm Scheer, Scheer Group
Dieter Schweer, BDI
Ingrid Sehrbrock, DGB
Prof. Dr. Dieter Spath, Fraunhofer IAO
Prof. Dr. Ursula M. Staudinger, Jacobs University Bremen

Gäste

Dr. Andreas Goerdeler, BMWi
Prof. Dr. Wolf-Dieter Lukas, BMBF
Ingo Ruhmann, BMBF
Dr. Alexander Tettenborn, BMWi
Dr. Clemens Zielonka, BMBF

Autoren-Kernteam

Klaus Bauer, Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG
Dr. Bernhard Diegner, ZVEI
Johannes Diemer, Hewlett-Packard GmbH
Wolfgang Dorst, BITKOM
Dr. Stefan Ferber, Bosch Software Innovations GmbH
Rainer Glatz, VDMA
Ariane Hellinger, acatech
Dr. Werner Herfs, RWTH Aachen / WZL
Marion Horstmann, Siemens AG
Dr. Thomas Kaufmann, Infineon Technologies AG
Dr. Constanze Kurz, IG Metall
Dr. Ulrich Löwen, Siemens AG
Veronika Stumpf, acatech

Kapitel 5.4 Sicherheit

Matthias Brucke, OFFIS Institut für Informatik
Jürgen Niehaus, SafeTRANS – Safety in Transportation Systems

Kapitel 5.7 Rechtliche Rahmenbedingungen

Prof. Dr. Gerrit Hornung, Universität Passau
Kai Hofmann, Universität Passau

Co-Autoren

Dr. Kurt D. Bettenhausen, Siemens AG
Dr. Kerstin Geiger, SAP AG
Jörg Heuer, Telekom AG
Dr. Günter Hörcher, Fraunhofer-Institut IPA
Petra Köpfer-Behncke, SAP AG
Jörn Lehmann, VDMA
Dr. Katja Patzwaldt, Jacobs University Bremen
Steven Peters, WBK, KIT
Dr. Harald Schöning, Software AG
Joachim Seidelmann, Fraunhofer-Institut IPA
Prof. Dr. Ursula M. Staudinger, Jacobs University Bremen

Weitere Autoren aus den AGs

Vinay Aggarwal, Deutsche Telekom AG
Mathias Anbuhl, DGB
Dr. Dietmar Dengler, DFKI
Ulrich Doll, Homag Holzbearbeitungssysteme GmbH
Dr. Gerhard Hammann, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG
Andreas Haubelt, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG
Dirk Hilgenberg, BMW AG
Bernd Kärcher, Festo AG & Co.KG
Dr. Alassane Ndiaye, DFKI
Dr. Detlef Pauly, Siemens AG
Tobias Philipp, IWB
Dr. Heinz-Jürgen Prokop, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG
Michael Wetzel, Daimler AG

Wir danken den Teilnehmern der folgenden Fachexpertenworkshops

„Security" am 18. Januar 2013 in Frankfurt am Main für ihren Input zu Kapitel 5.4

Klaus Bauer, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH&Co. KG
Christoph Bier, Fraunhofer IOSB
Slavtcho Bonev, Epyxs GmbH
Willem Bulthuis, secunet Security Networks AG
Stefan Ditting, HIMA Paul Hildebrandt GmbH + Co. KG
Wolfgang Dorst, BITKOM
Armin Glaser, Pilz GmbH & Co. KG
Rainer Glatz, VDMA
Stephan Gurke, ZVEI
Dr. Magnus Harlander, GeNUA Gesellschaft für Netzwerk und Unix-Administration mbH
Dr. Thorsten Henkel, Fraunhofer SIT
Dr. Detlef Houdeau, Infineon Technologies AG
Dr. Lutz Jänicke, Innominate Security Technologies AG
Hartmut Kaiser, secunet Security Networks AG
Johannes Kalhoff, Phoenix Contact GmbH & Co.KG
Prof. Dr. Frithjof Klasen, Fachhochschule Köln, Institut für Automation & Industrial IT
Dr. Wolfgang Klasen, Siemens AG
Jörn Lehmann, VDMA
Jens Mehrfeld, BSI
Sebastian Rohr, accessec GmbH
Martin Schwibach, BASF SE
Hansjörg Sperling-Wohlgemuth, Pilz GmbH & Co. KG
Dr. Walter Speth, Bayer Technology Services GmbH
Dr. Martin Steinebach, Fraunhofer SIT
Winfried Stephan, T-Systems International GmbH
Carolin Theobald, ZVEI
Benjamin Törl, Epyxs GmbH
Dr. Martin Vetter, TÜV Süd AG
Michael Vöth, Robert Bosch GmbH
Dr. Alexander Walsch, General Electric Deutschland Holding GmbH
Marc Wiesner, VDMA
Oliver Winzenried, WIBU-SYSTEMS AG
Steffen Zimmermann, VDMA

„Rechtliche Rahmenbedingungen" am 28. Januar 2013 in Berlin für ihren Input zu Kapitel 5.7

Till Barleben, ZVEI
Klaus Bauer, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG
Dr. Georg Böttcher, Siemens AG
Alfons Botthof, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Susanne Dehmel, BITKOM
Johannes Diemer, Hewlett-Packard GmbH
Kai Hofmann, Universität Passau
Prof. Dr. Gerrit Hornung, Universität Passau
Sven Hötitzsch, Universität Würzburg
Lars Kripko, BITKOM
Dr. Reinold Mittag, IG Metall
Christian Patschke, DLR
Dr. Mario Rehse, BITKOM
Natalie Swann, Hewlett-Packard GmbH
Marc Wiesner, VDMA

1 Einleitung

1 Einleitung

Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern

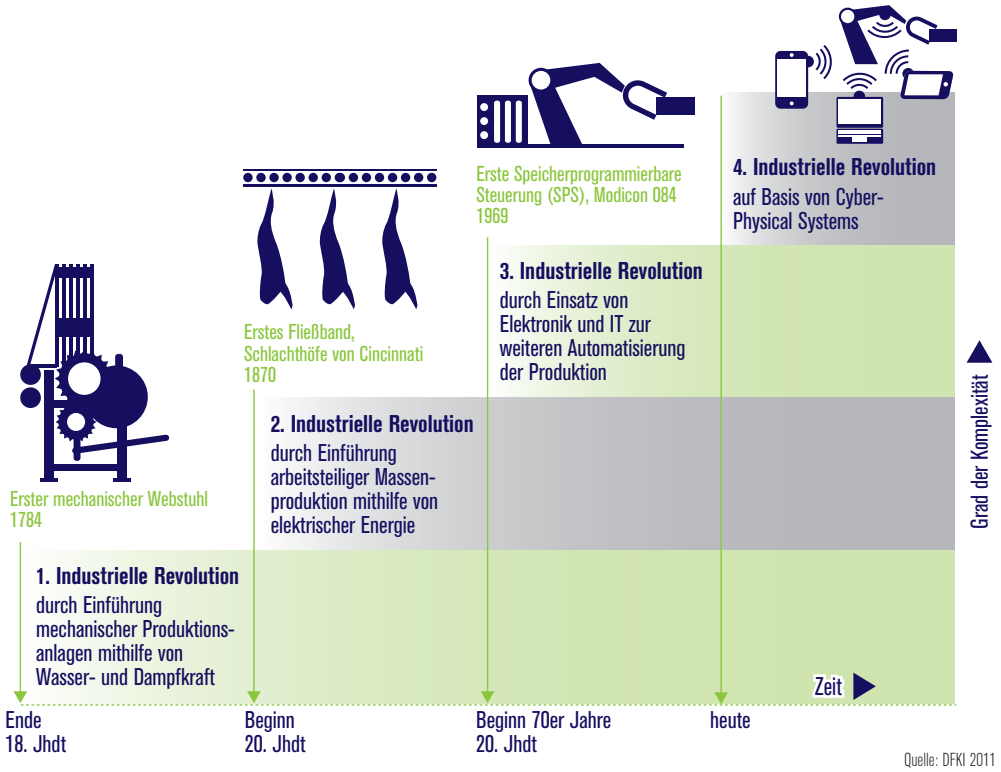
Deutschland ist einer der konkurrenzfähigsten Industriestandorte weltweit. Grund dafür ist seine Fähigkeit, komplexe, arbeitsteilige und geografisch verteilte industrielle Prozesse zu steuern. Dazu werden seit Jahrzehnten erfolgreich Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) eingesetzt – bereits heute werden rund 90 Prozent aller industriellen Produktionsprozesse durch IKT unterstützt. Nach Mechanisierung und Elektrifizierung hat die seit rund 30 Jahren andauernde Informatisierung zu einer radikalen Umgestaltung unserer Lebens- und Arbeitswelt geführt, die mit den ersten beiden Industriellen Revolutionen vergleichbar ist.[1]

Personal Computer (PC) haben sich zu intelligenten Geräten (*Smart Devices*) weiterentwickelt. Gleichzeitig werden IT-Infrastrukturen und Dienste immer umfassender über intelligente Netze (*Cloud Computing*) bereitgestellt. Im Zusammenspiel mit der fortschreitenden Miniaturisierung und dem Siegeszug des Internets führt dieser Trend zur Allgegenwärtigkeit der rechnergestützten Informationsverarbeitung (*Ubiquitous Computing*). Autonome, leistungsfähige Kleinstcomputer (Eingebettete Systeme/*Embedded Systems*) werden zunehmend drahtlos untereinander und mit dem Internet vernetzt: Die physikalische Welt und die virtuelle Welt (der *Cyber-Space*) verschmelzen zu sogenannten *Cyber-Physical Systems* (CPS). Mit der Einführung des neuen Internetprotokolls IPv6[2] im Jahr 2012 stehen ausreichend Adressen für die flächendeckende, unmittelbare Vernetzung von intelligenten Gegenständen per Internet zur Verfügung. Somit wird erstmals eine Vernetzung von Ressourcen, Informationen, Objekten und Menschen möglich, die auch die Industrie betrifft: das **Internet der Dinge und Dienste**.

Diese technologische Evolution lässt sich bezogen auf die Produktion als vierte Stufe des Industrialisierungsprozesses bewerten: Industrie 4.0 (Abb. 1).[3]

Der Industrialisierungsprozess begann mit der Einführung mechanischer Produktionsanlagen Ende des 18. Jahrhunderts, als Anlagen wie der mechanische Webstuhl die Warenfertigung revolutionierten.

Abbildung 1:
Die vier Stufen der Industriellen Revolution



Quelle: DFKI 2011

Die 1. und die 2. Industrielle Revolution – die arbeitsteilige Massenproduktion von Gütern mithilfe elektrischer Energie seit der Wende zum 20. Jahrhundert – mündeten ab Anfang der 1970er Jahre in die bis heute andauernde 3. Industrielle Revolution. Hierbei wurde mit dem Einsatz von Elektronik und Informationstechnologien (IT) die Automatisierung von Produktionsprozessen weiter vorangetrieben und ein signifikanter Teil der „Handarbeit" sowie ein Teil der „Kopfarbeit" von Maschinen übernommen.

Deutschland sollte seine Stärke als „Fabrikausrüster der Welt" und seine Stärke bei Eingebetteten Systemen nutzen, um mit dem Einzug des Internets der Dinge und Dienste in die Fabrik eine neue, die vierte Stufe der Industrialisierung einzuläuten.

Die Entwicklung von Industrie 4.0 wird nicht nur Deutschlands Wettbewerbsfähigkeit stärken, sondern auch die Bewältigung der globalen Herausforderungen (wie Ressourcen- und Energieeffizienz) und nationalen Herausforderungen (wie die Gestaltung des demografischen Wandels) vorantreiben. Allerdings dürfen technologische Innovationen nicht aus ihrem soziokulturellen Hintergrund gerissen werden;[4] gleichzeitig sind kulturell-gesellschaftliche Veränderungen selbst ein starker Innovationstreiber. Dies gilt etwa für den demografischen Wandel, der ein Veränderungspotenzial für alle wichtigen gesellschaftlichen Bereiche besitzt: für die Organisation von Lernen, Arbeit und Gesundheit in einem verlängerten Leben und damit auch für die kommunalen Infrastrukturen, was wiederum zentrale Auswirkungen auf Deutschlands Produktivität hat. Die Optimierung der Wechselwirkung zwischen den technischen und den sozialen Innovationsprozessen wird einen wichtigen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit und Produktivität Deutschlands leisten.[5]

Das Internet der Dinge und Dienste für die Produktion nutzen

Durch das Internet der Dinge und Dienste kann auch die Fabrik mit ihrem gesamten Produktionsumfeld zu einer intelligenten Umgebung vernetzt werden. *Cyber-Physical Systems* in der Produktion umfassen intelligente Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel, die digital entwickelt wurden und durchgängig von der Eingangslogistik über die Produktion, das Marketing und die Ausgangslogistik bis zum *Service* mittels IKT verzahnt sind. Somit wird die Produktion nicht nur flexibler gestaltet, sondern es lassen sich die Möglichkeiten nutzen, die sich durch sehr viel stärker ausdifferenzierte Steuerungs- und Regelungsprozesse ergeben.
Industrie 4.0 bedeutet daher nicht allein die Optimierung bestehender IT-gestützter Prozesse, sondern auch die Erschließung von Potenzialen aus einer noch differenzierteren Verfolgung von detaillierten Abläufen und den Gesamteffekten im Globalen,[6] die vorher nicht erfassbar waren. Industrie 4.0 bedeutet zugleich eine noch intensivere Kooperation zwischen Geschäftspartnern (etwa Lieferanten und Kunden) sowie zwischen Mitarbeitern, woraus sich neue Möglichkeiten wechselseitigen Nutzens ergeben.[7]

Deutschland ist als „Fabrikausrüster der Welt" wie kein anderes Land dafür geeignet, die Potenziale dieser neuen Form der Industrialisierung zu erschließen.[8] Zahlreiche *Hidden Champions* gehören mit Speziallösungen zu den Weltmarktführern; unter den 100 deutschen Kleinen und Mittleren Unternehmen (KMU) in Spitzenposition sind 22 Maschinen- und Anlagenbauer, darunter drei unter den Top 10.[9] Viele Branchenvertreter im Maschinen- und Anlagenbau sehen den stärksten Hauptwettbewerber im eigenen Land.[10] Im Export sind Maschinen und Anlagen neben Automobilen und chemischen Produkten die Hauptgüter.[11]

Das Internet der Dinge und Dienste hält Einzug in der Fabrik

Industrie 4.0 meint im Kern die technische Integration von CPS in die Produktion und die Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen Prozessen – einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle sowie die nachgelagerten Dienstleistungen und die Arbeitsorganisation.

» Die Fabrik der Zukunft bietet eine ungeahnte Flexibilität bei optimalem Ressourceneinsatz. Industrie 4.0 ist eine Chance für Deutschland, als Produktionsstandort, Fabrikausrüster und Anbieter von Business-IT noch stärker zu werden. Es ist ermutigend, dass in Deutschland nun mit der Plattform Industrie 4.0 alle beteiligten Akteure in enger Kooperation mit der Umsetzung beginnen. «

Prof. Dr. Henning Kagermann
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.
Sprecher der Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion und Co-Vorsitzender des Arbeitskreises Industrie 4.0

Die deutschen Maschinen- und Anlagenbauer sehen sich auch zukünftig in einer Spitzenposition: Gut 60 Prozent rechnen mit einer verbesserten technischen Wettbewerbsposition in den kommenden fünf Jahren; knapp 40 Prozent streben an, ihre jetzige Position zu halten.[12] Gleichzeitig wächst der globale Wettbewerbsdruck in der Produktionstechnik ständig. Nicht nur Konkurrenten aus Asien setzen die heimische Industrie unter Druck, auch die USA wirken ihrer eigenen De-Industrialisierung mit Förderprogrammen zum *advanced manufacturing* entgegen. Zugleich wird die industrielle Produktion immer dynamischer und komplexer. So wird beispielsweise durch die Verbesserungen der Laser-Sintertechnologie das „Drucken" von komplexen 3D-Strukturen binnen weniger Stunden in guter Qualität ermöglicht. Dadurch entstehen völlig neue Geschäftsmodelle und endkundennahe *Services:* Kunden kreieren ihre eigenen Designs und mailen diese zum „Copyshop" oder lassen sich Gegenstände abscannen und „kopieren".

Ausgehend von der Initiative der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft haben sich die Akteure der Plattform Industrie 4.0 daher zum Ziel gesetzt, das Zukunftsprojekt der Bundesregierung zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandortes umzusetzen.[13]

Das Potenzial von Industrie 4.0 ist immens:

- **Individualisierung der Kundenwünsche**
  Industrie 4.0 ermöglicht die Berücksichtigung von individuellen kundenspezifischen Kriterien bei Design, Konfiguration, Bestellung, Planung, Produktion und Betrieb einschließlich kurzfristiger Änderungswünsche. Dank Industrie 4.0 kann dabei selbst die Produktion von Einzelstücken und Kleinstmengen (Losgröße 1) rentabel werden.

- **Flexibilisierung**
  Die CPS-basierte Ad-hoc-Vernetzung ermöglicht eine dynamische Gestaltung der Geschäftsprozesse in unterschiedlichen Dimensionen: Qualität, Zeit, Risiko, Robustheit, Preis, Umweltverträglichkeit etc. Dadurch können Materialien und Lieferketten fortwährend „getrimmt" werden. Gleichzeitig können *Engineering*-Prozesse agil gestaltet, Produktionsvorgänge verändert und kurzfristige Ausfälle (beispielsweise bei Zulieferern) kompensiert oder auch Liefermengen in kurzer Zeit massiv erhöht werden.
- **Optimierte Entscheidungsfindung**
  Richtige Entscheidungen – auch kurzfristig – treffen zu können wird im globalen Wettbewerb zum erfolgskritischen Faktor. Die in Industrie 4.0 vorliegende durchgängige Transparenz in Echtzeit ermöglicht im Engineering eine frühzeitige Absicherung von Entwurfsentscheidungen und in der Produktion flexiblere Reaktionen auf Störungen und eine standortübergreifende globale Optimierung.
- **Ressourcenproduktivität und -effizienz**
  Auch in Industrie 4.0 bleiben die übergeordneten strategischen Ziele für industrielle Produktionsprozesse bestehen: eine möglichst hohe Ausbringung an Produkten bei gegebenen Ressourcen (Ressourcenproduktivität) und ein möglichst niedriger Ressourceneinsatz bei gegebener Produktionsmenge (Ressourceneffizienz). Durch CPS können die Produktionsprozesse nun situationsbezogen und über das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk optimiert werden. Zudem lassen sich beispielsweise Systeme nicht nur nach, sondern auch während der Produktion fortlaufend hinsichtlich Ressourcen- und Energieverbrauch oder geringerer Emissionen optimieren.[14]
- **Wertschöpfungspotenziale durch neue Dienstleistungen**
  Durch Industrie 4.0 entstehen neue Formen von Wertschöpfung und Beschäftigung, zum Beispiel durch nachgelagerte Dienstleistungen. Die durch die intelligenten Geräte erfassten vielfältigen und umfangreichen Daten (*Big Data*) können durch intelligente Algorithmen für innovative Dienstleistungen genutzt werden. Gerade für KMU und Start-ups bietet sich dadurch ein großes Potenzial im Entwickeln von B2B- (*Business-to-Business-) Services* für Industrie 4.0.
- **Demografie-sensible Arbeitsgestaltung**
  Das interaktive Zusammenspiel zwischen Mensch und technischen Systemen schafft in Verbindung mit Maßnahmen der Arbeitsgestaltung und Kompetenzentwicklung neue Möglichkeiten für die Unternehmen, vom demografischen Wandel zu profitieren. In Zeiten des Fachkräftemangels und der zunehmenden Diversität der Beschäftigten (bei Alter, Geschlecht, kulturellem Hintergrund) ermöglicht Industrie 4.0 vielfältige und flexible Laufbahnmodelle und damit nachhaltige Produktivität durch Arbeit.
- ***Work-Life-Balance***
  CPS-Betriebe sind aufgrund ihrer erhöhten Flexibilität in der Arbeitsorganisation bestens in der Lage, dem steigenden Bedürfnis von Arbeitnehmern zu entsprechen, Beruf und Privatleben, aber auch persönliche Weiterentwicklung und berufliche Weiterbildung besser miteinander zu kombinieren. So ergeben sich beispielsweise durch intelligente Assistenzsysteme neue Handlungsspielräume, den Arbeitseinsatz so zu gestalten, dass sowohl den Flexibilitätsbedürfnissen der Betriebe als auch den notwendigen Flexibilitätsspielräumen für den privaten Bereich in neuer Qualität Rechnung getragen werden kann. CPS-Betriebe besitzen dadurch einen klaren Vorteil beim Werben um gute Mitarbeiter auf einem schrumpfenden Arbeitsmarkt.
- **Wettbewerbsfähigkeit als Hochlohnstandort**
  Durch Industrie 4.0 kann Deutschland im Sinne einer dualen Strategie seine Position als Leitanbieter ausbauen und gleichzeitig zum Leitmarkt für Industrie 4.0-Lösungen werden.

Industrie 4.0 wird für die Branche(n) jedoch nicht nur eine rein technische Herausforderung oder ein ausschließliches IT-Problem darstellen. Der technische Wandel wird zugleich weitreichende organisatorische Konsequenzen haben und Chancen für neue Geschäftsmodelle, Unternehmenskonzeptionen und erweiterte Beteiligungsspielräume für die Beschäftigten eröffnen.

Deutschland hat „Industrie 3.0“, die 3. Industrielle Revolution Anfang der 1980er Jahre, erfolgreich gemeistert, indem es gelungen ist, durch die technische Integration von speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) in die Produktion die industrielle Fertigung zu automatisieren und zu flexibilisieren und gleichzeitig die Auswirkungen für die Beschäftigten sozialpartnerschaftlich zu gestalten. Mit seinem starken industriellen Kern, seiner erfolgreichen *Software*-Industrie und dem *Know-how* in semantischen Technologien[15] hat Deutschland die besten Voraussetzungen, Industrie 4.0 einzuläuten. Bestehende Hürden wie etwa die Technologieakzeptanz oder Beschränkungen des Fachkräfte-Pools im Arbeitsmarkt können genommen werden. Die Zukunft lässt sich jedoch nur sichern, wenn die Möglichkeiten des Internets der Dinge und Dienste gemeinsam von allen beteiligten Akteuren für die Industrie nutzbar gemacht werden.

Die Bundesregierung hat im Rahmen ihrer Hightech-Strategie seit 2006 das Internet der Dinge und Dienste[16] gefördert und zahlreiche Technologieprogramme erfolgreich gestartet. Mit dem Zukunftsprojekt Industrie 4.0 hat die Forschungsunion die Initiative branchenübergreifend ergriffen. Die Plattform Industrie 4.0 mit einer gemeinsamen Geschäftsstelle der Industrieverbände BITKOM, VDMA und ZVEI ist der konsequente Umsetzungsschritt. Es gilt nun, Forschungs- und Entwicklungs-*Roadmaps* in den zentralen Handlungsfeldern zu entwickeln.

Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – das ist das Ziel der Akteure der Plattform Industrie 4.0. Sie lädt alle Beteiligten ein, die Chancen durch Industrie 4.0 weiterzudenken und den revolutionären Ideen gemeinsam zum Erfolg zu verhelfen.

1 „Die bis heute andauernde Informatisierung hat unsere Lebenswelt in den letzten 30 Jahren radikaler umgekrempelt als vermutlich die 200-jährige Entwicklung zuvor und hat ebenso zu einer erneuten radikalen Umgestaltung der Arbeitswelt geführt, die nur mit dem Umbruch der ersten Industriellen Revolution vergleichbar ist.“, Zitat in: Kornwachs, Klaus: Ergänzung und Verdrängung der Arbeit durch Technik – Eine Herausforderung für die Technikwissenschaften, in: Ders. (Hrsg.): Bedingungen und Triebkräfte technologischer Innovationen (acatech DISKUTIERT), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2007, S. 177.

2 Das Internet Protocol Version 6 (IPv6) löste mit seiner Einführung Mitte 2012 die bisher verwendete vierte Version des Protokolls ab. Die generierten IP-Adressen bestehen bei IPv6 aus 128 statt wie bisher bloß aus 32 Stellen, wodurch sich die verfügbaren Adressen von 4,3 Milliarden auf 340 Sextillionen erweitern.

3 Das durch Industrie 4.0 bezeichnete Phänomen wird international unterschiedlich betitelt. Verwendet werden etwa die Begriffe „Industrial Internet“ oder auch „3rd Industrial Revolution“, s. dazu Kapitel 6.

4 Vgl. zu Innovationen und Technikzukünften: acatech (Hrsg.): Technikzukünfte. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten (acatech IMPULS), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012, S. 16: „Entscheidend ist, dass beim Nachdenken über die Zukunft technische Innovationen nicht aus ihrem soziokulturellen Zusammenhang gerissen werden dürfen. Welchen Stellenwert [beispielsweise] die verschiedenen Energieträger in Zukunft einnehmen, wird wesentlich von der jeweiligen gesellschaftlichen Akzeptanz, den ökonomischen Verhältnissen und der globalen politischen Lage abhängen. Neuerdings wird mit Begriffen wie ‚Innovationssystemen‘ und ‚Innovationskulturen‘ verstärkt nach diesen größeren soziokulturellen Zusammenhängen gefragt.“

5 Im vorliegenden Bericht liegt der Schwerpunkt auf der Diskussion des technischen Innovationspotentials von Industrie 4.0.

6 Die Globalisierung in der Produktion wie etwa in der Automobilindustrie ist heute ein Fakt. Ein „deutsches“ Automobil ist im Inneren mit Komponenten aus Asien, Europa und Amerika ein internationales Produkt geworden und wird darüber hinaus auch in den jeweiligen Zielmärkten montiert. Die zugehörige Informationstechnologie hat dieser Vernetzung in der Logistik und Produktion bisher nur bedingt Rechnung getragen. Die IT-Systeme enden heute typischerweise noch an den Unternehmens- und Werksgrenzen.

7 Das hohe Veränderungspotenzial der Informationstechnik wird auch in der Rückschau deutlich: „Aus technischer Perspektive wird richtungsweisend für zukünftige Fabrikstrukturen der durchgängige Informationsfluss sein, bei dem die elektronische Datenverarbeitung in einem bereichsübergreifenden Informationssystem alle zusammenhängenden Fabrikbereiche verbindet. Die höchste Ebene der rechnerunterstützten Fabrikorganisation ist durch eine Integrationsstrategie für die einzelnen Teilsysteme gekennzeichnet.“, in: Spur, Günther: Evolution der industriellen Produktion, in: Spur, Günther (Hrsg.): Optionen zukünftiger Produktionssysteme, Berlin: Akademie Verlag 1997, S. 23.

8 In diesem Zusammenhang kommt dem Maschinen- und Anlagenbau mit einem Jahresumsatz von 200,5 Milliarden Euro und rund 931.000 Beschäftigten (Durchschnitt 2011) eine besondere Bedeutung zu.

9 Wirtschaftswoche Ranking, WiWo, 4/2013, S. 40-50.

10 VDMA: Tendenzbefragung. Internationale Wettbewerbsposition des deutschen Maschinen- und Anlagebaus, Oktober 2012.

11 Statistisches Bundesamt, Zahlen von 2011. Online unter: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/151019/umfrage/exportgueter-aus-deutschland/

12 VDMA: Tendenzbefragung. Internationale Wettbewerbsposition des deutschen Maschinen- und Anlagebaus, Oktober 2012.

13 S. dazu den Hightech-Strategie- (HTS-)Aktionsplan der Bundesregierung, Zukunftsprojekt Industrie 4.0, S. 52ff. Online unter: http://www.bmbf.de/pub/HTS-Aktionsplan.pdf

14 Vgl. Vogel-Heuser, Birgit u.a.: Forschungsfragen in „Produktautomatisierung der Zukunft“ (acatech MATERIALIEN), München: 2012, S. 28.

15 Mit dem Forschungsprogramm THESEUS zum Leuchtturmprojekt „Internet der Dienste“ förderte die Bundesregierung von 2007 bis 2012 die Entwicklung und Erprobung neuer internetbasierter Wissensinfrastrukturen, um das Wissen im Internet besser zu nutzen und zu verwerten. Im Fokus des Forschungsprogramms standen semantische Technologien, die Inhalte (Wörter, Bilder, Töne) nicht mithilfe herkömmlicher Verfahren (zum Beispiel Buchstabenkombinationen) ermitteln, sondern die inhaltliche Bedeutung der Informationen erkennen und einordnen können. Online unter: http://www.bmwi.de/DE/Themen/Digitale-Welt/Internet-der-Zukunft/internet-der-dienste,did=360458.html

16 S. ausführlich dazu Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (Hrsg.): Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Handlungsempfehlungen zur Umsetzung (Bericht der Promotorengruppe Kommunikation), Berlin: 2012.

2 Die Vision: Industrie 4.0 als Teil einer vernetzten, intelligenten Welt

2 Die Vision: Industrie 4.0 als Teil einer vernetzten, intelligenten Welt

In einer „intelligenten, vernetzten Welt“ wird das Internet der Dinge und Dienste in allen Bedarfsfeldern[1] Einzug halten. Der Wandel vollzieht sich in der Energieversorgung hin zu intelligenten Energienetzen (*Smart Grids*), bei nachhaltigen Mobilitätskonzepten (*Smart Mobility, Smart Logistics*) sowie bei Gesundheit und Pflege (*Smart Health*). In der Produktion führt die zunehmende Intelligenz von Produkten und Systemen, deren vertikale Vernetzung, verbunden mit einem durchgängigen *Engineering*, und die horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke nun zur vierten Stufe der Industrialisierung – „Industrie 4.0“.

Industrie 4.0 fokussiert auf die Produktion intelligenter Produkte, Verfahren und Prozesse (*Smart Production*). Ein wichtiges Element von Industrie 4.0 ist die **intelligente Fabrik** (*Smart Factory*). Die *Smart Factory* beherrscht Komplexität, ist weniger störanfällig und steigert die Effizienz in der Produktion. In der *Smart Factory* kommunizieren Menschen, Maschinen und Ressourcen so selbstverständlich wie in einem sozialen Netzwerk. **Intelligente Produkte** (*Smart Products*) verfügen über das Wissen ihres Herstellungsprozesses und künftigen Einsatzes. Sie unterstützen aktiv den Fertigungsprozess („wann wurde ich gefertigt, mit welchen Parametern muss ich bearbeitet werden, wohin soll ich ausgeliefert werden etc.“). Mit ihren Schnittstellen zu *Smart Mobility, Smart Logistics* und dem *Smart Grid* ist die intelligente Fabrik ein wichtiger Bestandteil zukünftiger intelligenter Infrastrukturen. So werden sich herkömmliche Wertschöpfungsketten verändern und neue Geschäftsmodelle etablieren[2].

Industrie 4.0 ist daher nicht „isoliert“ zu denken, sondern versteht sich als ein Bedarfsfeld von mehreren. Die Gestaltung von Industrie 4.0 sollte daher interdisziplinär und im engen Austausch mit anderen Bedarfsfeldern vorgenommen werden (s. Abb. 2).

2.1 Die Vision Industrie 4.0 gestalten

Der notwendige Paradigmenwechsel hin zur Industrie 4.0 ist ein langfristiges Vorhaben und wird nur in einem schrittweisen Prozess möglich sein. Dabei kommt dem Erhalt des Wertbestandes bereits installierter Produktionssysteme eine zentrale Bedeutung zu. Gleichzeitig sind Migrationsstrategien erforderlich, die frühzeitig Nutzen stiften (s. auch Kap. 3 und Kap. 5.4). Dennoch wird es in Teilbereichen zu Sprunginnovationen kommen.

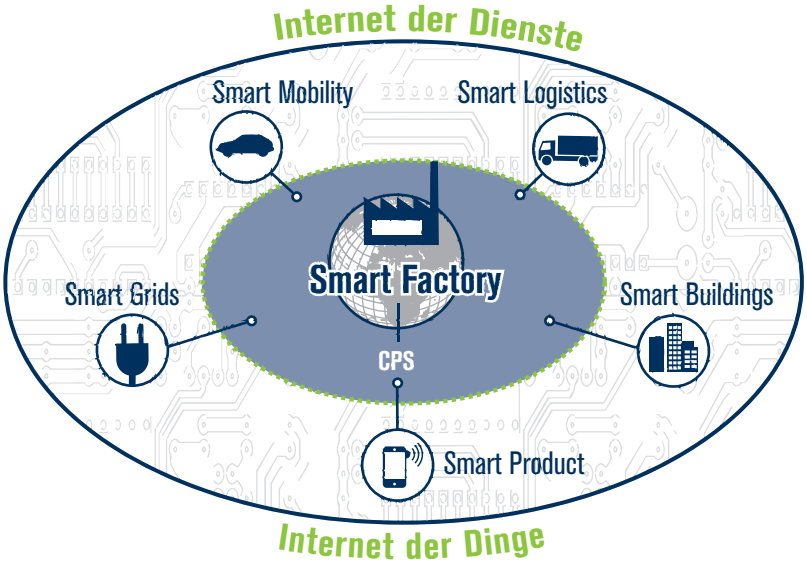


Abbildung 2: Industrie 4.0 und die ***Smart Factory*** als Teil des Internets der Dinge und Dienste

Unter **horizontaler Integration** versteht man in der Produktions- und Automatisierungstechnik sowie der IT die Integration der verschiedenen IT-Systeme für die unterschiedlichen Prozessschritte der Produktion und Unternehmensplanung, zwischen denen ein Material-, Energie- und Informationsfluss verläuft, sowohl innerhalb eines Unternehmens (beispielsweise Eingangslogistik, Fertigung, Ausgangslogistik, Vermarktung) aber auch über mehrere Unternehmen (Wertschöpfungsnetzwerke) hinweg zu einer durchgängigen Lösung.

Unter **vertikaler Integration** versteht man in der Produktions- und Automatisierungstechnik sowie der IT die Integration der verschiedenen IT-Systeme auf den unterschiedlichen Hierarchieebenen (beispielsweise die Aktor- und Sensorebene, Steuerungsebene, Produktionsleitebene, *Manufacturing and Execution*-Ebene, Unternehmensplanungsebene) zu einer durchgängigen Lösung.

Für den Bestand und den Erfolg des Produktionsstandortes Deutschland ist es unabdingbar, diese 4. Industrielle Revolution **aktiv** mitzugestalten. Dabei kann an traditionelle Stärken der hiesigen Industrie- und Wissenslandschaft angeknüpft werden:

- Marktführerschaft im Anlagen- und Maschinenbau
- Eine in ihrer Konzentration weltweit beachtliche IT-Kompetenz
- Innovationsführerschaft in *Embedded Systems* und der Automatisierungstechnik
- Qualifizierte und hoch motivierte Beschäftigte
- Kurze Wege zu und teilweise intensive Kooperation zwischen Ausrüstern und Anwendern
- Leistungsfähige Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen

Die Umsetzung von Industrie 4.0 zielt darauf ab, vorhandene technologische und marktwirtschaftliche Potenziale zu heben, in einem systematisierten Innovationsprozess zu erschließen und mit den Kompetenzen, Leistungen und dem Wissen der Beschäftigten zu einem optimalen Gesamtpaket zusammenzufügen. Industrie 4.0 wird sich auf die folgenden übergeordneten Merkmale fokussieren:

- Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke
- Digitale Durchgängigkeit des *Engineerings* über die gesamte Wertschöpfungskette
- Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme

Die Aspekte dieser drei Merkmale im Rahmen einer dualen Strategie sind in Kapitel 3 genauer beschrieben.

2.2 Industrie 4.0-Zukunftsszenarien

Industrie 4.0 ermöglicht eine zunehmende Flexibilisierung und Robustheit auf höchstem Qualitätsniveau von *Engineering*-, Planungs-, Produktions-, Betriebs- und Logistikprozessen. Es entstehen dynamische echtzeitoptimierte und selbstorganisierende Wertschöpfungsketten, die sich nach unterschiedlichen Kriterien, wie beispielsweise Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch, optimieren lassen. All dies wird entsprechende rechtliche Regelwerke sowie standardisierte Schnittstellen und harmonisierte Geschäftsprozesse erfordern.

Industrie 4.0-Zukunftsszenarien lassen sich durch die folgenden Aspekte beschreiben:

- Sie zeichnen sich durch eine **neue Intensität sozio-technischer Interaktion** aller an der Produktion beteiligten Akteure und Ressourcen aus. Im Mittelpunkt steht eine Vernetzung von autonomen, sich situativ selbst steuernden, sich selbst konfigurierenden, wissensbasierten, sensorgestützten und räumlich verteilten Produktionsressourcen (Produktionsmaschinen, Roboter, Förder- und Lagersysteme, Betriebsmittel) inklusive deren Planungs- und Steuerungssysteme. Ein Kernelement des Szenarios ist die **intelligente Fabrik**, die *Smart Factory.* Eingebettet in firmenübergreifende Wertschöpfungsnetze zeichnet sie sich durch ein durchgängiges *Engineering* aus, das sowohl die Produktion als auch das produzierte Produkt umfasst, in dem die digitale und physische Welt nahtlos ineinandergreifen. Die *Smart Factory*

» Das Internet der Dinge und Dienste bietet ein immenses Innovationspotential für die Produktion. Wenn es uns jetzt gelingt, auch die web-basierten Dienstleistungen in Industrie 4.0 zu integrieren, haben wir dieses Potenzial ideal erweitert. «

Dr. Johannes Helbig
Deutsche Post AG
Mitglied der Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft

ermöglicht den Menschen die Beherrschung der zunehmenden Komplexität der Produktionsabläufe und macht die Produktion attraktiv, urbanverträglich und wirtschaftlich.

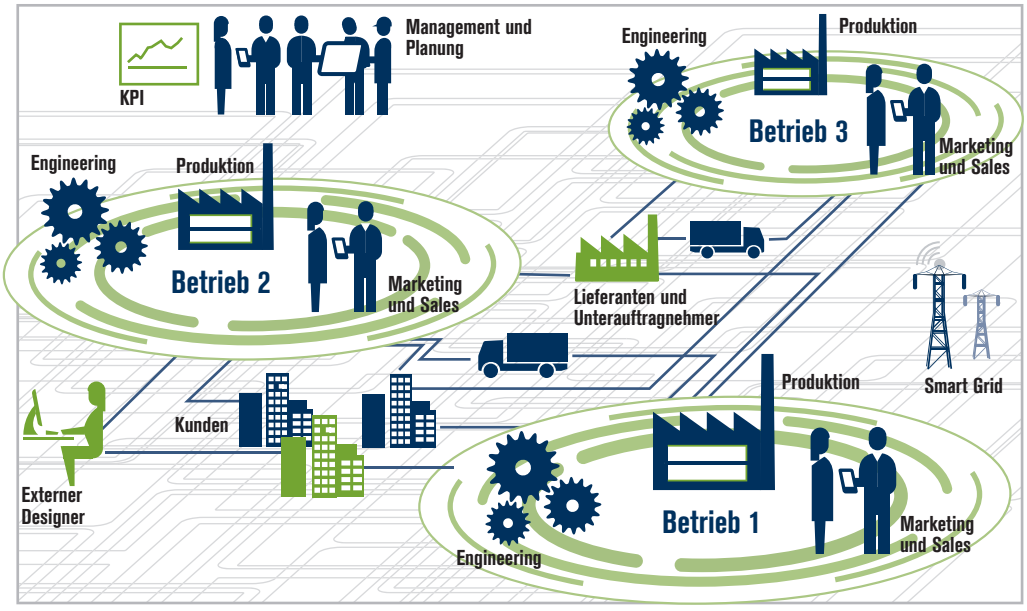
- In Industrie 4.0 entstehen auch intelligente Produkte (*Smart Products*), die eindeutig identifizierbar und jederzeit lokalisierbar sind. Sie verfügen bereits während der Produktion über das Wissen ihres Herstellungsprozesses. Deswegen können *Smart Products* in bestimmten Industriebranchen quasi selbstständig die einzelnen Stationen ihrer Produktion ansteuern. Darüber hinaus kann gewährleistet werden, dass das fertige Produkt die Parameter seines optimalen Einsatzes und seiner Einsatzbedingungen über den Lebenszyklus seiner Verschleißerscheinungen verteilt kennt. Diese Informationen werden in Summe für die Optimierung der *Smart Factory* hinsichtlich der Logistik, des Einsatzes und der Wartung sowie für die Integration in die betriebswirtschaftlichen IT-Anwendungen genutzt werden.
- In Industrie 4.0-Zukunftsszenarien können individuelle kunden- und produktspezifische Kriterien beim Entwurf, der Konfiguration, Bestellung, Planung, Produktion, dem Betrieb und beim Recycling berücksichtig werden. Selbst kurzfristige Änderungswünsche noch kurz vor oder während der Produktion und eventuell auch noch während des laufenden Betriebs können umgesetzt werden. Die Produktion von Einzelstücken und Kleinstmengen kann dadurch rentabel werden.
- Die Umsetzung der Zukunftsszenarien bietet den Beschäftigten die Möglichkeit, die intelligent vernetzten Produktionsressourcen und -schritte nach situativen und kontextabhängigen Zielvorgaben zu steuern, zu regulieren und zu gestalten. Die Mitarbeiter können sich auf die kreativen, wertschöpfenden Tätigkeiten fokussieren, da sie von Routineaufgaben entlastet werden. Die Beschäftigten spielen damit die entscheidende und vor allem die qualitätssichernde Rolle. Gleichzeitig bieten flexible Arbeitsbedingungen Möglichkeiten zur verbesserten Vereinbarkeit mit individuellen Bedürfnissen.

- Die Umsetzung von Industrie 4.0-Zukunftsszenarien fördert den weiteren Ausbau der entsprechenden Netzinfrastruktur und die Differenzierung der Qualität von Netzwerkdiensten durch Dienstleistungsabkommen (*Service Level Agreements,* SLA). So kann der Bedarf an hohen Bandbreiten für datenintensive Anwendungen und vom *Service-Provider* garantierte Laufzeiten für zeitkritische Anwendungen bedient werden.

2.3 Neue Geschäftsperspektiven und -modelle

Im Rahmen von Industrie 4.0 entstehen neue Kooperations- und Geschäftsmodelle, die sehr viel stärker auf individuelle und kurzfristige Kundenwünsche zugeschnitten sein werden. Sie werden auch KMU die Nutzung von Diensten und *Software*-Systemen ermöglichen, die aufgrund der heutigen Lizenz- und Geschäftsmodelle für sie noch nicht finanzierbar sind.
Die neuen Geschäftsmodelle werden Fragen der dynamischen Preisfindung unter Berücksichtigung der Kunden- und Wettbewerbssituation sowie Fragen der Qualität von Dienstleistungsvereinbarungen (*SLA*) im Rahmen der Vernetzung und Kooperation der Geschäftspartner beantworten. Angestrebt wird die faire Verteilung der Geschäftspotenziale auf alle — auch neue — *Stakeholder* in der Wertschöpfungskette. Übergeordnete rechtliche Rahmenbedingungen – wie beispielsweise die Reduzierung des CO_2-Ausstoßes (vgl. Kap. 5.8) – können und sollen in den Geschäftsmodellen verankert sein und dann über die Geschäftsnetzwerke kooperativ umgesetzt werden (s. Abb. 3).
Industrie 4.0-Szenarien wie etwa die *Use Cases* „Vernetzte Produktion", „Selbstorganisierende adaptive Logistik" und „Kundenintegriertes *Engineering*" (s. Anhang *Use Cases* 4, 5 und 6) erfordern Geschäftsmodelle, die in der Regel nicht mehr durch eine einzelne Firma, sondern durch ein (möglicherweise) hochdynamisches Geschäftsnetzwerk umgesetzt werden. Dadurch ergeben sich Fragestellungen zur Finanzierung, Entwicklung, Verlässlichkeit, zum Risiko und zur Haftung sowie zum Schutz von geistigem Eigentum (*Intellectual Property, IP*) und Wissen. Bei der Frage der Organisation und der qualifizierten Differenzierung von Diensten des Netzwerkes ist eine korrekte Verantwortungsaufteilung innerhalb der Geschäftsnetzwerke, die entsprechend verbindlich dokumentiert ist, essenziell.

Abbildung 3: Horizontales Wertschöpfungsnetzwerk



Quelle: Hewlett-Packard 2013

Zentral ist zudem ein detailliertes, echtzeitfähiges[3] Monitoring der Geschäftsmodelle, um Verarbeitungsschritte und Systemzustände im Rahmen der vertraglichen und rechtlichen Rahmenbedingungen zu dokumentieren. So werden bei den Geschäftsprozessen jederzeit die einzelnen Schritte nachverfolgt und Nachweispflichten entsprochen (s. auch Kap. 5.7). Für die effiziente Bereitstellung einzelner Dienste muss geklärt werden, wie der entsprechende Dienstlebenszyklus aussehen kann, welche Zusicherungen garantiert werden und mit welchen Lizenzmodellen sowie unter welchen Bedingungen neue Teilnehmer – insbesondere KMU – in die Geschäftsnetzwerke eingebracht werden können.

In diesem Kontext ist durch Industrie 4.0 von schwer zu prognostizierenden Gesamteffekten und veränderlichen Rahmenbedingungen auszugehen. Der disruptive Charakter der neuen Technologien und deren Auswirkungen auf Rechtsfragen (etwa in Bezug auf die Technik, sensible Unternehmensdaten, Haftung, Datenschutz, Handelsbeschränkungen, Verwendung von Kryptografie etc.) bringen die Durchsetzung des Geltungsanspruchs des Rechts in Gefahr. Ursache sind die schnellen Innovationszyklen, die zu einer fortwährenden Anpassungsbedürftigkeit und einem chronischen Vollzugsdefizit führen. Hier werden neue Ansätze benötigt, die die Prüfung der Rechtsverträglichkeit einer Technologie bereits vor und während deren Entwicklung vorsehen (vgl. dazu Kap. 5.7). Ein anderer erfolgskritischer Faktor ist das Thema Sicherheit (vgl. Kap. 5.4). Auch hier ist ein sehr viel proaktiveres Vorgehen erforderlich. Dabei darf allerdings ein *Security-by-Design* nicht auf funktionelle Komponenten reduziert werden.

2.4 Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit

Die Innovationen von Industrie 4.0 treffen auf ein Land im demografischen Wandel: Deutschland ist nach Japan das Land mit der ältesten Bevölkerung, in vielen Produktionsbetrieben liegt das Durchschnittsalter der Beschäftigten bei Mitte 40. Die Zahl der jungen Beschäftigten nimmt stetig ab und bereits heute herrscht ein Fachkräftemangel in bestimmten Berufsgruppen und bei Lehrstellen. Um den Lebensstandard angesichts dieses demografischen Wandels zu halten, müssen die Arbeitsmarktreserven in Deutschland auch für Industrie 4.0 besser ausgeschöpft und gleichzeitig die Arbeitsproduktivität gehalten und erhöht werden. Vor allem die Erwerbsquoten älterer Arbeitnehmer und die von Frauen gilt es zu steigern. Laut Forschungsstand hängt die individuelle Produktivität nicht mit dem kalendarischen Alter zusammen, sondern ist an die Verweildauer auf einer Position sowie die Gestaltung der Arbeit selbst und des Arbeitsumfelds gekoppelt. Um Produktivität in einem längeren Arbeitsleben zu erhalten und zu steigern, müssen deshalb viele betriebliche Bereiche verzahnt und transformiert werden: Gesundheitsmanagement und Arbeitsorganisation, lebenslanges Lernen und Laufbahnmodelle, Teamzusammensetzungen und Wissensmanagement.[4] Eine Aufgabe, die neben den Betrieben insbesondere auch das Bildungswesen fordert.

Es sind also nicht allein neue technische, wirtschaftliche und rechtliche Aspekte, die die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in Zukunft bestimmen, sondern auch **neue soziale Infrastrukturen der Arbeit in Industrie 4.0**, die eine sehr viel stärkere strukturelle Einbindung der Beschäftigten in Innovationsprozesse sicherstellen können.

Eine wesentliche Rolle wird dabei der durch Industrie 4.0 einsetzende **Paradigmenwechsel in der Mensch-Technik- und Mensch-Umgebungs-Interaktion** spielen, mit neuen Formen der kollaborativen Fabrikarbeit in virtuell mobilen Arbeitswelten, der nicht zwangsläufig in der Fabrik stattfinden muss. Intelligente Assistenzsysteme mit multimodalen und bedienungsfreundlichen Benutzerschnittstellen werden die Beschäftigten in ihrer Arbeit unterstützen.

Entscheidend für eine erfolgreiche Veränderung, die durch die Beschäftigten positiv bewertet wird, sind neben umfassenden Qualifizierungs- und Weiterbildungsmaßnahmen die Organisations- und Gestaltungsmodelle von Arbeit. Dies sollten Modelle sein, die ein hohes Maß an selbstverantwortlicher Autonomie mit dezentralen Führungs- und Steuerungsformen kombinieren.

Den Beschäftigten sollten erweiterte Entscheidungs- und Beteiligungsspielräume sowie Möglichkeiten zur Belastungsregulation zugestanden werden.

Mit diesem **sozio-technischen Ansatz des Zukunftsprojekts Industrie 4.0** werden neue Räume für dringend benötigte Innovationen eröffnet, gestützt auf ein erweitertes Bewusstsein für die Bedeutung menschlicher Arbeit in Innovationsprozessen.

2.5 Neuartige service-basierte, echtzeitfähige CPS-Plattformen

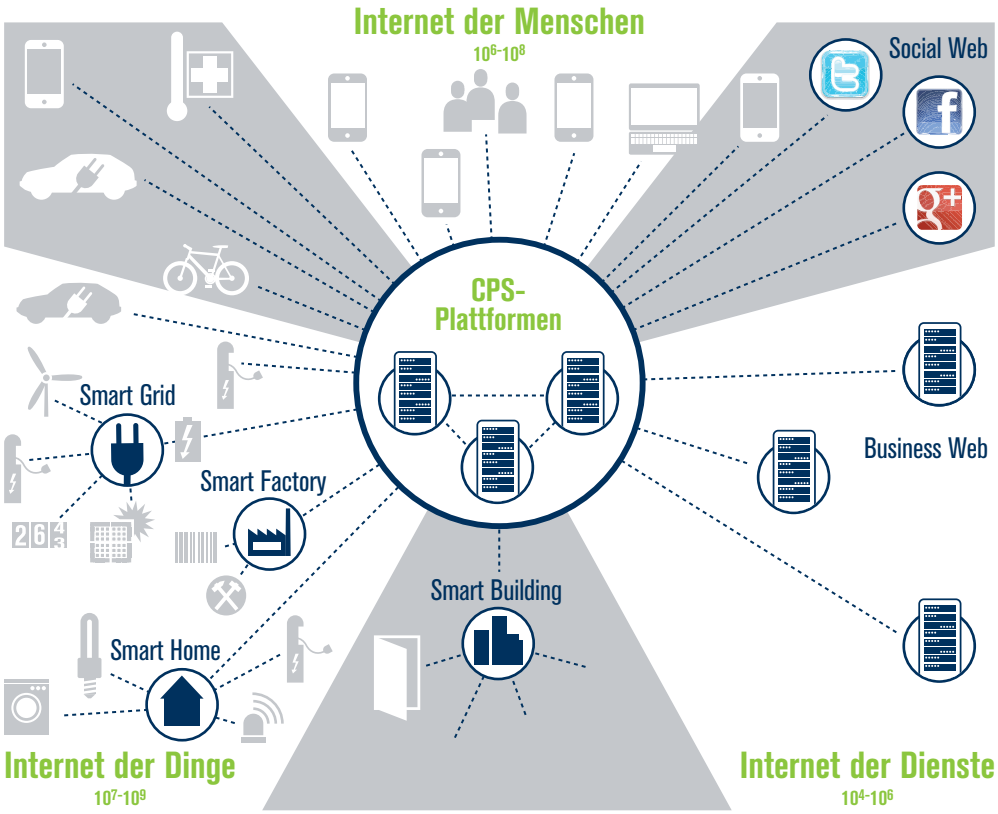
Im Rahmen des Zukunftsprojekts Industrie 4.0 werden neuartige CPS-Plattformen entstehen, die auf die Unterstützung kollaborativer, industrieller Geschäftsprozesse und deren Geschäftsnetzwerke rund um die *Smart Factory* und den Lebenszyklus des *Smart Products* zugeschnitten sind.

Diese Plattformen vernetzen mit ihren Diensten und Anwendungen Menschen, Objekte und Systeme (s. Abb. 4) und besitzen folgende Merkmale:

- Flexibilität durch schnelle und einfache Orchestrierung von Diensten und Anwendungen einschließlich CPS-basierter *Software*
- Einfache Verteilung und Inbetriebnahme (*Deployment*) der Geschäftsprozesse — vergleichbar zu *App Stores*
- Vollständige, sichere und verlässliche Abdeckung des gesamten Geschäftsprozesses
- Sicherheit und Verlässlichkeit vom Sensor bis zur Benutzungsschnittstelle
- Unterstützung mobiler Endgeräte
- Unterstützung kollaborativer Produktions-, Dienstleistungs-, Analyse- und Prognoseverfahren in Geschäftsnetzwerken

Informationstechnischer Handlungsbedarf entsteht im Kontext der Geschäftsnetzwerke insbesondere bei der Orchestrierung von Diensten und Anwendungen auf föderativen CPS-Plattformen, da hier die besonderen Anforderungen der horizontalen und vertikalen Integration von CPS, Anwendungen und Diensten in industriellen Geschäftsprozessen auftreten (s. auch Kap. 5.1). Der Begriff der Orchestrierung muss bei Industrie 4.0 weiter gefasst werden, als er typischerweise im Zusam-

Abbildung 4:
Das Internet der Dinge und Dienste – Vernetzung von Menschen, Objekten und Systemen



Quelle: Bosch Software Innovations 2012

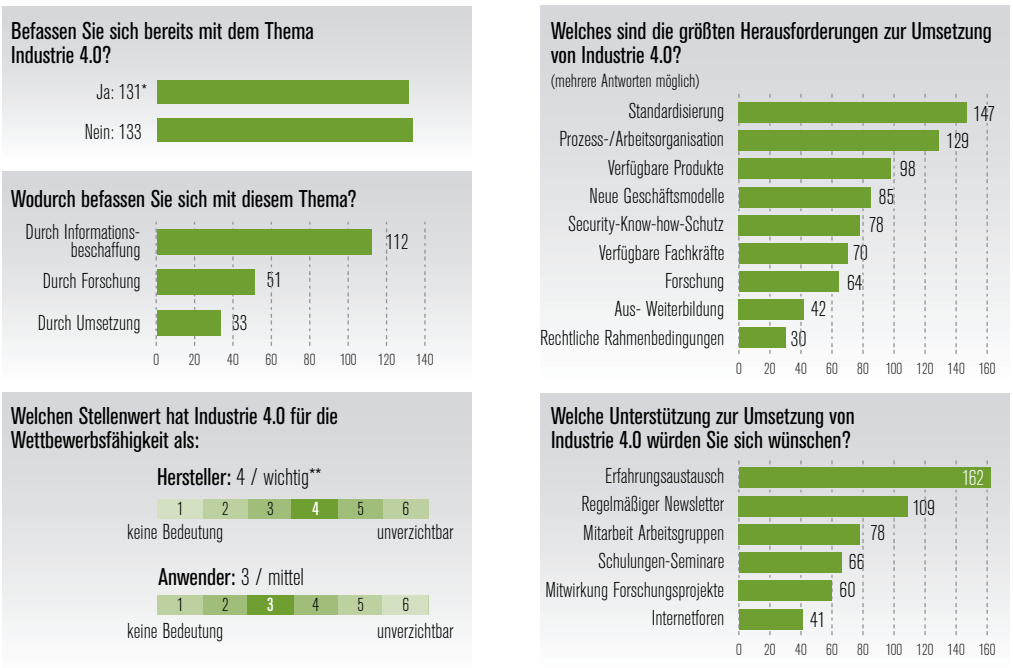
menhang mit *Web-Services* benutzt wird. Er schließt explizit das Aufsetzen gemeinsam genutzter föderativer Dienste und Anwendungen in unternehmensübergreifenden, kooperativen Prozessen und Geschäftsnetzwerken ein. Sowohl für die Orchestrierung als auch für den dann effizienten, zuverlässigen und sicheren Betrieb kollaborativer Produktions- und Dienstleistungsverfahren sowie für die Abwicklung von dynamischen Geschäftsprozessen auf den CPS-Plattformen sind Themen wie Sicherheit, Vertrauen, Verlässlichkeit, Nutzung, Konvergenz der Betreibermodelle, Echtzeitanalyse und Prognose zu überdenken. Dabei müssen nicht zuletzt Herausforderungen bewältigt werden, die sich aus der Heterogenität der Datenquellen und der Endgeräte ergeben. Die beschriebenen Aufgabenfelder sind zurzeit in Aktivitäten gerade bei generischen *Cloud*-Infrastrukturen nur rudimentär abgedeckt.

Die unternehmensübergreifende Nutzung von CPS-Plattformen durch IT-, *Software*- und Dienste-Anbieter sowie durch die Nutzer wird eine Referenzarchitektur Industrie 4.0 erfordern, die den unterschiedlichen Sichtweisen der IKT- und Produktionsbranche gerecht wird (s. Kap. 5.1). Für die Entwicklung neuer Anwendungen und Dienste für solche CPS-Plattformen sind modellbasierte Methoden notwendig, um die Komplexität durch zunehmende Funktionalität, Individualisierung, Dynamik und Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen und Organisationen zu gestalten (s. Kap. 5.2). Die Verfügbarkeit einer sicheren, effizienten Netzwerkinfrastruktur mit hohen Bandbreiten wird den notwendigen sicheren Datenaustausch gewährleisten (s. Kap. 5.3).

2.6 Der Weg zu Industrie 4.0

Die Umsetzung der Vision von Industrie 4.0 ist ein evolutionärer Prozess, der in Betrieben und speziellen Industriebereichen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit voranschreiten wird. Eine durch die Verbände BITKOM, VDMA und ZVEI Anfang des Jahres durchgeführte Tendenzumfrage zur „Perspektive von Industrie 4.0“ hat die Wichtigkeit des Themas für die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Produktionsstandortes bestätigt und den Bedarf an umfassender und zielgerichteter Information dokumentiert (s. Abb. 5).

Abbildung 5: Ergebnisse der Tendenzbefragung Industrie 4.0 (Januar 2013)



An der Umfrage beteiligten sich 278 Unternehmen, vorwiegend aus dem Maschinen- und Anlagebau. 205 der beteiligten Unternehmen verfügen über weniger als 500 Mitarbeiter.

* Die Zahlen geben die Anzahl der Unternehmen wider. ** Ermittelter Mittelwert aus den Antworten der Unternehmen. Quelle: BITKOM, VDMA, ZVEI 2013

So befassen sich bereits ca. 47 Prozent der befragten Firmen[5] aktiv mit Industrie 4.0, 18 Prozent davon forschend und 12 Prozent geben an, Industrie 4.0 bereits umzusetzen. Als die drei größten Herausforderungen für die Umsetzung der Vision werden die Themen Standardisierung, Arbeitsorganisation und verfügbare Produkte gesehen.

Zur Unterstützung der Umsetzung von Industrie 4.0 wünschen sich die Unternehmen neben der eigenen aktiven Mitarbeit in Arbeitsgruppen zielgerichtete Seminare zum Erfahrungsaustausch und regelmäßige Newsletter. Die Verbände werden bei der nachhaltigen Kommunikation des Themas eine wichtige Rolle spielen, in engem Austausch mit den Sozialpartnern, der Wissenschaft sowie der Öffentlichkeit, geben doch heute bereits ca. 50 Prozent der befragten Firmen an, über Industrie 4.0 durch ihre Verbände erfahren zu haben.

Darüber hinaus erachtet der Arbeitskreis die folgenden Umsetzungsschritte als zentral, die den Betrieben den Weg zu Industrie 4.0 ebnen werden:

- Die Implementierung von echtzeitfähigen CPS-Lösungen stellt hohe Anforderungen sowohl an die räumliche, technisch-qualitative als auch an die verlässliche Verfügbarkeit der Dienste und damit auch der Netzwerkinfrastruktur. Eine Harmonisierung solcher Dienste und Geschäftsmodelle auf globaler Ebene durch entsprechende Standards sollte auch auf politischer Ebene national und global unterstützt werden und dadurch die Wettbewerbsfähigkeit auf dem internationalen Markt gesichert werden (s. auch Kap. 5.1 und 5.3).
- Geschäftsprozesse in der Produktion sind heute häufig noch statisch und in monolithischen *Software*-Systemen realisiert. Diese lassen sich nicht ohne Weiteres durch *service*-orientierte Systeme ersetzen. Eine Integration neuer in alte Technologie (oder umgekehrt) ist unabdingbar, alte Systeme müssen durch echtzeitfähige Systeme ergänzt werden.
- Die Entwicklungsgeschwindigkeit neuer Geschäftsmodelle im Internet der Dinge und Dienste für die Produktion wird sich der Entwicklung und Dynamik des Internets annähern.
- Die Beschäftigten werden frühzeitig in die innovative sozio-technische Gestaltung der Arbeitsorganisation, Weiterbildung sowie die technische Weiterentwicklung einbezogen (s. Kap. 5.5).
- Der Übergang zu Industrie 4.0 wird gelingen, wenn die an kurze Innovationszyklen gewöhnte IKT-Branche, die in deutlich längeren Innovationszyklen denkenden Maschinen- und Anlagenbauer sowie die Lieferanten von mechatronischen Systemen eng zusammenarbeiten und daraus für alle tragfähige Geschäftsmodelle entstehen.

FAZIT

Mit dem zunehmenden Einsatz des Internets der Dinge und Dienste in der Produktion werden sich in Kombination von *Smart Production, Smart Logistic, Smart Grids* und *Smart Products* die Wertschöpfungsketten verändern und neue Geschäftsmodelle etablieren.

Durch das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 werden die vorhandenen technologischen und marktwirtschaftlichen Potenziale gehoben werden. Industrie 4.0 eröffnet neue Geschäftsperspektiven und neue innovative soziale Infrastrukturen für die Arbeit.

1 Die Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft unterscheidet seit 2009 fünf zentrale Bedarfsfelder: Klima/Energie, Mobilität, Gesundheit, Sicherheit und Kommunikation; online unter: www.forschungsunion.de.

2 IKT werden seit der 3. Industriellen Revolution in der Produktion zur Optimierung von Kosten und Effizienz eingesetzt, aber auch in an die Fertigung angrenzenden oder die Fertigung überlappenden Prozessen wie Logistik, Diagnose, Qualitätssicherung, Instandhaltung, Energiemanagement oder Mitarbeiterressourcenplanung. Die unterschiedlichen IT-Systeme sind jedoch historisch gewachsen und können aufgrund gewachsener, überwiegend abgeschlossener Architekturen nur mit sehr hohem Aufwand informationstechnisch integriert werden. Eine übergreifende Vernetzung der IT-Systeme sowie flexible Rekonfiguration des Produktionssystems sind somit extrem schwierig, sodass entsprechende Potenziale oft einfach nicht ausgeschöpft werden können. Dies ändert sich im Rahmen von Industrie 4.0.

3 „Echtzeit" (real time) bezeichnet eine mit der realen Welt zeitsynchrone Datenverarbeitung, im Unterschied zu einer zeitversetzten oder zeitverzögerten Verarbeitung.

4 Vgl. Altern in Deutschland, Band 9: Gewonnene Jahre, Empfehlungen der Akademiengruppe, Nova Acta Leopoldina NF Nr. 371, Bd. 107, Stuttgart 2009, S. 49, 56. Auch bei Migranten und gering Qualifizierten (die ihren Ausbildungsstand erhöhen müssten) bestehen unausgeschöpfte Potenziale für den Arbeitsmarkt, vgl. OECD: Zuwanderung ausländischer Arbeitskräfte: Deutschland, 2013, online unter: http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/zuwanderung-auslandischer-arbeitskrafte-deutschland-german-version_9789264191747-de.

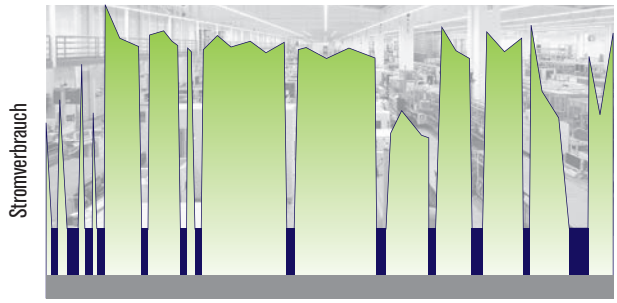
5 An der Umfrage beteiligten sich 278 Unternehmen, Quelle: BITKOM, VDMA und ZVEI, Januar 2013.

ANWENDUNGSBEISPIEL 1: Reduktion des Energiebedarfs einer Karosseriebauanlage in produktionsfreien Zeiten

Energieeffizienz ist bereits heute eine wesentliche Anforderung für Maschinen. Das planmäßige Abschalten inaktiver Anlagenteile in Produktionspausen ist hierbei ein entscheidender Hebel. Mit Industrie 4.0 werden diese Potenziale verstärkt genutzt, indem diese Hebel bei der Errichtung der Anlagen konsequent eingeplant und angewandt werden.

Heute

Einsparpotenzial geplante und ungeplante Pausen

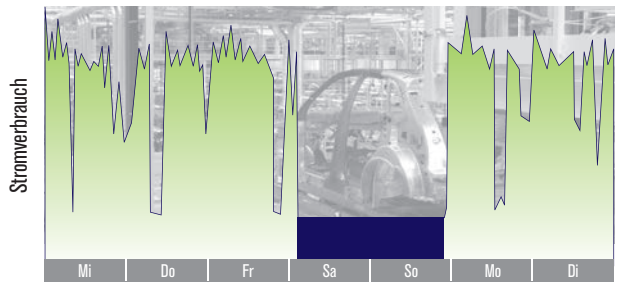


Quelle: Siemens 2013

Heute laufen Anlagen und Anlagenteile auch in Pausen, in Leerschichten und am Wochenende mit hohem Energieverbrauch weiter. 12 Prozent des Gesamtenergiebedarfs verbraucht dadurch beispielsweise eine Anlage zur Karosseriefertigung mit Laserschweißtechnologie in produktionsfreien Zeiten. Die Anlage läuft fünf Tage die Woche im Drei-Schicht-Betrieb; das Wochenende ist zwar produktionsfrei, die komplexe Anlage bleibt aber dennoch eingeschaltet, um bei Produktionsbeginn sofort wieder verfügbar zu sein. Hauptverbraucher in den produktionsfreien Zeiten sind zu 90 Prozent: Roboter (20 bis 30 Prozent), Absauganlagen (35 bis 100 Prozent), Laserquellen und deren Kühlungen (0 bis 50 Prozent).

Morgen

Einsparpotenzial Wochenende



Quelle: Siemens 2013

Maßnahmen, um Energieeffizienzpotenziale zu heben: Roboter werden künftig in produktionsfreien Zeiten (auch bei kurzfristigen Stillständen) zunächst stillgesetzt. Bei längeren Pausen werden sie in eine Art Stand-by-Modus versetzt, den sogenannten *Wake-On-LAN-Zustand*). Es kommen **drehzahl- und damit bedarfsgeregelte Motoren** anstelle von ungesteuerten Motoren in Absauganlagen zum Einsatz. Bei **Laserquellen** ermöglichen nur komplett neue Systeme eine Verbesserung. In Summe ergeben sich so eine Reduktion von rund **12 Prozent des gesamten Energieverbrauchs** (von 45.000kWh/w auf ca. 40.000kWh/w) sowie ein **verringerter Energieverbrauch um 90 Prozent** in den Pausenzeiten. Diese Erkenntnisse zur Energieeffizienz müssen bei der Konstruktion der CPS von vornherein berücksichtigt werden.

PERSPEKTIVE

Das koordinierte Ab- und Anschalten von Anlagenteilen im Karosseriebau führt zu mehr Energieeffizienz. Bei bestehenden Anlagen ist das Verhältnis von Aufwand/Risiko und Wirtschaftlichkeit bei der Umrüstung zwar eher ungünstig; allerdings wird dies bei Neuanlagen, welche die Leitanbieter von Industrie 4.0 entwickeln werden, technischer Standard werden und somit zu mehr Energieeffizienz führen.

3 Duale Strategie: Leitmarkt und Leitanbieterschaft

3 Duale Strategie: Leitmarkt und Leitanbieterschaft

Die 4. Industrielle Revolution (Industrie 4.0) bietet erhebliche Potenziale für die Industrie in Deutschland. Der verstärkte Einsatz von CPS in deutschen Fabriken stärkt den Produktionsstandort Deutschland durch Effizienzsteigerungen der heimischen Fertigung. Zugleich birgt die technische Weiterentwicklung von CPS substanzielle Chancen für den Export von Technologien und Produkten.

Zielvorgabe bei der Umsetzung des Zukunftsprojekts Industrie 4.0 sollte daher sein, die Marktpotenziale für die deutsche produzierende Industrie[1] **mittels einer dualen Strategie** zu heben: durch den Einsatz von CPS in der Produktion einerseits und den **Verkauf von CPS-Technologie und -Produkten** zur Stärkung der deutschen Ausrüsterindustrie andererseits.

3.1 Leitanbieterperspektive

Die Leitanbieterperspektive beleuchtet die Potenziale von Industrie 4.0 aus der Sicht der Ausrüsterindustrie[2]. In der produzierenden Industrie sind deutsche Unternehmen mit ihren technischen Lösungen weltweit führende Ausrüster und deshalb in der *Pole-Position* um in der Entwicklung, dem Betrieb und der globalen Vermarktung von Industrie 4.0 eine Führungsrolle einzunehmen. Entscheidend ist nun, die technisch exzellenten Lösungen mit den neuen Möglichkeiten der Informationstechnologie intelligent zu verknüpfen, um so einen **Innovationssprung** zu erzielen. Nur durch das konsequente Zusammenführen der Informations- und Kommunikationstechnik mit den klassischen Hochtechnologieansätzen werden die Voraussetzungen geschaffen, die zunehmende Marktdynamik und Komplexität von globalen Marktabläufen zu beherrschen und daraus auch neue Marktpositionen für das eigene Unternehmen abzuleiten.

- Die **vorhandenen IT-Basistechnologien** müssen **auf die Besonderheiten der Produktion angepasst** beziehungsweise **anwendungsorientiert weiterentwickelt** werden. Um Skaleneffekte zu erschließen und eine flächendeckende Wirkung zu erzielen, gilt es bei der Migration zu Industrie 4.0, bereits realisierte Anlagen produktionstechnisch und informationstechnisch im Hinblick auf CPS-Fähigkeiten weiterzuentwickeln. Gleichzeitig benötigt man Modelle und Konzepte zur Auslegung und Realisierung von CPS-Produktionsstrukturen an neuen Standorten.
- Will Deutschland die angestrebte Führungsrolle als Ausrüster für Industrie 4.0 nachhaltig ausfüllen, müssen **vorrangig Forschung, Technologien und Qualifikation** zur Entwicklung von Methoden und Beispielapplikationen im Bereich der automatisierungstechnischen Modellierung und Systemoptimierung vorangetrieben werden (s. Kap. 5.2).
- Eine weitere zentrale Aufgabe besteht darin, die **Technologien zu nutzen, um neu entstehende Wertschöpfungsnetze zu gestalten. Dazu sind neue Geschäftsmodelle zu entwickeln,** insbesondere die Produkte mit geeigneten Dienstleistungen zu verknüpfen.

3.2 Leitmarktperspektive

Der Leitmarkt für Industrie 4.0 sind die in Deutschland produzierenden Unternehmen. Um diesen Leitmarkt zu gestalten und erfolgreich auszubauen, sind sowohl eine enge Vernetzung von an verschiedenen Standorten angesiedelten Teilen eines Unternehmens als auch verstärkt Kooperationen über Firmengrenzen hinweg nötig. Dies erfordert wiederum eine logische digitale Durchgängigkeit der verschiedenen Wertschöpfungsstufen und Lebenszyklen bezogen auf das Produkt, das Produktprogramm und die zugehörigen Produktionssysteme. Eine besondere Herausforderung ist es, **in diese neu zu gestaltenden Wertschöpfungsnetze gleichzeitig heute bereits global agierende Großunternehmen wie auch häufig noch regional agierende KMU einzubinden.** Die Stärke der produzierenden Industrie basiert im Wesentlichen auf einer ausgewogenen Industriestruktur, die aus einer Vielzahl mittelständischer Unternehmen und weniger Großunternehmen besteht. Viele KMU sind aber auf den durch Industrie 4.0 herbeigeführten Strukturwandel noch nicht vorbereitet –

» Der Wirtschaftsstandort Deutschland ist von seiner starken Industrie geprägt – dem Maschinen- und Anlagenbau, dem Fahrzeugbau und auch der Energiewirtschaft. Die Umsetzung von Industrie 4.0 ist für die Weiterentwicklung ganz entscheidend, denn Stillstand können wir uns nicht leisten. «

Ernst Burgbacher
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
Parlamentarischer Staatssekretär (MdB)

sei es aufgrund fehlender Fachkräfte oder aufgrund einer gewissen Zurückhaltung und Skepsis gegenüber einem noch unbekannten Technologieansatz.

Ein Schlüsselansatz zur Integration mittelständischer Unternehmen in globale Wertschöpfungsnetze ist daher, **einen auch in die Breite ausgerichteten Wissens- und Technologietransfer zu konzipieren und zu realisieren.** Exemplarisch können hier Pilotanwendungen und *Best Practice*-Realisierungen bei der Vernetzung von Groß- und Mittelstandsindustrie helfen, die Potenziale vernetzter Wertschöpfungsketten sichtbar zu machen und auch den Mittelstand zu überzeugen, Methoden- und Organisationswerkzeuge sowie Technologien von Leitanbietern zu nutzen. Auf diese Weise würden Barrieren für mittelständische Unternehmen abgebaut, die Methoden von CPS kennenzulernen, sie anzunehmen und im eigenen Unternehmensumfeld einzusetzen.

Als grundlegende Voraussetzung dafür muss die Nutzung und Weiterentwicklung der technischen Infrastruktur einschließlich leistungsfähiger Breitbandinformationsübertragungen forciert werden (s. Kap. 5.3). Parallel dazu sollte die Ausbildung und Qualifizierung von Fachpersonal erfolgen (s. Kap. 5.6), indem maßgeschneiderte und leistungsfähige Organisationskonzepte für komplexe Arbeitszusammenhänge entwickelt werden (s. Kap. 5.5).

3.3 Die duale Strategie und ihre kennzeichnenden Merkmale

Die Zielsetzungen von Industrie 4.0 werden nur dann optimal erreicht, wenn sowohl die Potenziale der Leitanbieterperspektive als auch jene der Leitmarktperspektive aufeinander abgestimmt und in einer Symbiose zusammengeführt werden. Dies wird im Folgenden als **duale Strategie** bezeichnet. Die Strategie umfasst drei grundsätzliche Elemente (s. dazu auch Kap. 2. 1):

- Den Aufbau von Wertschöpfungsketten und -netzwerken über Firmengrenzen hinweg auf Basis einer horizontalen Integration
- Ein **digital durchgängiges *Engineering*** über die gesamte Wertschöpfungskette des Produkts und des zugehörigen Produktionssystems

- Den Aufbau und die Realisierung flexibler und rekonfigurierbarer Produktionssysteme innerhalb eines Unternehmens und deren vertikale Integration

Diese Elemente sind die entscheidenden Befähiger (*Enabler*) für die produzierende Industrie, um in einem Marktgeschehen mit hoher Volatilität stabile Unternehmenspositionen zu realisieren und gleichzeitig die eigene Wertschöpfung auf sich ändernde Marktanforderungen flexibel anzupassen. Die Elemente dieser dualen CPS-Strategie versetzen produzierende Unternehmen in die Lage, in einem dynamischen Marktumfeld schnell, termintreu, fehlerfrei und zu Marktpreisen zu produzieren.

3.3.1 Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke

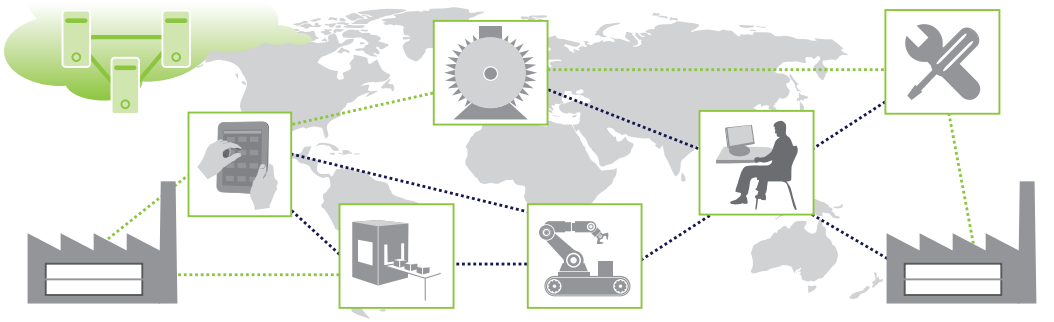
Modelle, Konzepte und Realisierungen zur horizontalen Integration über Wertschöpfungsnetzwerke widmen sich der Beantwortung folgender Hauptfrage:
Wie können die Geschäftsstrategie eines Unternehmens, neue Wertschöpfungsnetze sowie neue Geschäftsmodelle nachhaltig auf Basis von CPS unterstützt und umgesetzt werden?

Die Fragestellung betrifft Forschungs-, Entwicklungs- und Anwendungsbereiche gleichermaßen (s. Abb. 6). Neben den Themen „Geschäftsmodelle“ und „firmenübergreifende Kooperationsformen“ sollten die Themen „Nachhaltigkeit“, „*Know-how*-Schutz“ und „Standardisierungsstrategien“ sowie die „mittel- und langfristige Qualifikations- und Personalentwicklung“ adressiert werden.

3.3.2 Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette

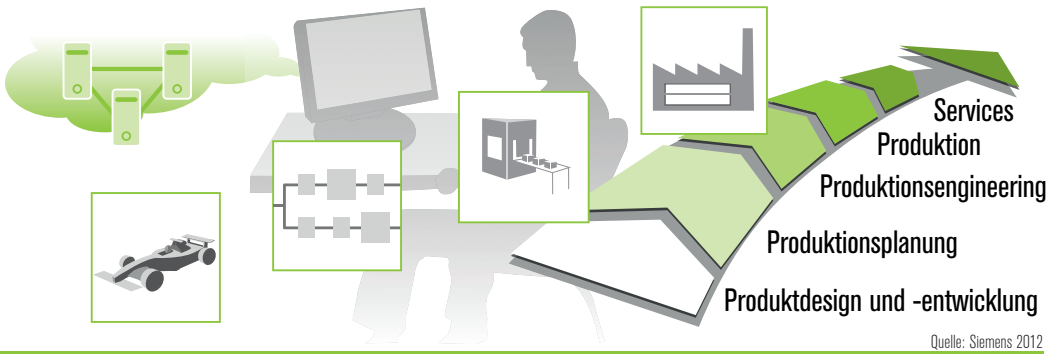
Die angestrebte digitale Durchgängigkeit des gesamten *Engineerings* und die daraus resultierende Verschmelzung der digitalen und realen Welt über die Wertschöpfungskette eines Produkts über Firmengrenzen hinweg und unter Einbeziehung von Kundenforderungen wirft folgende Hauptfrage auf:
Wie können die Geschäftsprozesse einschließlich des *Engineering Workflows* mithilfe von CPS durchgängig gestaltet werden?
Ein zentraler Punkt ist hierbei die Modellierung als Hebel zur Beherrschung der zunehmenden Komplexität der technischen Systeme (vgl. Kap. 5.2).

Abbildung 6: Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke



Quelle: Siemens 2012

Abbildung 7: Durchgängigkeit des Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette



Quelle: Siemens 2012

Durch den Einsatz entsprechender IT-Systeme muss die gesamte Wertschöpfungskette von der Produktentwicklung über das *Engineering* des Produktionssystems bis hin zur Produktion und dem *Service* durchgängig unterstützt werden (s. Abb. 7). Im Sinne eines *System Engineerings* ist eine ganzheitliche Betrachtung über die verschiedenen Fachdisziplinen hinweg erforderlich, wozu die Ingenieure durch geeignete Qualifizierungsmaßnahmen ertüchtigt werden müssen.

3.3.3 Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme

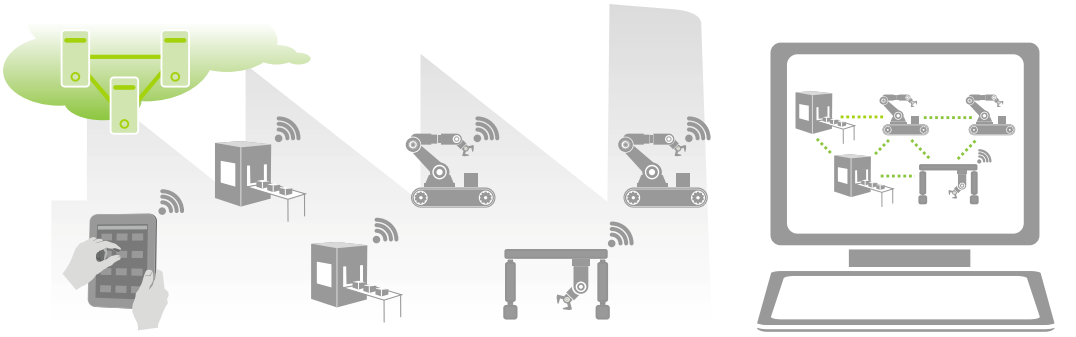
Bei der vertikalen Integration steht die Beantwortung der folgenden Frage im Vordergrund:

Wie können Produktionssysteme unter Nutzung von CPS flexibel und rekonfigurierbar gestaltet werden?

Der Gestaltungsrahmen der vertikalen Integration ist die Fabrik. In der zukünftigen *Smart Factory* werden die Produktionsstrukturen nicht mehr von vornherein konkret und fest vorgegeben. Stattdessen werden informationstechnische Konfigurationsregeln definiert, aus denen fallspezifisch und automatisiert eine fallspezifische Struktur (Topologie[3]) abgeleitet wird, samt allen damit verbundenen Abhängigkeiten in Bezug auf Modelle, Daten, Kommunikation und Algorithmen (s. Abb. 8).

Soll die vertikale Integration gelingen, muss eine digitale Durchgängigkeit von Aktor- und Sensorsignalen über verschiedene Ebenen bis hin zur Unternehmensressourcenplanung gewährleistet sein. Zudem sind Modularisierungs- und Wiederverwendungskonzepte als Voraussetzung für Ad-hoc-Vernetzung und Rekonfigurierbarkeit von Produktionssystemen in Kombination mit geeigneten intelligenten Anlagen-Fähigkeitsbeschreibungen zu entwickeln. Auch der jeweilige Anlagenführer / Betreiber (*Operator*) sollte im Hinblick auf die Auswirkungen dieser Konzepte für das Führen und Bedienen des Produktionssystems qualifiziert werden.

Abbildung 8:
Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme



Quelle: Siemens 2012

FAZIT

Durch Industrie 4.0 werden auf einer strategischen Ebene **horizontale Wertschöpfungsnetzwerke** realisiert, die Ebene der Geschäftsprozesse einschließlich des ***Engineerings* ist durchgängig über die gesamte Wertschöpfungskette** gestaltet und die Produktionssysteme sind **vertikal integriert** und **vernetzt** konzipiert. Die Umsetzung des Zukunftsprojekts Industrie 4.0 sollte daher sowohl hinsichtlich der Forschungsförderung als auch der konkreten Entwicklungs- und Umsetzungsschritte im Sinne einer **dualen Strategie** auf die beiden Zielsetzungen Leitmarkt im Sinne der deutschen produzierenden Unternehmen und **Leitanbieterschaft** im Sinne der Ausrüsterindustrie ausgerichtet sein.

1 Zur produzierenden Industrie gehören alle Unternehmen, die durch die Verarbeitung von Rohstoffen und Halbzeugen ein physisches Produkt in einem Produktionssystem produzieren beziehungsweise produzieren lassen. Dies umfasst sowohl die fertigungs- als auch die verfahrenstechnische Verarbeitung.

2 Zur Ausrüsterindustrie gehören der Maschinen- und Anlagenbau, die Zulieferer für Automatisierungsprodukte, -systeme und -lösungen sowie Software-Firmen, beispielsweise für Product-Lifecycle-Management- (PLM-)Systeme, Software-Anwendungen in der Produktion oder in der Logistik oder für Software-Systeme zur Unterstützung der Unternehmensplanung.

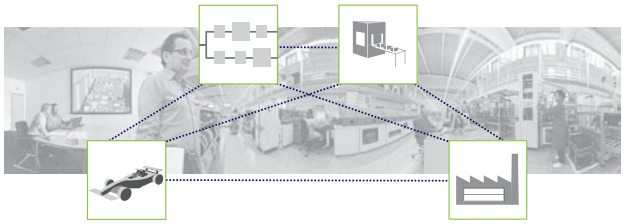
3 Unter Topologie wird der Aufbau eines Produktionssystems aus Produktionsressourcen (wie beispielsweise Maschinen, Arbeitsplätzen, Logistik) samt den zugehörigen Wirkbeziehungen (wie beispielsweise dem Materialfluss) verstanden.

ANWENDUNGSBEISPIEL 2: Durchgängiges System Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette

Durch ein durchgängiges digitales *System Engineering* und die damit verbundene Optimierung der Wertschöpfungsketten müssen Kunden nicht mehr, wie heute, aus einem durch den Hersteller fest vorgegebenen Produktspektrum wählen, sondern können gewünschte Einzelfunktionen und Komponenten individuell kombinieren.

Heute

Umfangreiche Schnittstellen zwischen unterstützenden IT-Systemen

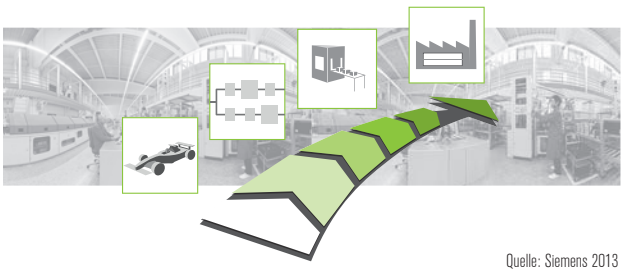


Quelle: Siemens 2013

Die Wertschöpfungskette von Kundenanforderungen über die Produktarchitektur bis zur Fertigung ist oft historisch gewachsen und relativ statisch. Unterstützende IT-Systeme tauschen über umfangreiche Schnittstellen Informationen aus, können diese Informationen aber nur einzelfallspezifisch nutzen. **Eine übergeordnete Gesamtsicht aus der Perspektive des zu produzierenden Produkts fehlt.** Als Konsequenz können Kunden bei ihrem Produkt nicht alle Funktionen und Features wählen, obwohl dies technisch möglich wäre. Beispielsweise ist für einen Kombi ein Heckscheibenwischer bestellbar, aber nicht für eine Limousine aus demselben Hause. Die Pflegeaufwände für IT-Systeme sind zudem heute noch sehr hoch.

Morgen

Durchgängiges System-Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette



Quelle: Siemens 2013

Die modellbasierte Entwicklung durch CPS ermöglicht eine durchgängige, modellbasierte digitale Methodik, ausgehend von den Kundenanforderungen über die Produktarchitektur bis zur Fertigung des Produkts. Das Erfassen aller Abhängigkeiten und die Abbildung in einer **durchgängigen *Engineering*-Werkzeugkette** werden dadurch möglich. Das Produktionssystem ist parallel nach gleichen Paradigmen entwickelt und so immer mit der Produktentwicklung abgestimmt. In der **Konsequenz** wird die Produktion eines individuellen Produkts möglich. Durch eine Entwicklung dieser Werkzeugkette über mehrere Migrationsstufen bleibt der Wert der bereits heute installierten Basis erhalten.

PERSPEKTIVE

1. Ein größerer Umsatz aufgrund der Adressierung eines größeren Marktes und der Erhöhung der Kundenzufriedenheit.
2. Die Reduzierung der internen operativen Kosten durch digitale Durchgängigkeit der Wertschöpfungskette.

4 Forschungsbedarf

4 Forschungsbedarf

Die Umsetzung von Industrie 4.0 wird weitgehend durch die Industrie selbst erfolgen – dennoch gibt es weiterhin grundlegenden Forschungsbedarf. Der Arbeitskreis Industrie 4.0 hat bereits im Oktober 2012 die wichtigsten mittel- und langfristigen Forschungs- und Handlungsbedarfe identifiziert und dargestellt (s. Anhang), die im Folgenden kurz skizziert werden sollen. Kernanliegen von Industrie 4.0 ist ein abgestimmtes Vorgehen zwischen der Leitanbieter- und der **Leitmarkt**perspektive im Sinne einer **dualen Strategie** (vgl. Kap. 3), die auch durch Forschungsaktivitäten flankiert werden sollte. In Industrie 4.0 werden die revolutionären Anwendungen vorrangig durch die Kooperation der IKT, der Produktions- und der Automatisierungstechnik erwartet.
Dabei müssen Eigenschaften derzeitiger CPS erst mittelfristig für den Einsatz in Produktionssystemen tauglich gemacht werden. Notwendig ist dafür die Zusammenführung der Stärken des Maschinen- und Anlagenbaus als Integrator mit den Kompetenzen der Automation und der IKT-Wirtschaft in zielgerichteten kreativen Entwicklungsprozessen zur Schaffung neuer CPS. Die damit verbundene höhere Stufe der Vernetzung aufgrund der Durchgängigkeit von Modellen des Produktes, des Produktionsmittels und des Produktions-systems birgt langfristig noch immensen Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Der Schwerpunkt zukünftiger Forschungstätigkeiten verlagert sich hin zur Untersuchung und Entwicklung vollständig beschreibbarer, aber noch beherrschbarer, kontextabhängiger (selbsttätig) regelbarer Produktionssysteme.

Diese werden langfristig aus CPS-Funktionskomponenten bestehen, die disziplinüber-greifenden, modularen Baukastensystemen entstammen und entweder mit Assistenzfunktionen konfiguriert werden können oder sich zur Laufzeit synergetisch in eine bestehende Infrastruktur einbinden. Zu erwarten ist zudem eine signifikant verstärkte Verflechtung von virtuell geplanten und realen Produktionsprozessen. **Aus Forschungssicht ergibt sich daher die Notwendigkeit, langfristig modularisierte CPS und einen entsprechenden Komponentenkatalog zu entwickeln, die Bestandteile einer exemplarischen *Smart Factory* sind.**
Ein bedeutsamer Innovationssprung ist somit nur dann gegeben, wenn vorhandene Basistechnologien entlang der Besonderheiten der Produktion anwendungsorientiert weiterentwickelt werden. Die so entstehenden Methoden, Ansätze und *Best Practice*-Realisierungen müssen in den vielschichtigen Wertschöpfungsnetzwerken verbreitet werden und sollen hier zu einem **interdisziplinären Wissens- und Technologietransfer** führen. Aus diesem Grund wurde bereits im Rahmen der Ausführungen zur dualen Strategie (s. Kap. 3) ausführlich auf drei der insgesamt fünf zentralen Forschungsbereiche eingegangen:

1. **Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke**
2. **Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette**
3. **Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme**

Diese aus der Anwendung „Produktionssystem“ getriebenen, technologisch fokussierten Forschungsbereiche führen langfristig zu einer verstärkt unternehmens- und bereichsübergreifenden, interdisziplinären Zusammenarbeit, die aus strategischen Gesichtspunkten Befähiger / Wegbereiter (*Enabler*) für den mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbau sein wird. Die Branche ist so in der Lage, deutlich schneller am Markt zu agieren und sich als Leitanbieter vieler neuer Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle zu etablieren.
Interdisziplinarität ergibt sich allerdings nicht alleine aus der Verbesserung von automatisierungstechnischen beziehungsweise ingenieurwissenschaftlichen Zusammenhängen, sondern auch daraus, dass die „Industriearbeit der Zukunft“ durch die 4. Industrielle Revolution maßgeblich beeinflusst und sowohl wissenschaftlich als auch praktisch betrachtet werden muss.

» Mit Industrie 4.0 ermöglichen wir auch einen Paradigmenwechsel in der Mensch-Technik-Interaktion: Die Maschinen passen sich den Menschen an – und nicht umgekehrt. Intelligente industrielle Assistenzsysteme mit multimodalen Benutzerschnittstellen bringen auch digitale Lerntechnologien direkt an den Arbeitsplatz. «

Prof. Dr. Wolfgang Wahlster
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH
Mitglied der Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft

Daraus resultiert ein viertes Forschungsfeld:

4. Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit

Aus gesellschaftlicher Verantwortung heraus müssen die Beschäftigten mit ihren Fähigkeiten und Erfahrungen sowohl in die kreativen Entwurfs- und Planungsprozesse als auch in das operative Arbeitsumfeld stärker eingebunden beziehungsweise ihre Einbindung gefördert werden. CPS erfordern daher neue Arbeitsstrukturen, die bezogen auf das Wertschöpfungsnetzwerk einerseits die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten fördern und andererseits die lebenslange Entwicklung der Individuen durch die betrieblichen Strukturen unterstützen. **Die Fragestellungen sollten interdisziplinär bearbeitet werden, indem die Expertise eines Teams aus Ingenieuren, Informatikern, Psychologen, Ergonomen, Sozial- und Arbeitswissenschaftlern sowie Medizinern und Designern einbezogen wird.**
Aus diesen grundsätzlichen Überlegungen heraus wird deutlich, dass in der Produktions- und Automatisierungstechnik für kollaborierende Arbeitsweisen heute noch nicht flächendeckend anwendungsgerechte Methoden und Basistechnologien verfügbar sind.

Um die Anwendbarkeit in unterschiedlichen Unternehmen und Branchen mit heterogenen IT-Systemen, technischen Ressourcen und Kompetenzen zu gewährleisten, müssen sowohl die Basistechnologien der IKT für die Automatisierungstechnik ertüchtigt als auch anwendungsbezogene Referenzarchitekturen als Erfolgsfaktor gestaltet werden. Der zuletzt genannte Aspekt greift unter anderem die bereits in Kapitel 2 eingeführten und zu etablierenden *service*-basierten, echtzeitfä-

higen Infrastrukturen als/von IKT-Plattformen für die vertikale und horizontale Integration auf. Diese müssen sowohl unternehmensübergreifend standardisiert als auch technologisch orchestriert werden, sodass durch die Etablierung von entsprechenden *Web-Services* eine umfassende föderative Gestaltung von Geschäftsnetzwerken ermöglicht werden kann.
Damit ergibt sich das letzte Forschungs- und Handlungsfeld für Industrie 4.0:

5. Technologie *Cyber-Physical Systems*

Die aufgeführten fünf Forschungsfelder strukturieren die in der Anlage detailliert beschriebenen und konsolidierten Forschungsbedarfe. Die Ausführungen, die im Rahmen des Arbeitskreises Industrie 4.0 unter Beteiligung von Wirtschaft und Wissenschaft entstanden sind, vertiefen dabei die Empfehlungen der Promotorengruppe Kommunikation, die in zwei Berichten (Januar und September 2011) in der Forschungsunion vorgelegt wurden. Die darin enthaltenen Empfehlungen, die Ergebnisse des BMBF-geförderten Projektes „Integrierte Forschungsagenda *Cyber-Physical Systems*“[1] sowie der BMWi-Studie „Das wirtschaftliche Potenzial des Internets der Dienste“ umzusetzen, behalten entsprechend ihre Gültigkeit. Sie sind daher als Ertüchtigung der IKT-Basistechnologien für die Automatisierungs- und Produktionstechnik einschließlich der Weiterführung genereller Forschungsbedarfe zu sehen, gleichzeitig als Konkretisierung der Handlungsbedarfe zur Realisierung der im Vorfeld beschriebenen Szenarien in dem konkreten Anwendungsbereich „industrielle Produktionstechnik“.
Als Anregungs- und Orientierungshilfe für die Gestaltung entsprechender Förderprogramme hat der Arbeitskreis Industrie 4.0 zudem **die wichtigsten mittel- und langfristigen Forschungs- und Handlungsbedarfe** gekennzeichnet.

FAZIT

Eine solch umfassende Förderung für Wirtschaft und Wissenschaft bedarf eines engen Dialogs zwischen den genannten Ministerien und der Plattform Industrie 4.0. Diese sollte für ihren industriellen Lenkungskreis und ihren wissenschaftlichen Beirat Experten aus den Disziplinen Produktion, Automatisierung und Informatik sowie auch Rechts-, Betriebs- und Sozialwissenschaften berufen. Unter Einbeziehung weiterer Experten aus Forschung und Industrie sollten in den einzelnen Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0 kurzfristig umfassende Forschungs- und Entwicklungs-*Roadmaps* erarbeitet werden, die die konsolidierten Forschungsempfehlungen aus dem Anhang auf die Bedarfe der jeweiligen Arbeitsgruppe projizieren.
Neben der Diskussion und einem informellen Austausch innerhalb der Industrie 4.0-*Community* soll mit der Plattform Industrie 4.0 darüber hinaus gewährleistet werden, dass potenzielle Synergiepotenziale zwischen den unterschiedlichen Förder- und Verbundprojekten identifiziert werden.

1 S. Forschungsempfehlungen zu CPS in der Produktion: „Der Einsatz von Cyber-Physical Systems in Produktionssystemen führt zur ‚Smart Factory'. Deren Produkte, Ressourcen und Prozesse sind durch Cyber-Physical Systems charakterisiert; durch deren spezifische Eigenschaften bietet sie Vorteile in Bezug auf Qualität, Zeit und Kosten gegenüber klassischen Produktionssystemen. Empfohlen wird, im Rahmen der 2011 gestarteten Initiative ‚Industrie 4.0' ein entsprechendes Projekt aufzusetzen mit dem Ziel, technologische und wirtschaftliche Hemmnisse zu beseitigen und die Realisierung und den Einsatz von Smart Factories zu forcieren.“ Zitat in: acatech (Hrsg.): Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011, S. 35.

5 Handlungsfelder

5 Handlungsfelder

Industrie 4.0 ist ein komplexes Vorhaben, das sich auf mehrere, teilweise überlappende Handlungsfelder erstreckt. Der Arbeitskreis Industrie 4.0 hat im Oktober 2012 bereits umfassende mittel- und langfristige **Forschungsempfehlungen** formuliert (s. Anhang) – in den folgenden Unterkapiteln werden nun die wichtigsten **Handlungsfelder** aufgeführt, deren Umsetzung aus Sicht des Arbeitskreises auch konkreter industriepolitischer und industrieller Entscheidungen bedarf. Um diesen Umsetzungsprozess zu gestalten, wurde die Plattform Industrie 4.0 gegründet.

5.1 Standardisierung und offene Standards für eine Referenzarchitektur

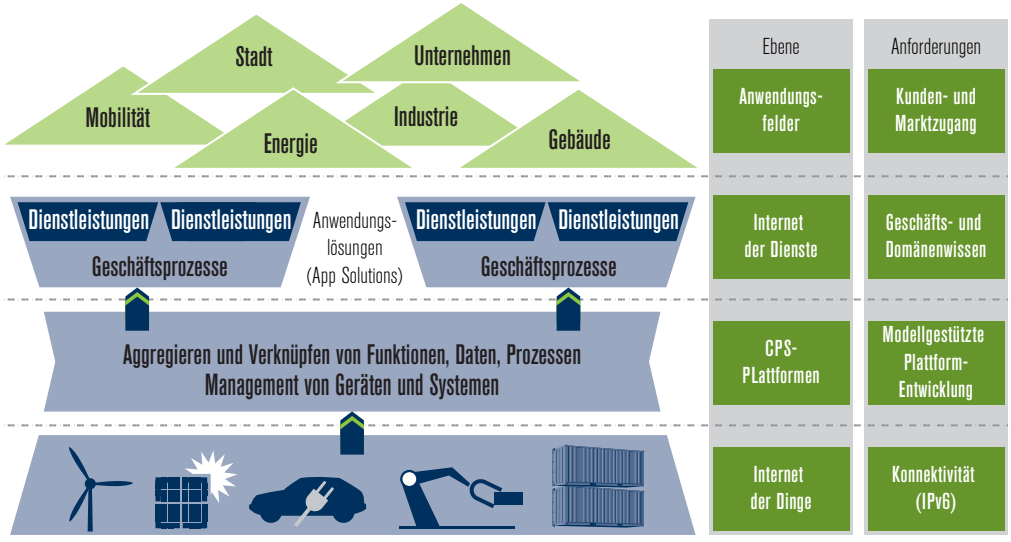
Industrie 4.0 ermöglicht eine firmenübergreifende Vernetzung und Integration über Wertschöpfungsnetzwerke (vgl. Kap. 3), die nur mit Standards gelingen wird. Es ist daher eine **Standardisierung** notwendig, in der die Mechanismen der Zusammenarbeit und die auszutauschenden Informationen festgelegt werden. Die technische Beschreibung und Umsetzung dieser Festlegung in ihrer Gesamtheit wird als **Referenzarchitektur** bezeichnet. Die Referenzarchitektur ist damit ein allgemeines Muster für die Produkte und Dienstleistungen aller zusammenarbeitenden Unternehmen und sie bildet den Rahmen für die Strukturierung, Entwicklung, Integration und den Betrieb der im Rahmen von Industrie 4.0 relevanten technischen Systeme. Sie wird in Form von *Software*-Applikationen und *Software-Services* zur Verfügung gestellt (vgl. exemplarisch Abb. 9).

Da das Wertschöpfungsnetzwerk im Kontext von Industrie 4.0 aus vielen unterschiedlichen Firmen mit verschiedensten Geschäftsmodellen besteht, muss die Referenzarchitektur die unterschiedlichen Sichtweisen zu einer **gemeinsamen, einheitlichen Sichtweise** zusammenführen, indem man sich auf die grundlegenden Strukturierungsprinzipien sowie Schnittstellen und Daten einigt.

Anhand eines Produktionssystems werden exemplarisch verschiedene Perspektiven skizziert, die in einer Referenzarchitektur integriert werden müssen (vgl. Abb. 10):

- Perspektive des Herstellungsprozesses in Form von Bearbeitungs- und Transportfunktionen
- Perspektive der konkreten vernetzen Geräte eines Produktionssystems, wie beispielsweise (intelligente) Automatisierungsgeräte, Feldgeräte, Feldbusse, speicherprogrammierbare Steuerungen, Bediengeräte, mobile Geräte, Server, Arbeitsplatzrechner, *Web*-Zugänge etc.

Abbildung 9:
Referenzmodell für das Internet der Dinge und Dienste



Quelle: Bosch Software Innovations 2012

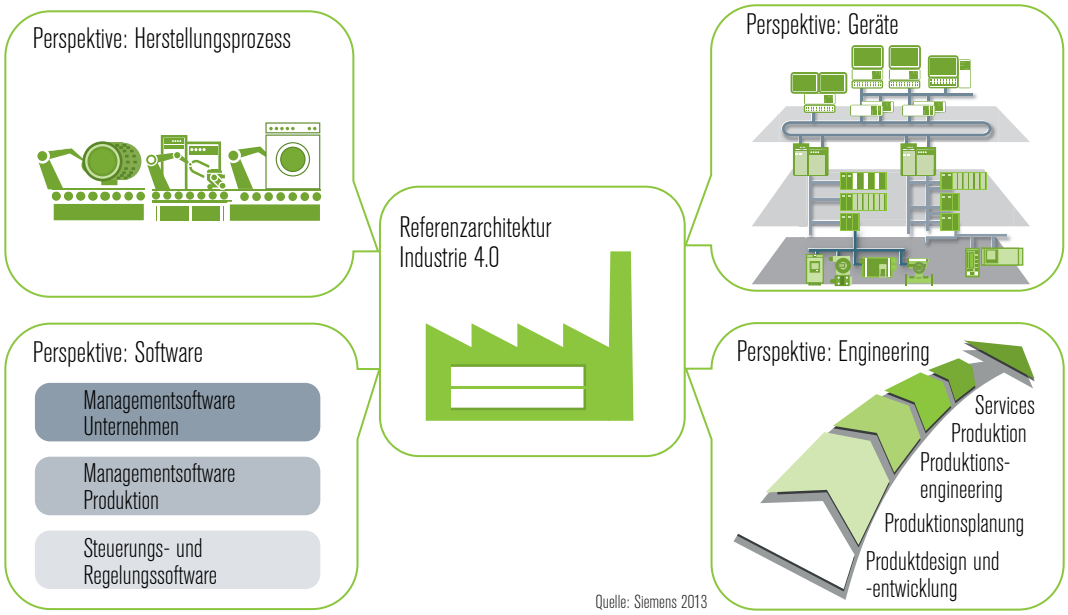


Abbildung 10: Beispiel für unterschiedliche Perspektiven auf die Referenzarchitektur Industrie 4.0

- Perspektive aus Sicht der *Software*-Applikationen in der Produktion, wie beispielsweise Datenakquisition über Sensoren, Ablaufsteuerungen, kontinuierliche Regelungen, Verriegelungen, Betriebsdaten, Maschinendaten, Prozessdaten, Archivierung, Trendanalysen, Planungs- und Optimierungsfunktionen etc.
- Perspektive der *Software*-Applikationen eines oder mehrerer Unternehmen, wie beispielsweise zur betriebswirtschaftlichen Planung und Steuerung, zur firmenübergreifenden Logistik oder zur Unterstützung von Wertschöpfungsnetzen einschließlich der Schnittstellen beziehungsweise Integration mit der Produktion
- Perspektive des *Engineerings* des Produktionssystems (*Product Lifecycle Management / PLM*), indem beispielsweise abgeleitet aus dem Herstellungsprozess die dazu benötigten Ressourcen (Maschinen und Mensch) geplant werden. Nacheinander können anschließend die Maschinen im Hinblick auf ihre mechanischen, elektrischen und automatisierungstechnischen Eigenschaften bis hin zur Errichtung und Inbetriebnahme des Produktionssystems verfeinert werden – inklusive der Betrachtung des Betriebes und der Wartung.

Herausforderungen

Eine erste Herausforderung besteht darin, die etablierten „Weltbilder“ der Disziplinen

- Produktionstechnik, Maschinenbau, Verfahrenstechnik,
- Automatisierungstechnik,
- Informatik und Internet

zusammenzubringen und eine **gemeinsame Sichtweise** zu entwickeln. Da im Rahmen von Industrie 4.0 Firmen des Anlagen- und Maschinenbaus, Firmen der Automatisierungstechnik und *Software*-Firmen zusammenarbeiten, muss man sich zunächst auf **gemeinsame, grundlegende Begrifflichkeiten** einigen.

Heute gibt es schon in den unterschiedlichen Fachdisziplinen, Verbänden und Arbeitskreisen viele festgeschriebene Standards, es fehlt aber eine integrierende Sicht. Insofern müssen die **vorhandenen Standards**, etwa im Umfeld der Automatisierung (industrielle Kommunikation, *Engineering*, Modellierung, IT-Sicherheit, Geräteintegration, digitale Fabrik), in die zu schaffende übergeordnete Referenzarchitektur eingeordnet werden.

Da die Referenzarchitektur sehr viele unterschiedliche Standpunkte integrieren soll, kann diese nicht *top-down* entwickelt werden beziehungsweise würde ein *Top-down*-Vorgehen viel zu lange dauern. Deshalb ist eine **inkrementelle Entwicklung** der Referenzarchitektur – auch mit verschiedenen Startpunkten – sinnvoll. In diesem Zusammenhang müssen die heute oft projektspezifisch gemäß örtlichen Gegebenheiten umgesetzten Konzepte schrittweise in einen **internationalen Standard** überführt werden. Dabei gilt es, sowohl technisch langfristig stabile Schnittstellen als auch die Werterhaltung der installierten Basis sicherzustellen.
Die Form der Standardisierung im Internet basiert auf anderen **Paradigmen** als heute im Anlagen- und Maschinenbau üblich sind, beispielsweise

- **Offene Betriebssysteme:** Eine *Community* aus Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Einzelpersonen mit mehr als 2.000 Entwicklern aus über 100 Ländern entwickelt und wartet mit Linux eines der erfolgreichsten Betriebssysteme.
- **Offene Entwicklungswerkzeuge:** Eine *Community* mit mehr als 1.500 Entwicklern und Millionen von Anwendern entwickelt *Software* für anspruchsvolle Modellierungsaufgaben.
- **Offene Kommunikationsinfrastruktur:** Die sogenannten *Requests for Comments* sind technische und organisatorische Dokumente der *Internet Society*, die am 07.04.1969 begonnen wurden. Sie werden durch allgemeine Akzeptanz und Gebrauch in der Praxis zum Standard erhoben. Prominente Beispiele hierfür sind das Internet Protokoll (TCP/IP) oder E-Mail-Protokolle (SMTP).

Standardisierungsaktivitäten werden über diese Paradigmen massiv beschleunigt.
Schließlich muss das **Vertrauen** in eine Referenzarchitektur geschaffen werden. Dies betrifft insbesondere den Schutz des eigenen Wissens (vgl. Kap. 5.7). Des Weiteren muss in die Konzeption frühzeitig die breite Masse der späteren Anwender der Referenzarchitektur auf geeignete Weise einbezogen werden.

Handlungsempfehlungen

Der Arbeitskreis Industrie 4.0 empfiehlt, dass im Rahmen der Plattform Industrie 4.0 eine **Arbeitsgruppe** exklusiv an dem Thema Standardisierung und Referenzarchitektur arbeitet. Diese Arbeitsgruppe sollte folgende Aufgaben wahrnehmen:

- Den Aufbau eines gegenseitigen Verständnisses hinsichtlich der Ziele, des Nutzens, der Potenziale und Bedrohungen, sowie der Inhalte und Umsetzungswege, um dadurch **gegenseitiges Vertrauen** als Grundlage für die gemeinsame Umsetzung aufzubauen. Hier sollten die Industrieverbände die Führungsrolle übernehmen und vertrauensbildende Maßnahmen durchführen.
- Den Abgleich der zentralen **Begrifflichkeiten**, die dann in einem gemeinsamen „Glossar Industrie 4.0“ definiert werden sollten. Darüber hinaus müssen geprägt durch den inhaltlichen Fokus von Industrie 4.0 insbesondere folgende Themen näher betrachtet werden:
  - Universalmodelle / *Model Universals* (grundlegende Kernmodelle, Referenzmodelle, Architekturkonzepte)
  - Standards für die *Service*-Architektur von Industrie 4.0
  - Standards für eine die Automatisierungsebene übergreifende Prozedur- und Funktionsbeschreibung
  - Terminologiestandards und die Handhabung von Ontologien
  - Verständnis autonomer und selbstorganisierender Systeme auch bezüglich ihrer Projektierung, Handhabung und Sicherung
  - Merkmalverwaltung und Systemstrukturbeschreibung
  - Vorgehensweise bei der Migration bestehender Architekturen

- Die Erstellung einer ***Bottom-up*-Landkarte**, in welcher die heute existierende Landschaft der Standardisierungsgremien skizziert wird und in der die bereits heute existierenden und etablierten Konzepte und Ausprägungen von „Referenzarchitekturen in der Automatisierung“ positioniert werden. Auf dieser Basis könnten dann die verschiedenen Themen im Hinblick auf Weiterentwicklung und Migration im Kontext von Industrie 4.0 bewertet sowie die noch nicht abgedeckten Themenkomplexe identifiziert werden.
- Die Initiierung einer ***Top-down*-Roadmap** unter Berücksichtigung von Aufwand-Nutzen-Betrachtungen und zeitlichen Abhängigkeiten. Dabei ist eine ganzheitliche Betrachtung notwendig, und es ist eine sinnvolle Grenze zwischen Standardisierung und Individualität zu ziehen. Die Organisation muss offen und transparent erfolgen und es müssen alle *Stakeholder* bei der Schaffung und Nutzung von Standards eingebunden und Lizenzmodelle betrachtet werden.
- Den Aufbau einer **firmenübergreifenden „Industrie 4.0-*Community*“**, die sich für die technische Implementierung der Referenzarchitektur verantwortlich fühlt, diese umsetzt und langfristig warten kann. Dazu sind ein passendes Lizenzmodell und ein passender *Community*-Prozess auszuwählen.
- Daneben gehören Moderation, Empfehlungen, Evaluierung, Kommunikation und Stimulation zu den Aufgaben der Arbeitsgruppe.

Zudem empfiehlt der Arbeitskreis die Etablierung geeigneter **Leuchtturmprojekte**, anhand derer die erfolgreiche Entwicklung und Anwendung von Referenzarchitekturen demonstriert werden kann. Abbildung 11 zeigt exemplarisch die Ausprägung einer Referenzarchitektur mit dem Schwerpunkt auf der horizontalen Integration über Wertschöpfungsnetze.
Andere Schwerpunkte für Referenzarchitekturen können beispielsweise das durchgängige *Engineering* von Produkt und zugehörigem Produktionssystem oder die Echtzeit-Prozesskommunikation zur Steuerung und Regelung von hochdynamischen technischen Produktionsprozessen sein.

5.2 Beherrschung komplexer Systeme

Produkte und zugehörige Produktionssysteme werden immer **komplexer**. Dies resultiert aus der zunehmenden Funktionalität, der zunehmenden Individualisierung der Produkte, der zunehmenden Dynamik in der Auslieferung, der zunehmenden Integration verschiedener Fachdisziplinen und Organisationen, aber auch aus den sich immer dynamischer verändernden Arten der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Unternehmen.
Modellbildung ist ein Gestaltungshebel, um diese zunehmende Komplexität zu beherrschen. Bei **Modellen** handelt es sich um eine Darstellung eines realen oder gedanklichen Betrachtungsgegenstands, wobei im Modell lediglich diejenigen Eigenschaften des Gegenstands dargestellt werden, die für die jeweilige Betrachtung relevant sind. Modelle sind damit ein wichtiges Konzept in der digitalen Welt und ihnen kommt im Kontext von Industrie 4.0 eine zentrale Bedeutung zu.

Grundsätzlich kann man zwei verschiedene Arten von Modellen unterscheiden:

- **Planungsmodelle** ermöglichen, die kreative Wertschöpfung von Ingenieuren transparent zu machen, und schaffen damit die Grundlage, komplexe Systeme überhaupt bauen zu können. Ein Beispiel für ein Planungsmodell ist eine Funktionszeichnung, über welche ein Ingenieur erklärt, wie er die Anforderungen an ein System in geeignete Funktionen umgesetzt hat. Insofern beinhaltet das Modell das Wissen des Ingenieurs.
- **Erklärungsmodelle** bilden ein existierendes System ab, um durch das Modell Wissen über das System zu erhalten. Dazu nutzt man üblicherweise verschiedene Analyseverfahren, wie die Simulation. Zum Beispiel kann man durch eine Simulation den

Energieverbrauch in einer Fabrik berechnen. Oft ist das Ziel von Erklärungsmodellen, Design-Entscheidungen von Ingenieuren zu verifizieren.

Über die Planungsmodelle hat die digitale Welt also signifikanten Einfluss auf das Design der realen Welt, über die Erklärungsmodelle hat umgekehrt die reale Welt Einfluss auf die Modelle der digitalen Welt.[1]

Da Modelle in der Regel eine formale Beschreibung beinhalten, kann man sie durch Rechner verarbeiten lassen, die somit die Routinearbeiten eines Ingenieurs wie beispielsweise Berechnungen oder wiederkehrende Tätigkeiten übernehmen können. Damit besteht ein **Nutzen** von Modellen darin, manuelle Tätigkeiten zu automatisieren beziehungsweise. Tätigkeiten, die bisher in der realen Welt erfolgten, nun in der digitalen Welt durchführen zu können.

Die **Potenziale** von Modellen sind nicht nur für Industrie 4.0 enorm. Beispielsweise können Risiken in Projekten durch das frühzeitige Aufdecken von Fehlern oder die frühe Verifikation von Anforderungen und der Tragfähigkeit von Lösungen reduziert werden. Oder es lassen sich durch einen transparenten Informationsfluss Effizienzsteigerungen im *Engineering* erzielen, durch eine Verbesserung interdisziplinärer Zusammenarbeit und durch konsistente ***Engineering***-Daten.

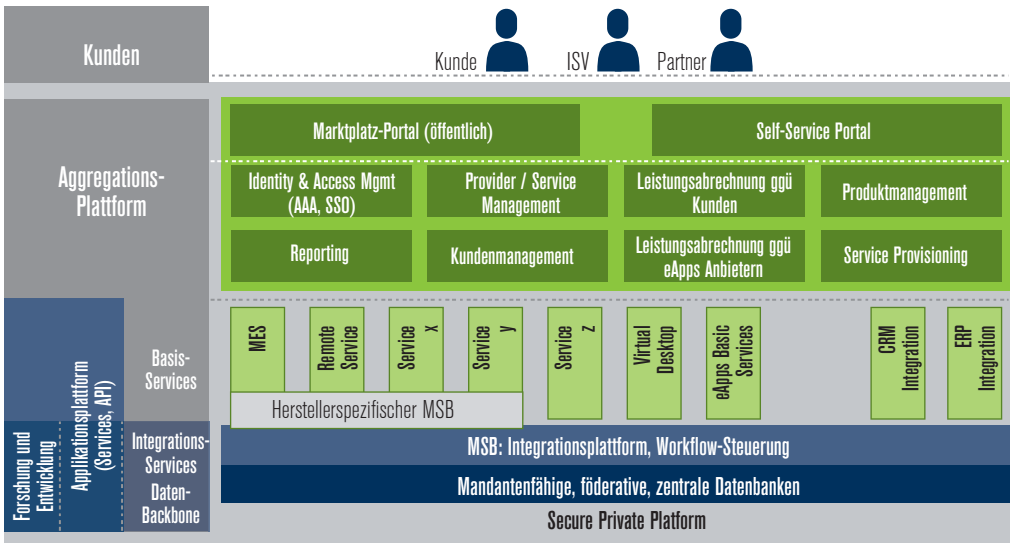
Erklärungsmodelle, welche die Wirkzusammenhänge und das Verhalten der realen Welt abbilden, können nicht nur in der **Entwicklungs- und Auslegungsphase** zur Verifizierung, sondern zukünftig vor allem in der **Betriebsphase** genutzt werden, um den regulären Betriebszustand zu überwachen, Verschleiß ohne Produktionsunterbrechung zu erkennen oder Komponentenausfälle und Störungen vorherzusagen.

Herausforderungen

Die Simulation mittels einer Modellbildung wird vor allem in KMU heute noch nicht standardmäßig zur Auslegung und Optimierung von Fertigungsprozessen eingesetzt. Eine große Herausforderung für Industrie 4.0 besteht daher darin, der breiten Masse der Ingenieure die Potenziale von Modellen zu vermitteln und ihnen **Methoden und Werkzeuge** an die Hand zu geben, wie sie Systeme aus der realen Welt mittels geeigneter Modelle in der virtuellen Welt abbilden (s. Kap. 5.6). Teilweise liegen über Sachverhalte (wie etwa chemische Zusammenhänge bei der Fertigung) gar keine geeigneten Modelle vor oder sie sind nur schwer in ein formales Modell zu überführen.

Die explizite Erstellung von Modellen in Industrie 4.0 bedeutet zunächst einmal ein zusätzliches Investment im Vergleich zu einer Vorgehensweise ohne explizite Modellierung. Denn man verlagert Wertschöpfung in eine frühere Phase mit dem Ziel, Folgekosten in späteren Phasen zu reduzieren.

Abbildung 11:
Beispiel einer Referenzarchitektur für eine CPS-Plattform



Quelle: Hewlett-Packard 2013

Damit stellt sich sofort die Frage der **Wirtschaftlichkeit** von Modellierung. Hier spielt natürlich der Geschäftsfall eine wichtige Rolle. Bei hohen Stückzahlen (wie beispielsweise in der Automobilindustrie) oder bei hohen Sicherheitsanforderungen (wie beispielsweise in der Avionik[2]) ist man eher bereit, entsprechende Investments in frühen Phasen zu tätigen, als bei Kleinserien oder gar Unikaten. Dabei spielt auch die Aufwandsverteilung auf kundenauftragsbezogene und kundenauftragsunabhängige Tätigkeiten eine wichtige Rolle. Die wirtschaftliche Modellerstellung ist ein entscheidender Erfolgsfaktor. Ebenso wichtig ist es, die Modelle über die Designphase hinaus auch in den späteren Phasen bis in den Betrieb nutzenstiftend einzusetzen.

Modellierung und Simulation erfordern qualifizierte *Experten*, denen in den entsprechenden Firmen geeignete Chancen geboten werden müssen. Im mittelständischen Maschinenbau sind heute Mitarbeiter mit diesen Qualifikationen absolute „Exoten".

Schließlich ist bei einer „Einführung" von Modellierung für Industrie 4.0 eine ganzheitliche Betrachtung notwendig. Einerseits müssen das **Produkt** und das **Produktionssystem** betrachtet werden, sowohl im Hinblick auf ihren modularen Aufbau als auch im Zusammenspiel der verschiedenen Disziplinen (beispielsweise Produktionstechnik, Automatisierungstechnik und Informatik). Daneben müssen fallspezifisch die tatsächlich in einer Fabrik stattfindenden Entwicklungs-, *Engineering*- und Produktions**prozesse** berücksichtigt werden und schließlich erfordert Modellierung leistungsfähige *Software*-**Werkzeuge**, die im Hinblick auf benötigte Funktionalitäten, auf Integration in die bestehende Werkzeugumgebung und Verfahrenslandschaft sowie auf die Einführungsstrategie optimiert und angepasst werden müssen.

Handlungsempfehlungen

Der Arbeitskreis Industrie 4.0 empfiehlt, dass sich im Rahmen der Plattform Industrie 4.0 eine **Arbeitsgruppe** exklusiv mit dem Thema **Modellierung zwecks Beherrschung** komplexer Systeme, insbesondere in der Produktionstechnik, befasst. Diese Arbeitsgruppe sollte folgende Aufgaben wahrnehmen:

- Auf Basis einer repräsentativen **Erhebung** sollte der dringendste Bedarf hinsichtlich der Modellierung erhoben werden, um das umfangreiche Thema zunächst durch eine Fokussierung auf die für die Umsetzung wichtigsten Aspekte einzugrenzen.
- Mittels ***Best Practice Sharing***, insbesondere unter mittelständischen Unternehmen, ließen sich Praktiker, aber auch Entscheider für das zentrale Thema Modellierung gewinnen. Mögliche Inhalte könnten beispielsweise Modularisierung, virtuelle Inbetriebnahme oder die digitale Anlage sein. Des Weiteren sollten geeignete Veranstaltungen zur Diskussion von Einstiegshürden und Migrationspfaden angeboten werden (vgl. den Wunsch nach Information in der Umfrage der Industrieverbände, Kap. 2). Gleiches gilt für die Moderation von ***Communities*** und **Expertenpools** als Anlaufstelle für (potenzielle) Anwender bei Fragen zur Modellbildung.
- Die Einrichtung von **gemeinsamen Foren** für Anwender von Werkzeugen einerseits, für Werkzeughersteller (Produktmanagement, Architekten) andererseits, aber auch für Trainer sollte durch die Arbeitsgruppe forciert werden, um das gegenseitige Verständnis zu verbessern. Der Fokus sollte auf der Anwenderzielgruppe „Anlagen- und Maschinenbau" im Sinne der Leitanbieterschaft für Industrie 4.0 liegen, um den Werkzeugherstellern eine Plattform zu bieten, ihre Anforderungen (beispielsweise im Hinblick auf Integration, Durchgängigkeit, Lücken und Potenziale) optimal adressieren zu können. Existierende *User Groups* für spezifische *Engineering*-Werkzeuge ließen sich ergänzend je nach Thema sinnvoll einbinden.
- Daneben sollte die Arbeitsgruppe an der Erstellung geeigneter **Richtlinien** und **Handlungsempfehlungen** arbeiten.

Ergänzend zu den Plattformaktivitäten müssen die Themen Modellierung und *Systems Engineering* gezielt bei der **Aus- und Weiterbildung** aufgegriffen werden. Dies betrifft sowohl die Qualifikation junger Ingenieure durch geeignete Ausbildungsinhalte als auch die Qualifizierung erfahrener Ingenieure durch entsprechende Weiterbildungsmaßnahmen. Die Ausbildungsinhalte sind dabei insbesondere an den Bedürfnissen der produzierenden Unternehmen auszurichten (vgl. Kap. 5.5 und 5.6).

Außerdem empfiehlt der Arbeitskreis die Etablierung geeigneter **Leuchtturmprojekte**, in denen die vorhandenen Modellierungsmethoden und -werkzeuge eingesetzt und erprobt werden können, und sich dadurch der Nutzen von Modellierung unter verschiedenen Randbedingungen demonstrieren lässt (*Engineering* versus Betrieb, Massenprodukt versus Kleinserie beziehungsweise Unikat, Fertigungs- versus Prozessindustrie, firmenintern versusübergreifend, Produktion versus Logistik etc.).

5.3 Flächendeckende Breitbandinfrastruktur für die Industrie

Durch den flächendeckenden Einsatz von CPS wird generell eine Infrastruktur benötigt, die einen wesentlich höheren und qualitativ hochwertigeren Datenaustausch ermöglicht, als dies existierende Kommunikationsnetze können. Eine grundlegende Voraussetzung für Industrie 4.0 ist deshalb der Ausbau der bestehenden Kommunikationsnetze bezüglich garantierter Latenzzeiten, ihrer Ausfallsicherheit, ihrer Qualität (*Quality of Services*) und mit einer flächendeckend zur Verfügung stehenden Bandbreite. Analog zur Empfehlung des Nationalen IT-Gipfels im Digitalen Infrastrukturen-Jahrbuch 2011 muss die Breitband-Internet-Infrastruktur innerhalb Deutschlands und zu den produzierenden Partnerländern massiv ausgebaut werden.[3]

„*Bei Anwendungen im Maschinenbau und der Automatisierungstechnik kommt es auf eine hohe Funktionszuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Kommunikationsverbindung an. Garantierte Latenzzeiten und Stabilität der Verbindungen sind von entscheidender Bedeutung, da sie eine direkte Auswirkung auf das Applikationsverhalten haben. […] Netzbetreiber sollten die Wünsche von Generalunternehmerschaften stärker wahrnehmen.*

- *Verbindliche und verlässliche SLAs (*Service Level Agreements*)*
- *Verfügbarkeit und Performance von Transportleistungen*
- *Unterstützung beim Debugging /* Tracing *von Kommunikationsverbindung, insbesondere die Bereitstellung technischer Hilfsmittel hierfür*
- *Bereitstellung von hochverfügbaren / garantierten Transportleistungen (feste / garantierte Bandbreite)*
- *Mobilfunkprovider-übergreifende SMS-Empfangsbestätigung*
- *Provider-übergreifend standardisierte* Application Programming Interfaces *(APIs) für Provisionierung (SIM-Karten-Aktivierung / Deaktivierung)*
- *Tarifmanagement*
- *Kostenkontrolle von Mobilfunkverträgen*
- Quality of Service *(feste Bandbreite)*
- *Globales Roaming zu vertretbaren Kosten*
- *Allgemein verfügbare* Embedded-*SIM-Karten*
- *Satellitenlösungen für Funklöcher [*Anm. in wenig besiedelten Gebieten*].*“

Die dazu notwendige Basisinfrastruktur wird nicht spezifisch für Industrie 4.0 benötigt, sondern für alle CPS-Anwendungen gemeinsam, wie beispielsweise auch Anwendungen in der Energie oder der Gesundheit (s. Kap. 2.1).

Herausforderungen

Die übergeordneten Anforderungen an eine effektive Breitbandinfrastruktur, die viele Anwender erreicht, sind: Einfachheit, Skalierbarkeit, Sicherheit, Verfügbarkeit und Bezahlbarkeit.

Handlungsempfehlungen

Der Arbeitskreis Industrie 4.0 empfiehlt nachdrücklich die Umsetzung der seitens der AG 2 „Digitale Infrastrukturen“ des Nationalen IT-Gipfels 2011 vorgelegten Empfehlungen zum Ausbau der Breitband-Internet-Infrastruktur in Deutschland. Welche Bandbreiten und Echtzeitanforderungen im Detail für Industrie 4.0 bereitgestellt werden müssen, muss in Studien über konkrete Anwendungsfälle erhoben werden.

Der Arbeitskreis empfiehlt – analog zu den Empfehlungen der AG 2 – den Ausbau der Breitband-Internet-Infrastruktur in Deutschland.

5.4 Sicherheit als erfolgskritischer Faktor für Industrie 4.0

Für produktionstechnische Anlagen und die damit hergestellten Produkte sind zwei Aspekte der Sicherheit von besonderer Bedeutung (s. Infokasten). Zum einen sollen von solchen Systemen keine Gefahren für Menschen und Umgebung ausgehen (Betriebssicherheit, engl.: *Safety*), zum anderen sollen die Anlagen und Produkte selbst vor Missbrauch und unbefugtem Zugriff – insbesondere auf die darin enthaltenen Daten und das enthaltene *Know-how* – geschützt sein (Angriffssicherheit, engl.: *Security*). Im Gegensatz zur Angriffssicherheit spielen Fragen der Betriebssicherheit schon lange eine große Rolle bei der Errichtung produktionstechnischer Anlagen sowie der damit hergestellten Produkte und sind in einer Fülle von Normen und Standards für die Herstellung und den Betrieb solcher Systeme geregelt.[4]

Seit dem ersten Aufeinandertreffen der Informationstechnologien auf Mechanik und Elektronik Ende der 1960er Jahre (Industrie 3.0[5]) stiegen die Sicherheitsanforderungen in der Produktion enorm. Neben einer deutlichen Komplexitätssteigerung beim Nachweis der funktionalen Sicherheit als Bestandteil der Betriebssicherheit wurde nach und nach auch das Thema Angriffssicherheit als Problem erkannt. Viele Sicherheitsfragen von Industrie 3.0, der „BETA-Version“ von Industrie 4.0, sind noch nicht vollständig gelöst, vor allem Maßnahmen zur Erreichung von Angriffssicherheit werden nur langsam und oft nur als Lösungen von Teilaspekten realisiert. Mit der Weiterentwicklung zu Industrie 4.0 kommen neue Sicherheitsanforderungen hinzu: Bei den CPS-basierten Produktionssystemen in Industrie 4.0 handelt es sich um hochgradig vernetzte Systemstrukturen mit einer Vielzahl von beteiligten Menschen, IT-Systemen, Automatisierungskomponenten und Maschinen. Zwischen den teilweise autonom agierenden technischen Systemkomponenten findet ein reger und oft zeitkritischer Daten- und Informationsaustausch statt. Zugleich sind wesentlich mehr Akteure entlang der Wertschöpfungskette beteiligt (s. Kap. 2 und 3). Sicherheit ist jedoch immer eine Eigenschaft des Gesamtsystems, sodass neben der Betriebssicherheit – insbesondere durch den hohen Vernetzungsgrad und die zumindest prinzipielle Öffnung nach außen – in Bezug auf Angriffssicherheit völlig neue Fragestellungen entstehen. Industrie 4.0 kann daher nur dann realisiert und akzeptiert werden, wenn es gelingt,

1. ***Security by Design* als Entwurfsprinzip zu etablieren.** In der Vergangenheit wurde die Sicherheit gegen Angriffe von außen oft durch physische Maßnahmen wie Zugangskontrollen oder andere zentrale Schutzmaßnahmen erreicht. In CPS-basierten Produktionssystemen reicht eine nachträgliche Anreicherung der Systeme um *Security*-Funktionen nicht aus. Alle Aspekte der Sicherheit (insbesondere *Security*) müssen von Anfang an einbezogen werden.

2. **IT-Sicherheitskonzepte, -architekturen und -standards zu entwickeln und zu etablieren**, die für das Zusammenspiel dieser hochvernetzten, offenen, heterogenen Komponenten ein hohes Maß an Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit herstellen. Gleichzeitig müssen sie – sowohl im Verhältnis nach außen als auch im Verhältnis der Komponenten unterschiedlicher Betreiber und / oder Hersteller untereinander – eine adäquate, zuverlässige und wirtschaftliche Lösung zum Schutz des digitalen *Prozess-Know-hows*, der *Intellectual Property Rights* und allgemein der Daten jedes einzelnen Herstellers und Betreibers bieten (vgl. auch Kap. 5.7).

Sicherheit bei Industrie 4.0 muss dabei immer als Gesamtsicherheit betrachtet werden. Von entscheidender Bedeutung sind dabei Fragestellungen zu den Auswirkungen von Maßnahmen zur Angriffssicherheit (kryptografische Verfahren oder Authentifizierungsverfahren) auf die funktionale Sicherheit (zeitkritische Funktionen, Ressourcenverfügbarkeit) und umgekehrt („Erhöht eine bestimmte sicherheitskritische Funktion eines Teilsystems die Möglichkeiten für *Cyber*-Angriffe?“).

Zudem ist – ausgehend vom Status quo – auch hinsichtlich der Sicherheitsfragen für Industrie 4.0 eine **duale Strategie** erforderlich:

Der Begriff „Sicherheit“ hat zwei Aspekte: Zum einen sollen von einem technischen System (Maschine, Produktionsanlage, Produkt etc.) keine Gefährdungen für Menschen und Umgebung ausgehen (Betriebssicherheit), zum anderen soll das System selbst vor Missbrauch und unbefugtem Zugriff geschützt sein (Zugangsschutz, Angriffs-, Daten-, Informationssicherheit). Für Industrie 4.0 sind unterschiedliche Sicherheitsaspekte relevant, weshalb zur trennscharfen Abgrenzung die folgenden Begriffe verwendet werden:

Angriffssicherheit / Datensicherheit / Informationssicherheit (engl.: *Security* oder auch *IT-Security* / *Cyber-Security*): Der Schutz von Daten und Diensten in (digitalen) Systemen gegen Missbrauch, wie unbefugten Zugriff, Veränderung oder Zerstörung. Die Ziele von Maßnahmen zur Angriffssicherheit sind die Erhöhung der Vertraulichkeit (engl.:*Confidentiality*; Einschränkung des Zugriffs auf Daten und Dienste auf bestimmte technische / menschliche Nutzer), der Integrität (*Integrity*; Korrektheit / Unversehrtheit von Daten und korrekte Funktion von Diensten) und Verfügbarkeit (*Availability*; Maß für die Fähigkeit eines Systems, eine Funktion in einer bestimmten Zeitspanne zu erfüllen). Je nach konkretem technischen System und den darin enthaltenen Daten und Diensten bildet Angriffssicherheit sowohl die Grundlage für Datenschutz (*Information Privacy*), also den Schutz des Einzelnen vor Beeinträchtigungen seines Persönlichkeitsrechtes in Bezug auf personenbezogene Daten, als auch eine Maßnahme für *Know-how*-Schutz (Schutz der *Intellectual Property Rights*).

Betriebssicherheit (engl.: *Safety*): Die Abwesenheit unvertretbarer Risiken und Gefahren für Menschen und Umgebung durch den Betrieb des Systems. Voraussetzungen für die Betriebssicherheit sind funktionale Sicherheit (engl.: *Functional Safety*) und eine hohe Zuverlässigkeit (engl.: *Reliability*). Zur Betriebssicherheit gehören je nach Art des technischen Systems weitere Aspekte wie etwa der Ausschluss von mechanischen oder elektrischen Gefährdungen, Strahlenschutz, Ausschluss von Gefährdungen durch Dampf oder Druck und weitere. Funktionale Sicherheit bezeichnet den Teil der Betriebssicherheit, der von der korrekten Funktion des Systems abhängt beziehungsweise durch diese realisiert wird. Teilaspekte dieser Eigenschaft sind geringe Fehlerhäufigkeit, Fehlertoleranz (die Fähigkeit, auch bei auftretenden Fehlern weiter korrekt zu funktionieren) und Robustheit (die Sicherung der Grundfunktionalität im Fehlerfall). Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein (technisches) System für eine bestimmte Zeitdauer in einer bestimmten Umgebung fehlerfrei arbeitet.

Zum einen müssen bestehende Fabriken sicherheitstechnisch für die neuen Erfordernisse „aufgerüstet“ werden – wobei die typischen langen Anlagennutzungsdauern und die kurzen Innovationszyklen in Verbindung mit heterogenen, teilweise sehr alten und auch schwer zu vernetzenden Infrastrukturen einen großen Problemkomplex darstellen. Zum anderen gilt es, Lösungen für neue Fabriken und Maschinen zu entwickeln. Dieser Übergang von der 3. zur 4. Industriellen Revolution muss fließend sein und sollte für alle beteiligten Akteure nachvollziehbar vonstattengehen. Entscheidend ist bei beiden Elementen der Strategie, dass bereits im Vorfeld ein Konsens zu Sicherheitsfragen und der Sicherheitsarchitektur bei den Akteuren entlang der gesamten Wertschöpfungskette erreicht wird.

Herausforderungen

Die Ausgangslage hinsichtlich der Sicherheit für Industrie 4.0 ist heterogen – neben technischen Herausforderungen stehen erfolgreiche Sicherheitslösungen auch vor betriebswirtschaftlichen, psychologischen und die Bildung betreffenden Problemen. So existieren beispielsweise keine durchgängig standardisierten Betriebsplattformen in der Industrie, um ausreichende Sicherheitslösungen zu implementieren, die in ihrer Umsetzbarkeit und ihrem Kostenmodell für die Industrie geeignet sind – und nicht als „Kostentreiber“ eingestuft werden. Ein Ausbau oder eine Aktualisierung bestehender Infrastrukturen ist oft nur begrenzt möglich, zumal viele Sicherheitslösungen ursprünglich für andere Branchen oder Anwendungsszenarien entwickelt wurden. Zudem sind insbesondere IT-Sicherheitsfragen auch immer Fragen des Sicherheitsbewusstseins: Es existieren zu viele unterschiedliche Sensibilisierungsgrade hinsichtlich der Sicherheit in den einzelnen Branchen. Insbesondere angesichts der in Industrie 4.0 zunehmenden Vernetzung und damit auch Kooperation mehrerer Partner in Wertschöpfungsnetzen ist ein stärkeres Vertrauen in die jeweilige Kompetenz des anderen (*Security & Trust*) erforderlich, die auch nachweisbar vorhanden sein sollte.

Das Bewusstsein für das Wertschöpfungspotenzial von *Software* nimmt im Maschinen- und Anlagenbau zu, was sich in stark steigenden *Software*-Anteilen in Produktionsanlagen und Maschinen manifestiert. Die informationstechnischen Risiken sind allerdings oft noch zu wenig bekannt. Erst seit der öffentlichen Diskussion von Schad-*Software* wie *Stuxnet, Duqu* oder *Flame* ist industrielle Angriffssicherheit zunehmend ein Thema in der Automatisierungsindustrie. Die Bedeutung von *Software* zum Erhalt und der Erreichung von *Security* und *Safety* steigt zunehmend – bisher tragen die Produktionsprozesse diesem Umstand noch zu wenig Rechnung oder es sind zwar Lösungen verfügbar, sie sind aber noch nicht implementiert.

Insgesamt erfordert Industrie 4.0 ein sehr viel proaktiveres Vorgehen in puncto Sicherheit als bisher (insbesondere *Security by design*) – denn oft werden Sicherheitsfragen erst reaktiv gestellt, wenn der Entwicklungsprozess bereits abgeschlossen ist und nachdem es konkrete Sicherheitsvorfälle gab. Dieses nachträgliche Implementieren von Sicherheitslösungen ist jedoch kostenintensiv und oft nicht mit der nachhaltigen Beseitigung von Sicherheitsproblemen verbunden. Sicherheit kann dabei nicht nur auf funktionelle Komponenten reduziert werden, sondern ist als Prozess zu denken. Wichtig für schnelle Reaktionszeiten sind zudem ein flankierendes Monitoring und ein intensiver branchenübergreifender Austausch. Bisher werden Kennzahlen zur Risikobewertung vor allem in der industriellen Angriffssicherheit zu wenig erhoben und ein Austausch zu Sicherheitsvorfällen findet nicht oder nur sehr begrenzt statt. Damit könnten virulente und ungezielte Flächenangriffe eingedämmt werden.

Handlungsempfehlungen

Im Rahmen seiner Analysen zur *Cyber*-Sicherheit hat das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) in einer Top 10-Liste[6] die aktuellen Bedrohungen mit der höchsten Kritikalität zusammengestellt, denen sogenannte *Industrial Control Systems* (ICS) derzeit ausgesetzt sind. Ergänzend dazu hat der Arbeitskreis Industrie 4.0 gemeinsam mit Fachexperten **acht Bereiche** innerhalb des Handlungsfeldes Sicherheit identifiziert:

1. Integrierte Sicherheitskonzepte, -architekturen und -standards

Industrie 4.0 erfordert angepasste Sicherheitskonzepte für *Safety* und *Security* und eine systematische Anwendung dieser Prinzipien und Methoden im gesamten Lebenszyklus von Systemen. Als Grundlage hierzu sollte ein gemeinsamer „Wissenspool" erarbeitet werden, in dem die in der Prozessautomatisierung, im Maschinenbau und der Elektrotechnik vorhanden Methoden um die in der IT-Industrie, *Automotive* oder *Aerospace* existierenden Konzepte und Verfahren zur Angriffs- und Betriebssicherheit ergänzt und an die speziellen Anforderungen von Industrie 4.0 angepasst werden.

- Sicherheitskonzepte zur Angriffs- und Betriebssicherheit in prinzipiell offenen, kooperierenden Teilsystemen verschiedener Hersteller und Betreiber sind hier wissenschaftlich zu erarbeiten. Grundlage dieser Konzepte sollten Bedrohungsszenarien sein, die zunächst für einzelne Branchen (etwa Maschinenbau, Autozulieferer) entwickelt werden können, letztendlich aber branchenübergreifend definiert werden müssen.
- Bei der Erforschung und Entwicklung entsprechender Konzepte und Systeme ist auf eine enge Abstimmung zu achten, zum einen mit anderen Projekten in der Sicherheitsforschung, wie sichere Identitätsnachweise, *Cyber-Security* oder der Schutz kritischer Infrastrukturen, zum anderen auch auf den Wissensaustausch mit anderen Branchen, wie etwa *Automotive* oder *Aerospace*.
- Aufbauend auf diesen Konzepten soll die Definition von Sicherheitsarchitekturen für produktionstechnische Systeme als Referenzarchitekturen für Industrie 4.0 erfolgen, die – soweit möglich – „abwärtskompatibel" zum Bestand an Industrie 3.0-Anlagen ist.

Neben einer für den Erfolg von Industrie 4.0 unabdingbaren Standardisierung der Konzepte und Verfahren erlauben solche Referenzarchitekturen zudem die Definition von Testverfahren und die Errichtung von Testeinrichtungen, die zur Überprüfung der Gesamtsicherheit der Systeme auf allen Ebenen genutzt werden können – von der einzelnen Maschine über deren Vernetzung bis hin zur Anwendung. Gleichzeitig können solche Referenzarchitekturen als Basis für die Erteilung von Sicherheitsreifegraden und -zertifikaten sowohl für neu zu erstellende als insbesondere auch für bereits vorhandene Teilsysteme genutzt werden. Dies wäre Teil einer Migrationsstrategie.

2. Eindeutige und sichere Identitätsnachweise für Produkte, Prozesse und Maschinen

Essenziell für die Akzeptanz und das Funktionieren von Industrie 4.0 ist ein sicherer Informationsaustausch entlang des gesamten Produktionsprozesses. Dies umfasst die Maschinen, deren Komponenten aber auch die ausgetauschten Daten und betroffene Prozesse sowie beteiligte organisatorische Einheiten. Um den Austausch zu ermöglichen, ist es notwendig, die individuellen Maschinen, Prozesse und Produkte / Komponenten / Materialien eindeutig, elektronisch identifizieren zu können. Wünschenswert ist zudem eine Art „Sicherheitsausweis" für Komponenten, anhand dessen die bereits im Entwicklungsprozess berücksichtigten und kompensierten Risiken als auch die vom Integrator / Errichter / Betreiber / Anwender zu betrachtenden Risiken ausgewiesen werden und der die oben beschriebenen Sicherheitsreifegrade enthält.

Solche Ausweise könnten als Teil eines sicheren Identitätsnachweises die Basis für eine – sowohl zur Entwicklungszeit als auch im laufenden Betrieb ermittelten – Einstufung der Gesamtsicherheit eines CPS in der Produktion sein. Die Abstufung der Sicherheit sollte nach dem Produktwert, der möglichen Bedrohungslage und den angepassten beziehungsweise geeigneten Gegenmaßnahmen erfolgen. Das Zukunftsprojekt „Sichere Identitäten" sollte daher auch um die Aspekte „Produkte", „Maschinen" und „Prozesse" erweitert werden; zudem gilt es, nicht nur physische, sondern auch virtuelle Produkte mitzudenken.

3. Migrationsstrategie von Industrie 3.0 zu Industrie 4.0

Ziel einer solchen Strategie ist es, die (noch lange) bestehenden Industrie 3.0-Anlagen schrittweise sicherer zu machen und sie andererseits für den Ausbau zu Industrie 4.0 vorzubereiten. Die Heterogenität, Langlebigkeit und die Individualität bestehender Industrieanlagen verhindern jedoch einheitliche Standards für IT-Sicherheitslösungen. Es ist daher für eine Migrationsstrategie neben der oben beschriebenen Möglichkeit der Evaluierung des Status quo für bestehende Anlagen zudem essenziell, ein standardisiertes Prozessmodell zu realisieren, um individuelle Sicherheitslösungen pragmatisch, schnell und kostengünstig zu implementieren. Die Gestaltung eines solchen Prozesses könnte durch eine Anpassung bereits bestehender (generischer) IT-Sicherheitsprozesse erreicht werden: basierend auf einer individuellen Sicherheitszieldefinition, einer Situationsanalyse zur Identifizierung von Schwachstellen und Bedrohungen sowie einer anschließenden Definition des Maßnahmenkataloges und seiner Implementierung.

4. Benutzerfreundliche Sicherheitslösungen

Prozesse und Anwendungen werden in der Regel umgangen, wenn sie nicht benutzerfreundlich sind – im Falle von Sicherheitslösungen ist dieses Phänomen gerade bei einem hohen Vernetzungsgrad fatal. Es gilt daher, vom ersten Design über das *Engineering* bis zum Betrieb und zur Wartung Sicherheitslösungen zu entwickeln, die an den Bedürfnissen der Benutzer ausgerichtet sind, die über bedienungsfreundliche Schnittstellen verfügen und die somit die Ausführung der Anwendungen sicherstellen.

5. Sicherheit aus betriebswirtschaftlicher Perspektive

Sicherheit ist immer auch ein Kostenfaktor: Anlagen können ausfallen, was sowohl zu direkten Schäden (etwa Umsatzverlusten) als auch zu indirekten Schäden (etwa Regressansprüchen von Kunden, Lieferanten und Partnern oder Imageschäden) führen kann. Bisher werden Schäden, die durch Informationstechnik verursacht sind, in der Produktion kaum versichert. Es werden daher auch Berechnungsmethoden benötigt, um zunächst die Risiken in Industrie 4.0 und im Folgenden die Wirtschaftlichkeit von Sicherheitslösungen – auch gegenüber dem alternativen Abschalten von Industrieanlagen wegen (vermeintlicher) IT-Bedrohungen – klarer kalkulieren zu können.

6. Sicherer Schutz vor Produktpiraterie

Erfolgreiche Produkte bieten immer auch Angriffsfläche für Produktpiraterie – im globalen Wettbewerb ist daher der Schutz des geistigen Eigentums (engl.: *Intellectual Property*) für Hochlohnländer überlebenswichtig.[7] Problematisch sind dabei nicht nur die Umsatzverluste, sondern auch Imageschäden und der Verlust von *Know-how*. In Extremfällen äußert sich dies darin, dass frühere Plagiateure zu Wettbewerbern werden. Neben dem teilweise aufwändigen physikalischen Nachbau von Produkten geht es zunehmend auch um das gezielte Abgreifen von Unternehmens- und Produkt-*Know-how*, insbesondere in Form von bislang einfach zu kopierender Software oder Konfigurationen.

Der Schutz vor Produktpiraterie ist bei Industrie 4.0 noch wichtiger, da die Zusammenarbeit durch die Kooperationen innerhalb der Wertschöpfungsnetzwerke stark zunimmt. Dabei gilt es sowohl auf technischer als insbesondere auch auf unternehmens- und wettbewerbsrechtlicher Ebene die Frage zu lösen, wie Vertrauen und Transparenz innerhalb der Plattform sichergestellt werden können, ohne dass unternehmenskritisches *Know-how* verloren geht.

7. Aus- und (innerbetriebliche) Weiterbildung

Kenntnisse in Informationssicherheit sind essenziell für alle Personen. Zentral ist dabei die Sensibilisierung der industriellen Mitarbeiter – vom Facharbeiter an der Maschine bis hin zum *Software*-Entwickler für Sicherheitsfragen oder dem Planungsingenieur in der Anlagentechnik. Bei der konkreten Realisierung von Sicherheitslösungen in Unternehmen ist die reine Implementierung technischer Produkte unzureichend – selbst wenn diese nutzerfreundlich erfolgt ist (s. Punkt 4) –, solange die Mitarbeiter nicht ausreichend hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen geschult sind. Geeignete und auf das industrielle Umfeld ausgerichtete Sensibilisierungskampagnen könnten helfen, diese Defizite abzubauen, während neue Pflichtveranstaltungen an den Hochschulen den Nachwuchs vorbereiten sollten (vgl. auch Kap. 5.6).

8. *„Community-Building“* für Datenschutz in Industrie 4.0

Industrie 4.0 stellt erhöhte Anforderungen an den Datenschutz – beispielsweise aufgrund der technischen Möglichkeiten, Informationen zum Gesundheitszustand der Beschäftigten an den Maschinen in der *Smart Factory* oder mittels der Assistenzsysteme zu erfassen und auszuwerten. Gerade in Deutschland herrscht im Zuge des Rechts auf informationelle Selbstbestimmung eine besondere Sensibilität hinsichtlich des Umgangs mit personenbezogenen Daten. Empfohlen wird bei der Bearbeitung des Themas Datenschutz daher eine enge Abstimmung mit dem Zukunftsprojekt „Sichere Identitäten“, dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), den Datenschutzbeauftragten des Bundes und der Länder sowie den Gewerkschaften und Betriebsräten (vgl. Kap. 5.7).

Die Fragen der Priorisierung im Sinne einer *Roadmap* oder auch die Erstellung eines Anforderungskataloges sollten auf der Plattform Industrie 4.0 vertiefend diskutiert und bearbeitet werden. Bei einer „Wunschlösung“ für Industrie 4.0 sollte dabei neben der Absicherung der Kommunikation zwischen Maschinen und Komponenten die inhärente Sicherheit von individuellen Maschinen nicht aus den Augen verloren werden. Empfohlen wird dabei ein Fokus auf pragmatische Lösungen, die – vor langfristigen „Ideal-Lösungen“ – bereits frühzeitig in bestehende Anlagen implementiert werden können (vgl. Kap. 2.1).

Deutschland ist führend bei Lösungen für komplexe IT-Sicherheit und beim Thema *Safety*, auch Deutschlands Sicherheitsexperten haben weltweit einen hervorragenden Ruf. *Security*-Produkte für die klassische IT kommen jedoch vorwiegend aus anderen Staaten, wie den USA oder Israel. Parallel zur Entwicklung von CPS und CPS-Produkten bietet sich die Chance, in Deutschland eine eigene *Security*-Industrie für Industrie 4.0 aufzubauen und die spezifischen Kenntnisse über Produktions- und Automationsprozesse, mechatronisches *Engineering* oder *Embedded Systems* als Wettbewerbsvorteil zu nutzen. Dieser Standortvorteil sollte für das Thema Industrie 4.0 zügig erschlossen werden.

» Bei Industrie 4.0 wird es darauf ankommen, technische und organisatorische Lösungen zu entwickeln, die für den Mittelstand geeignet sind, und die Fachkompetenz in den Betrieben zu nutzen. Ein mitarbeiterfreundliche Arbeitsorganisation und arbeitsplatzbezogene Qualifizierung sind für die Realisierung entscheidend. «

Dr. Georg Schütte
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Staatssekretär

5.5 Arbeitsorganisation und Arbeitsgestaltung im digitalen Industriezeitalter

Welche Folgen hat Industrie 4.0 für die Arbeit? Welcher Verantwortung müssen sich Unternehmen und Gesellschaft in einer dezentralisierten, von CPS durchzogenen Hightech-Ökonomie stellen? Welche Entwicklungen der Arbeitswelt sollen damit einhergehen? Wie kann Arbeit unter den Bedingungen zunehmender Automation und echtzeitorientierter Steuerungssysteme für die Beschäftigten gut, sicher und fair gestaltet werden? Von der Beantwortung dieser Fragen wird abhängen, ob die Mobilisierung von Innovations- und Produktivitätsreserven und damit die Sicherung von Wettbewerbsvorsprüngen durch den breitflächigen Einsatz selbststeuernder, wissensbasierter, sensorgestützter Produktionssysteme gelingen kann. Innovationshandeln kann sich dabei keineswegs allein auf die Bewältigung technischer Herausforderungen konzentrieren, sondern muss den Fokus konsequent auf eine intelligente Organisation der Arbeit und die Fähigkeiten der Beschäftigten erweitern. Denn diese werden bei der Umsetzung und Absorption der technischen Innovationsimpulse die zentrale Rolle spielen. Man kann sich vorstellen, dass sich diese Rolle im Zeichen offener, virtuell gestalteter Arbeitsplattformen und umfassender Mensch-Maschine- und Mensch-System-Interaktionen deutlich verändern wird. Arbeitsinhalte, -prozesse und -umgebungen werden einen erheblichen Wandel erleben – mit Ausstrahleffekten auf Flexibilität, Arbeitszeitregelungen, Gesundheit, Demografie und Lebenswelt. In dieser Konstellation bedarf die erfolgreiche Integration von Zukunftstechnologien der intelligenten Einbettung in eine innovative (betriebliche) Sozialorganisation.

Herausforderungen

Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird die Arbeit in Industrie 4.0 an alle Beschäftigten deutlich erhöhte Komplexitäts-, Abstraktions- und Problemlösungsanforderungen stellen. Darüber hinaus wird den Arbeitnehmern ein sehr hohes Maß an selbstgesteuertem Handeln, kommunikativen Kompetenzen und Fähigkeiten zur Selbstorganisation abverlangt. Kurzum: Die subjektiven Fähigkeiten und Potenziale der Beschäftigten werden noch stärker gefordert sein. Das bietet Chancen auf qualitative Anreicherung, interessante Arbeitszusammenhänge, zunehmende Eigenverantwortung und Selbstentfaltung.

Indes implizieren die Anforderungen der neuen, virtuellen Arbeitswelt auch Gefahren für den Erhalt und die Sicherung des Arbeitsvermögens. Je mehr das technische Integrationsniveau ansteigt, desto stärker könnten eine zunehmende Flexibilisierung, Intensivierung sowie eine steigende Spannung zwischen Virtualität und eigener Erfahrungswelt Raum greifen. Der Verlust an Handlungskompetenz, die Erfahrung der Entfremdung von der eigenen Tätigkeit durch eine fortschreitende Dematerialisierung und Virtualisierung von Geschäfts- und Arbeitsvorgängen wären die Folgen. Nicht auszuschließen ist, dass sich „alte“ und „neue“ Gefährdungen in neuer Qualität überlagern, was zu merklichen Kreativitäts- und Produktivitätsverlusten führen oder auch Selbstausbeutung befördern könnte.

Nicht zuletzt stellt sich die Frage, welche quantitativen Beschäftigungseffekte die fortschreitende IT-Durchdringung in der industriellen Fertigung nach sich ziehen wird. Zu vermuten ist, dass sich der Abbau einfacher, manueller Tätigkeiten fortsetzen wird. Damit würde der Ausschluss zumindest von Teilen der Belegschaften (insbesondere von Angelernten) drohen. Dies wäre weder für die Beschäftigten, noch mit Blick auf den gesellschaftlichen Anspruch sozialer Integration akzeptabel – und für die erfolgreiche Realisierung von Industrie 4.0 in hohem Maße dysfunktional.

Technik und Arbeitsgestaltung aus einem Guss

Die *Smart Factory* enthält Gelegenheitsstrukturen für eine neue Arbeitskultur, die sich an den Interessen der Beschäftigten orientiert. Freilich wird sich dieses Potenzial nicht im Selbstlauf realisieren. Entscheidend dafür sind Organisations- und Gestaltungsmodelle von Arbeit, die ein hohes Maß an selbstverantwortlicher Autonomie mit dezentralen Führungs- und Steuerungsformen kombinieren, die den Beschäftigten erweiterte Entscheidungs- und Beteiligungsspielräume sowie Möglichkeiten zur Belastungsregulation zugestehen, und zugleich Optionen für flexibles Arbeitshandeln eröffnen.

Die Technik bietet Optionen in beide Richtungen. Die Systemauslegung kann sowohl als restriktive, kontrollierende Mikrosteuerung als auch als offenes Informationsfundament konfiguriert werden, auf dessen Basis der Beschäftigte entscheidet. Anders gesagt: Über die Qualität der Arbeit entscheiden nicht die Technik oder technische Sachzwänge, sondern Wissenschaftler und Manager, welche die *Smart Factory* modellieren und umsetzen.

Gefragt ist in diesem Zusammenhang eine **sozio-technische Gestaltungsperspektive**, in der Arbeitsorganisation, Weiterbildungsaktivitäten sowie Technik- und *Software*-Architekturen in enger wechselseitiger Abstimmung, „aus einem Guss“ mit dem Fokus darauf entwickelt werden, intelligente, kooperative, selbstorganisierte Interaktionen zwischen den Beschäftigten und / oder den technischen Operationssystemen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu ermöglichen.

„Besser statt billiger“ als Chance und Orientierungsmaßstab im industriellen Wandel

In dieser soziotechnischen Gestaltungsperspektive kann eine weitere Radikalisierung des tayloristischen Gestaltungsansatzes – kurzzyklisch, hoch standardisierte, monotone Arbeitsvollzüge – schwerlich als aussichtsreicher Weg gelten, das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 im Einvernehmen mit den Beschäftigten zu realisieren und damit neue Effizienzvorteile zu erschließen. Gerade weil die *Smart Factory* als hochkomplexes, wandlungsfähiges und flexibles System gestaltet sein wird, braucht sie Beschäftigte, die als Entscheider und Steuerer agieren (können). Dazu müssen sie durch breitqualifizierte, kundenorientierte Aufgabenprofile, eine lernförderliche Arbeitsorganisation sowie eine breit angelegte Weiterbildung unterstützt werden, die selbstständiges Arbeiten fördert und als aktives Instrument systematischer Personalentwicklung und Aufstiegsförderung konzipiert ist.

Technische Entwicklungsziele müssen in Industrie 4.0 zusammen mit Organisationsmodellen der Arbeit entsprechend der spezifischen ökonomischen und sozialen Rahmenbedingungen erarbeitet und konfiguriert werden. Zum einen muss eine erweiterte Produktionsflexibilisierung möglich werden, zum anderen müssen verlässliche Grenzen der Entgrenzung definiert und den Beschäftigten eine realistische *Work-Life-Balance*-Option eröffnet werden.

In diesem Zusammenhang kann die gewerkschaftliche Innovationsstrategie „Besser statt billiger“[8] tragfähige Standards und Handlungskorridore für gute und faire Arbeit sowie eine sichere Zukunft von Standorten und Beschäftigung aufzeigen. Diese Strategie umfasst einerseits eine arbeitsorientierte Organisationsgestaltung mit erweiterten Beteiligungs-, Mitbestimmungs- und Qualifizierungsmöglichkeiten. Anderseits ist sie mit globalen Wettbewerbs- und Flexibilitätsanforderungen kompatibel. „Besser statt billiger“ zielt auf die Technologieführerschaft als Weichenstellung für die industrielle Zukunft Deutschlands. In dieser Perspektive stellen gute Arbeit, technologische Innovation und Mitbestimmung beim Projekt Industrie 4.0 keinen Widerspruch, sondern eine in die Zukunft weisende Kompasseinstellung bei der Suche nach Lösungen dar, die technologisch effizient und sozial ausgewogen sind.

Handlungsempfehlungen

- Die Plattform Industrie 4.0 sollte das Thema „Mensch und Arbeit in Industrie 4.0“ im Rahmen eines **disziplinübergreifenden Experten-Arbeitsgruppe** fortführen. Die Arbeitsgruppe soll im Wesentlichen drei Zielstellungen verfolgen:

  1. Auswirkungen für Arbeit und Beschäftigung (Chancen und Risiken) sowie Handlungsbedarfe im Hinblick auf eine beschäftigtenorientierte Arbeits- und Qualifizierungspolitik ermitteln und dokumentieren
  2. Orientierungs- und Handlungshilfen für die Weiterentwicklung und Implementierung des sozio-technischen Gestaltungsansatzes sowie entsprechender Referenzprojekte geben
  3. Innovative Ansätze partizipativer Arbeitsgestaltung und lebensbegleitender Qualifizierungsmaßnahmen fördern, die über Altersgruppen, Geschlecht und Qualifikationsniveaus hinweg die ganze Breite der Belegschaften berücksichtigen

- Die Plattform sollte einen **regelmäßigen Dialog zwischen den Sozialpartnern** etablieren, in dem wichtige Fortschritte, Problemfelder und Lösungsmöglichkeiten bei der Umsetzung von Industrie 4.0 transparent gemacht und beraten werden.

- Die Plattform sollte einen funktionierenden Wissenstransfer zwischen den Akteuren außerhalb und innerhalb der Betriebe sowie im nationalen und internationalen Kontext organisieren. Neben einem innovativen Wissensmanagement sind hierfür breit aufgestellte soziale Netzwerke zu konstituieren.

5.6 Aus- und Weiterbildung für Industrie 4.0

Die Umsetzung von Industrie 4.0 muss wie ausgeführt zu einem arbeitsorientierten, sozio-technischen Fabrik- und Arbeitssystem führen und stellt somit auch die berufliche und akademische Aus- und Weiterbildung vor neue Herausforderungen. Diese umfassen Erweiterungsbedarfe sowohl für die Entwickler produktionstechnischer Komponenten als auch für die Anwender.
In Industrie 4.0 werden die Aufgaben- und Kompetenzprofile durch zwei Trends unter starken Veränderungsdruck geraten: Zum einen werden herkömmliche, stark arbeitsteilige Produktionsprozesse in eine veränderte Aufbau- und Ablauforganisation eingebettet und mit Entscheidungs-, Koordinierungs-, Kontroll- sowie begleitenden Dienstleistungsfunktionen angereichert werden. Zum anderen ist das Zusammenwirken virtueller und realer Maschinen, Anlagensteuerungen sowie Fertigungsmanagementsysteme zu organisieren und aufeinander abzustimmen.

Zusammengefasst heißt das: Durch das Zusammenwachsen von IKT, Produktions- und Automatisierungstechnik und *Software* werden mehr Arbeitsaufgaben in einem technologisch, organisatorisch und sozial sehr breit gefasstem Handlungsfeld zu bewältigen sein.
Auch die Qualifizierung von IT-Fachpersonal steht durch Industrie 4.0 vor grundlegenden Veränderungen: Die Fähigkeit, Anwendungsbedarfe in unterschiedlichen Branchen zu erkennen und Entwicklungspartner in einem globalen Kontext zu gewinnen, erhält Vorrang vor dem rein technologisch fundierten Spezialistentum. Die Vielfalt der möglichen Einsatzgebiete setzt einer standardisierten Ausbildung Grenzen. Immer wichtiger wird der Dialog mit der produzierenden Industrie, um die Anforderungen der digitalen Ökonomie in die Ausbildung aufzunehmen. Unternehmen werden damit zukünftig noch stärker als heute zu Bildungspartnern von Hochschulen. An ein komprimiertes Erststudium müssen sich Einsätze in der betrieblichen Praxis und Vertiefungsstudien anschließen. Dabei gilt es, die Grenzen zu den Natur- und Ingenieurswissenschaften zu öffnen und überfachliche Kompetenzen wie Management oder Projektsteuerung stärker zu adressieren. Taktgeber für die Veränderungen in der akademischen Ausbildung von IT-Fachkräften sind die Unternehmen und ihre Kunden.

Dies bedeutet auch ein engeres Zusammenwachsen von IT und Fertigungstechnik – ganz im Sinne von Industrie 4.0. Die relevanten Lerninhalte für Industrie 4.0 müssen daher identifiziert und adäquat didaktisch und methodisch aufbereitet werden. Speziell die kreativen Bereiche eines Unternehmens, wie beispielsweise die interdisziplinäre Produkt- und Prozessentwicklung, können vollständig neue Qualifikationen erfordern. Diese würden es den Unternehmen im Rahmen ihrer dualen Strategie ermöglichen, auf einen schrumpfenden Arbeitsmarkt und die hohe Volatilität der Märkte zu reagieren.
Die Entwicklung professioneller Erwachsenenbildung (Didaktiken, Berufsbild) ist dazu ein wesentlicher Schritt. Die Durchlässigkeit zwischen beruflicher und akademischer Bildung sowie zwischen verschiedenen Angeboten und Systemen der Aus- und Weiterbildung und die Anerkennung „fachfremder“, aber arbeitsplatzrelevanter Kompetenzen sollten auf Basis von **Kompetenzbewertungen**[9] verbessert werden. Es steigt der Bedarf an Überblickswissen und Verständnis für das Zusammenspiel aller Akteure im Produktionsprozess. In dieser Perspektive wachsen nicht nur die Anforderungen an Metakognitionskompetenzen. Auch soziale Kompetenzen erlangen einen erhöhten Stellenwert, da mit der intensivierten Verzahnung einstmals getrennter Abteilungen und Disziplinen der Bedarf an Interaktion – real wie computervermittelt – zunimmt. In fachlicher Hinsicht werden verstärkt interdisziplinäre Kompetenzen gefordert sein, die heute vielfach erst in Ansätzen existieren.
Um Qualifikationspotenziale zu erkennen und transparent zu machen, müssen Standards für die Anerkennung non-formaler und informeller Bildung entwickelt werden. Ziel ist es, ein neues, ganzheitliches Organisationsverständnis zu vermitteln und Handlungssicherheit durch die Transparenz der Systeme zu befördern.

Der Academy Cube

Der ***Academy Cube*** ist eine Initiative deutscher und internationaler Industrieunternehmen sowie öffentlicher Institutionen mit dem Ziel, den durch Industrie 4.0 entstehenden Bedarf an neuen Qualifizierungsformen und -inhalten zu adressieren. Speziell richtet sich das Angebot aktuell an Fachkräfte aus Südeuropa, wo eine hohe Arbeitslosigkeit* herrscht. Interessierten werden durch das Online-Angebot des *Academy Cube* Perspektiven aufgezeigt, wie ihre Kompetenzen und ihr Wissen in ihren Heimatländern und darüber hinaus Anwendung finden können.

Der ***Academy Cube*** gibt arbeitssuchenden Akademikern aus den Bereichen IKT und Ingenieurswesen eine Möglichkeit zur gezielten Qualifizierung und zur konkreten Kontaktaufnahme mit Industrieunternehmen. Dies erfolgt über eine *cloud*-basierte Plattform, auf der Unternehmen und Institutionen *e-Learning*-Kurse anbieten und konkrete Stellenangebote veröffentlichen. Arbeitssuchende können sich fehlende Qualifikationen, die für bestimmte Stellenausschreibungen erforderlich sind, mithilfe der Plattform aneignen und entsprechende Zertifikate erwerben. Die Zertifikate, die auf standardisierten Curricula basieren, schaffen für potenzielle Arbeitgeber Sicherheit in puncto Qualität der Ausbildung und Transparenz bezüglich der Inhalte. Top-Kandidaten werden automatisch mit Top-Jobangeboten teilnehmender Unternehmen verbunden.

Der Academy Cube wurde in der durch das BMBF und die SAP AG geleiteten AG 6 *Bildung und Forschung für die Digitale Gesellschaft* des Nationalen IT Gipfels konzipiert und anlässlich der CeBIT 2013 offiziell gestartet. Seit März 2013 bietet das Programm sechs komplette Kurrikula und zwölf konkrete Kurse aus dem Umfeld Industrie 4.0 an. Zu den Lerninhalten zählen unter anderem die Gebiete Automation, *Big Data*-Analyse, Produktions- und Logistikprozesse, Sicherheit und Datenschutz.

Weitere Informationen: **www.academy-cube.com**

Abbildung 12:
Die Vernetzung der verschiedenen Akteure durch den Academy Cube

Quelle: Academy Cube 2013

* So lag die Arbeitslosenquote in Spanien 2012 bei 27 Prozent, die Jugendarbeitslosigkeit in Spanien und Griechenland sogar bei 52 Prozent (Quelle: Eurostat 2012). Nach Schätzungen der EU-Kommission werden bis 2015 alleine 700.000 IKT-Professionals in Europa fehlen (Quelle: News der EU-Kommission vom 20.3.2012); für Deutschland bilanziert die BITKOM einen Mangel von 9.000 Informatik-Absolventen pro Jahr (Quelle: BITKOM 2012). Über 10.100 IKT Spezialisten fehlen in Italien, 18.300 in Polen, 41.800 in Spanien und 87.800 in Deutschland (Quelle: Eurostat 2012).

Dieses gilt für alle Qualifizierungsstufen. Der Ausbau der Weiterbildung sollte dabei eine hohe Priorität haben. Insbesondere ist auf **arbeitsplatznahe Weiterbildung** zu achten, die Gesundheit, Bewegung und Lebensführung als Voraussetzungen für ein längeres Arbeitsleben einschließt.

Durch lernförderliche Arbeitsorganisation und adäquate Qualifizierungsstrategien soll eine menschzentrierte Produktionsgestaltung ermöglicht werden, die den heterogenen Bildungs- und Erfahrungsstand und die unterschiedlichen Kompetenzbündel der Beschäftigten derart berücksichtigt, dass die Innovationsfähigkeit von Menschen und Unternehmen gestärkt wird. Eine lernförderliche Arbeitsorganisation ist ferner Grundlage für lebensbegleitendes Lernen und sollte daher gerade im Hinblick auf die zu erwartende schnelle technische Veränderung in CPS-basierten Systemen Ziel einer *Smart Factory* sein. Die Effektivität von arbeitsplatznahem und externem Lernen einerseits und allgemeinem und beruflichem Lernen andererseits sollte im Vergleich weiter erforscht werden.

Darüber hinaus werden Industrie 4.0-Arbeitsplätze unter anderem unter Verwendung von CPS-Technologien so ausgelegt, dass die zwischenmenschliche Kommunikation unter den Beschäftigten befördert wird und Arbeitsunterstützung, Lernaufgaben sowie physisches Training in sinnvollen Intervallen in den Arbeitsalltag arbeitsplatznah integriert werden. Dabei muss stets Rücksicht auf die Belastbarkeit der Beschäftigten genommen werden.

Bei der Gestaltung der Arbeitsplätze gilt es zudem, die unterschiedlichen Rollen der Beschäftigten – von ungelernten Beschäftigten über Facharbeiter und Beschäftigte mit Meister- oder Technikerausbildung bis zum akademischen Personal mit Bachelor-, Master- oder Ingenieurstudium – sowie deren heterogene Voraussetzungen wie Alter und Bildungs-, Erfahrungs- oder kulturellen Hintergrund zu berücksichtigen.

Handlungsempfehlungen

Der Arbeitskreis Industrie 4.0 empfiehlt daher die folgenden Maßnahmen zur Qualifizierung, Aus- und Weiterbildung in Industrie 4.0:

1. **Förderung von Modellvorhaben**
   In Förderprojekten sollten Aktivitäten verankert werden, aus denen Konzepte der Aus- und Weiterbildung entstehen. Dazu gehören auch Konzepte zur Förderung der Durchlässigkeit zwischen beruflicher und akademischer Bildung, zwischen verschiedenen Aus- und Weiterbildungsgängen und -systemen und zur Anerkennung „fachfremder“ Kompetenzen.
2. **Einrichtung und Förderung von „Netzwerken guter Praxis“**
   Zur Sicherung von Wissenstransfer und der Nachhaltigkeit sollten „Netzwerke guter Praxis“ für Aus- und Weiterbildung wettbewerblich ausgeschrieben werden. Diese Netzwerke haben die Aufgabe, Beispiele zu entwickeln und zu dokumentieren, aufzubereiten, Akteure zu vernetzen und den Transfer zu unterstützen.
3. **Erforschung neuer Ansätze für arbeitsplatznahen Wissens- und Kompetenzerwerb, Entwicklung digitaler Lerntechniken**
   Digitalen Medien und innovativen Lerntechnologien (*e-Learning*) wird eine herausragende Rolle in der Wissensvermittlung und Kompetenzentwicklung zukommen. Vor dem Hintergrund des technischen und demografischen Wandels und im Hinblick auf die heterogenen Voraussetzungen der Lernenden müssen neue Ansätze für die Didaktik sowie die Konzeption etwa von Assistenzsystemen entwickelt werden.
4. **Förderung von Querschnittskonzepten zu Fragen der Arbeitsorganisation**
   Alle Maßnahmen zur Qualifizierung, Aus- und Weiterbildung für Industrie 4.0 erfordern eine umfassende

Begleitforschung in Form von Forschungs- und Umsetzungspartnerschaften. Grundlegend zu untersuchen sind dabei Fragen der Arbeitsorganisation, Prozessgestaltung, Steuerung und Kooperation sowie ihre Konsequenzen für die Entwicklung der beruflichen Tätigkeit und der Qualifikation in Industrie 4.0, einschließlich des Erhalts der Beschäftigungsfähigkeit in einem längeren Leben. Für eine lernförderliche Arbeitsorganisation sind Trainingskonzepte, Analysemethoden und Führungskonzepte zu entwickeln. Insgesamt sind damit erhebliche Herausforderungen für die Aus- und Weiterbildung angesprochen, die neben der flächendeckenden Notwendigkeit kontinuierlicher Weiterbildung auch eine zumindest in Teilen veränderte Ausbildungssystematik einschließen.

5. **Förderung spezifischer Lerninhalte zu Industrie 4.0 und der interdisziplinären Zusammenarbeit**
   Förderung **interdisziplinärer Zusammenarbeit** aller Fachdisziplinen (beispielsweise Produktionstechnik, Automatisierungstechnik, Informatik) im Sinne eines ***Systems** Engineering*. Dies erfordert insbesondere ein gegenseitiges Verstehen der Positionen und Herangehensweisen sowie eine integrierende Betrachtung von Strategie, Geschäftsprozessen und Systemen. Auch an der Schnittstelle zwischen **Technik und Recht** ist interdisziplinäre Forschung erforderlich: Juristischer Sachverstand ist bereits in den frühen Stadien des F&E-Prozesses einzubeziehen. Umgekehrt müssen auch Technikern vermehrt juristische Grundkenntnisse vermittelt werden, um einen entsprechenden Austausch zu ermöglichen.
6. **Modellierung technischer Systeme unter Nutzung der Informationstechnik**
   Dies betrifft einerseits die Modellierung des Zusammenspiels zwischen realer und digitaler Welt unter Berücksichtigung einer adäquaten Formalisierung und andererseits methodische Aspekte wie modellbasiertes, mechatronisches *Engineering* oder die Berücksichtigung von Anpass-Entwicklung (*Delta-Engineering*) im Gegensatz zu vollständiger Neuentwicklung.

5.7 Rechtliche Rahmenbedingungen

Wie alle grundlegenden technischen Innovationen treffen die neuen Produktionsprozesse von Industrie 4.0 auf ein bestehendes rechtliches Umfeld. Dies führt zu wechselseitigen Herausforderungen: Die Unsicherheit über die rechtliche Zulässigkeit einer neuen Technologie oder die mit ihr verbundenen Haftungs- und Datenschutzfragen kann sich akzeptanz- und innovationshemmend auswirken. Umgekehrt kann die faktische Macht neuer Technologien und Geschäftsmodelle so groß sein, dass die Durchsetzbarkeit bestehender rechtlicher Regelungen infrage gestellt wird. Kurze technische Innovationszyklen und der disruptive Charakter neuer Technologien bergen somit die Gefahr eines chronischen Vollzugsdefizits („Hinterherhinkens“) des geltenden Rechts.

Industrie 4.0 führt weithin nicht zu völlig neuen Rechtsfragen, wohl aber steigert sie in erheblichem Maße deren Komplexität. Um Recht und Technik zu einem Ausgleich zu bringen, ist zweierlei erforderlich: die Entwicklung von **Kriterien für die rechtsgemäße Gestaltung der neuen Technologien** und die **innovationsadäquate Fortbildung des Rechts**, die im Rahmen von Industrie 4.0 vielfach durch entsprechende Vertragsgestaltungen geleistet werden kann. Beides setzt voraus, dass die rechtliche Analyse der neuen Technologien nicht erst nach deren Fertigstellung beginnt, sondern möglichst früh im Forschungs- und Entwicklungsprozess einsetzt.

Herausforderungen

1. Schutz von Unternehmensdaten

Mit der Entwicklung zum Internet der Dinge in der *Smart Factory* steigt nicht nur die Menge, sondern auch die Aussagekraft der erzeugten Unternehmensdaten. Hinzu kommt, dass die Geschäftsmodelle nicht mehr durch einzelne Unternehmen, sondern durch hochdynamische Unternehmensnetzwerke und in völlig

neuen Wertschöpfungsketten umgesetzt werden, wie etwa im RAN-Projekt[10] demonstriert. Dabei werden Daten zum einen von smarten Maschinen autonom generiert und übermittelt, und zum anderen überschreiten die Daten zwangsläufig die Unternehmensgrenze(n). Mit diesem Kontextwechsel können besondere Gefahren verbunden sein: Daten, die ursprünglich für eine unternehmensübergreifende Abstimmung von Produktion und Logistik erzeugt und ausgetauscht werden, können – verknüpft mit anderen Daten – Dritten plötzlich brisante Einblicke in ein beteiligtes Unternehmen geben und beispielsweise Einblicke in Geschäftsstrategien eröffnen. Die klassische Strategie dieses Wissen zur Sicherung von Wettbewerbsvorteilen geheim zu halten, wird neuer Instrumente bedürfen. Neue und rechtlich abgesicherte Geschäftsmodelle werden erforderlich: Die erzeugten Rohdaten können für Dritte nützliche Informationen enthalten, sodass ein Interesse an entsprechender Monetisierung bestehen kann. Auch derartige innovative Geschäftsmodelle bedürfen (regelmäßig vertraglicher) rechtlicher Schutzinstrumente, um den erzeugten Mehrwert – etwa durch Modelle eines dynamischen *Pricings* – angemessen zu verteilen.

Der gesetzliche Schutz von Unternehmensdaten begegnet diesen Gefahren bisher nur punktuell. Er setzt meist voraus, dass diese als Betriebs- oder Geschäftsgeheimnisse zu charakterisieren sind, und berücksichtigt im Wesentlichen nur den Fall einer rechtswidrigen Offenbarung. Rechtmäßig – beispielsweise mit Zustimmung des Geheimnisträgers – erlangte Informationen dürfen daher weithin zweckentfremdend weiterverwendet werden. Die hieraus resultierenden Schutzlücken können jedoch weithin mithilfe der Selbstregulierung (etwa durch Geheimhaltungsvereinbarungen) geschlossen werden. Das Vertragsrecht kann hier Szenarien sehr genau regeln. Dafür müssen die Sensibilität der Daten und der sich daraus ableitende Schutzbedarf individuell bestimmt werden. Unter Umständen können dafür einzelne datenschutzrechtliche Prinzipien Modell stehen.

Bei der Bewältigung großer Mengen spontan eingegangener Rechtsbeziehungen stoßen vertragliche Regelungen jedoch an Grenzen, weil die individuelle Risikoabschätzung und Vertragsaushandlung dann zu unverhältnismäßigen Aufwänden führt. Dies erfordert neue **Vertragsmodelle**, um den Unternehmen einerseits die Hoheit über „ihre“ Daten zu erhalten, andererseits unternehmerische Flexibilität zu fördern.

2. Haftung

Beim unternehmensübergreifenden Austausch sensibler Daten besteht die Gefahr, dass diese entweder vereinbarungswidrig verwendet und / oder weitergegeben oder durch Dritte ausgespäht werden – wenn etwa der Empfänger nur unzureichende IT-Sicherheitsmaßnahmen implementiert hat. Eine Lösung hierfür bieten bereits übliche Vertragsklauseln, die technische und organisatorische Maßnahmen sowie ergänzende Maßnahmen (zum Beispiel eine Berichtspflicht bei Sicherheitsproblemen oder Ausfällen) vorschreiben und für deren Verletzung Vertragsstrafen vorsehen. Daneben erweitert sich in Industrie 4.0 aber auch der Kreis der von den Produktionseinheiten üblicherweise geforderten Eigenschaften. Nicht allein das Fehlen primärer Eigenschaften (Haltbarkeit, Funktionstüchtigkeit, Aussehen), sondern auch ein fehlerhaftes Agieren im Netzwerk der intelligenten Dinge kann damit einen Haftungsfall auslösen.

In diesen Szenarien stellt sich die Frage nach der Haftung und der Verantwortlichkeit mit erhöhter Dringlichkeit, denn der vernetzte Einsatz autonomer Systeme führt dazu, dass Tatbeiträge aufgrund struktureller Intransparenz nur schwer ihrem jeweiligen Verursacher zugeordnet werden können, die rechtliche Verantwortlichkeit bleibt so unklar. Gegenüber Dritten bleibt zwar der Unternehmer, der autonome Daten verarbeitende Produktionssysteme einsetzt, für die Sicherheit seiner Produktionsumgebung und seiner Produkte verantwortlich, die hergebrachten Ansätze des Delikts- oder Produkthaftungsrechts bieten hier adäquate Lösungen. Wollen jedoch weitere Beteiligte einer Mithaftung entgehen oder wenigstens Regress im Innenverhältnis nehmen, müssen Verantwortlichkeiten vorab vertraglich definiert werden und / oder die **Tatbeiträge den Inhabern der jeweiligen Systeme klar zugeordnet werden** können. Dies hat auch Bedeutung für die Versicherbarkeit verbleibender Risiken und die korrespondierenden Prämienkalkulationsmodelle der Versicherungswirtschaft.

Die korrekte Verantwortungsverteilung wird umso eher gelingen, je genauer Verarbeitungsschritte und Systemzustände beweiskräftig dokumentiert werden – wobei personenbezogene feingranulare Protokolldaten wiederum datenschutzrechtliche Probleme hervorrufen können. Technische Dokumentationsverfahren wie personen- oder gerätebezogene elektronische Signaturen werden deshalb in Industrie 4.0 erheblich an Bedeutung gewinnen.

3. Umgang mit personenbezogenen Daten

Interagieren Arbeitnehmer verstärkt mit CPS, so steigen auch Masse und Aussagekraft der personenbezogenen Daten über einzelne Mitarbeiter. Das gilt vor allem beim Einsatz von Assistenzsystemen, wenn diese etwa den Standort, die Vitalfunktionen oder die Qualität der Aufgabenerfüllung aufzeichnen. Dies birgt ein Gefahrenpotenzial für die informationelle Selbstbestimmung der Arbeitnehmer. Besonders problematisch sind dabei Fallkonstellationen mit internationalem Bezug: Wird die Auswertung der in der *Smart Factory* erhobenen Daten von einem beauftragten Unternehmen außerhalb der Europäischen Union (EU) oder des Europäischen Wirtschaftsraums (EWR) durchgeführt – das gilt auch für Unternehmen desselben Konzerns – oder werden Unternehmensdaten, die personenbezogene Daten der Mitarbeiter enthalten, dorthin weitergegeben, so setzt das geltende Datenschutzrecht enge Grenzen. Dies gilt insbesondere dann, wenn das Datenschutzniveau im Empfängerland unter dem europäischen Niveau liegt. In weltweit vernetzten Wertschöpfungsketten kann dies zu empfindlichen Einschränkungen führen.

Die gegenwärtigen gesetzlichen Regelungen erweisen sich für die Bewältigung dieser Probleme als unzureichend. Modelle der Auftragsdatenverarbeitung stoßen schon derzeit (unter anderem im *Cloud Computing*) an Grenzen, weil sie für außereuropäische Staaten meist nicht greifen und die Auftraggeber ihren Kontrollpflichten praktisch nicht nachkommen können.
Daher stellt sich für die Unternehmen verstärkt die Frage nach einer rechtssichereren, praktikablen Lösung für den Umgang mit personenbezogenen Daten. Eine solche könnte teilweise mit konzerninternen *Binding Corporate Rules* sowie mit Tarifverträgen und Betriebsvereinbarungen erzielt werden, die jedoch das bestehende Datenschutzniveau nicht beliebig unterbieten dürfen. Jedenfalls müssen diese Instrumente auf die Besonderheiten von Industrie 4.0 hin weiterentwickelt werden.

Datenschutzrechtliche Anforderungen für kundenorientierte Produkteigenschaften ergeben sich je nach Produkt und Einsatzbereich. Spezifisch relevant für Industrie 4.0 ist beispielsweise das Anbringen von Daten verarbeitenden Komponenten am Endprodukt. Diese können zunächst im Produktionsprozess verwendet werden, später aber auch den Kunden erreichen und dort zweckändernd weitergenutzt werden. Um dies zu verhindern und die Datenverarbeitung zu begrenzen, sind die verbauten Komponenten nach dem Kriterium der datenschutzrechtlichen Erforderlichkeit zu gestalten.

4. Handelsbeschränkungen

Je komplexer die in Industrie 4.0 eingesetzten Systeme sind, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass einzelne Komponenten nationalen und internationalen Handelsbeschränkungen unterliegen. So sind Verschlüsselungstechniken erforderlich und von Kundenseite erwünscht, um Vertraulichkeit und Integrität der Kommunikation der CPS sicherzustellen. Gerade in Zukunftsmärkten wie China sind jedoch Gebrauch, Verkauf, Import und Export von Kryptographie-Produkten genehmigungspflichtig. Umgekehrt erlaubt die EU zwar die Verbringung innerhalb Europas und in Staaten wie Japan, Kanada und den USA, beschränkt aber den Export von Verschlüsselungstechniken als *Dual Use Goods*[11] für viele andere Staaten. Wenn Unternehmen weltweit in Zukunftsmärkten präsent sein wollen, sehen sie sich schon heute teilweise gezwungen, in rechtlichen Graubereichen zu operieren, wenn etwa kryptografische Komponenten als Teile größerer Fertigungsanlagen verbaut werden. Diese Rechtsunsicherheit wird in Industrie 4.0 weiter zunehmen und kann ein erhebliches Handelshemmnis darstellen.

Handlungsempfehlungen

Die genannten rechtlichen Herausforderungen sind erheblich und ihre Lösung stellt einen kritischen Erfolgsfaktor von Industrie 4.0 dar. „Lösung" bedeutet dabei größtenteils nicht ein Tätigwerden des Gesetzgebers. Vielmehr bedarf es **eines Instrumentenmixes, der aus rechtlichen, technischen und politischen Komponenten bestehen muss.** Nicht zuletzt gilt es, auch bei KMU ein Bewusstsein für die skizzierten Probleme zu schaffen und hierfür Verbände und Ministerien als Multiplikatoren zu gewinnen.

Ein wichtiger Bestandteil gerade für KMU muss dabei die Entwicklung praxisorientierter Leitfäden, Checklisten und Mustervertragsklauseln sein. Neue Modelle zur Vertragsgestaltung müssen den Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen gewährleisten, aber auch eine angemessene Gewinnverteilung regeln, wenn in den neuen Geschäftsmodellen Mehrwerte generiert werden. Dazu ist die **möglichst exakte Definition der Rollen der Beteiligten** (einschließlich neuer Rollen wie verschiedener Informationsbroker) erforderlich.

Im Haftungsbereich müssen derartige Handreichungen vor allem die Sicherheitsmaßnahmen und die Anforderungen an eine beweiskräftige Dokumentation – insbesondere an kritischen Übergabepunkten zwischen den Akteuren – umfassen. Für den Arbeitnehmerdatenschutz sollten in Form eines *Best Practice*-Modells kollektive Musterbetriebsvereinbarungen erarbeitet werden, um die Anforderungen von Industrie 4.0 mit den Datenschutzinteressen der Beschäftigten in Einklang zu bringen. Im Bereich des sicheren und vertrauenswürdigen Umgangs mit fremden sensiblen Unternehmensdaten erscheinen auch Anstöße zum **Einsatz von Selbstregulierungsmaßnahmen wie Audits oder Zertifizierungen** hinsichtlich der Einhaltung von IT-Sicherheitsstandards sinnvoll. In einigen Bereichen wird schließlich gesetzlicher Handlungsbedarf bestehen. Dies ist beispielsweise im Bereich der Auftragsdatenverarbeitung der Fall, wo allerdings derzeit der europäische Gesetzgeber gefordert ist.

Erheblicher **Harmonisierungsbedarf** besteht auch hinsichtlich der Handelsbeschränkungen, **insbesondere für Kryptographie-Produkte.** Für eine nachhaltig positive Entwicklung Deutschlands zum Leitanbieter im Bereich von Industrie 4.0 sollten mittel- bis langfristig weltweit einheitliche Regelungen (beispielsweise auf Ebene der Welthandelsorganisation) angestrebt werden.

Insgesamt erfordern die Herausforderungen von Industrie 4.0 an der Schnittstelle zwischen Technik und Recht interdisziplinäre Forschung: Juristischer Sachverstand ist bereits in den frühen Stadien des F&E-Prozesses einzubeziehen. Umgekehrt müssen auch Technikern vermehrt juristische Grundkenntnisse vermittelt werden, um einen entsprechenden Austausch zu ermöglichen. **Eine derartige Allianz zwischen technischer und rechtlicher Kompetenz könnte zu einem echten Wettbewerbsvorteil Deutschlands auf dem Industrie 4.0-Markt werden.** Für die Plattform Industrie 4.0 bedeutet dies, dass juristische Expertise bereits frühzeitig in die unterschiedlichen Arbeitsgruppen einbezogen werden sollte.

5.8 Ressourceneffizienz

Naturgemäß ist die industrielle Produktion der mit Abstand größte Rohstoffverbraucher in einem Industrieland und zusammen mit dem privaten Sektor auch der größte Verbraucher von Primär- und elektrischer Energie. Dies bedeutet nicht nur hohe Kosten, sondern auch Umwelt- und Versorgungsrisiken, die durch gesetzliche Vorgaben im Zaum gehalten werden. In der Folge bemüht sich die Industrie intensiv um Reduktion beziehungsweise Substitution ihres Ressourcen- und Energieverbrauchs. Entsprechende Aktivitäten müssen viele Jahre andauern, um die notwendigen Erfolge zu erreichen. Dies wird letztlich die Produktionsprozesse und damit die Konstruktion von Maschinen und Anlagen verändern, denn nur dort ist real der Material- und Energieeinsatz beeinflussbar.
Ansatzpunkt ist der Ressourceneinsatz im produzierenden Unternehmen — sowohl innerhalb des Unternehmens als auch im gesamten Wertschöpfungsnetzwerk. Zu unterscheiden sind hierbei drei Kategorien von Ressourcen und deren Einsatz:

1. Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie alle Formen von Energieträgern einschließlich deren Umwandlung von einer Form in andere Formen
2. Humane Ressourcen in Form menschlicher Arbeitskraft
3. Finanzielle Ressourcen in Form erforderlicher Investitionen und Betriebskosten

Der Einsatz dieser Ressourcen kann entweder auf eine möglichst hohe Ausbringung an Produkten bei gegebenen Ressourcen oder auf einen möglichst niedrigen Einsatz an Ressourcen bei gegebener Produktionsmenge abzielen. Im ersten Fall wird die **Ressourcenproduktivität** und im zweiten Fall die **Ressourceneffizienz** bewertet. Es gibt inzwischen mehrere Maßzahlsysteme (Ökobilanz, CO_2-Footprint[12] etc.), die hier zur Messung angewendet werden.

Herausforderungen

Generell sind bei Industrie 4.0 die gesamten industriellen Produktionsprozesse und ihre Umsetzung in Maschinen und Anlagen auf die Reduktion des Ressourceneinsatzes zu untersuchen und zu verändern. Die Ergebnisse der BMBF/VDMA-Initiative „Effizienzfabrik“[13] können hier als Vorbild dienen. Bei der Realisierung solcher effizienter Produktionsverfahren ist nicht nur die grundsätzliche Funktion zu beachten, sondern auch die Stabilität der Prozesse, gerade unter dynamischen Verhältnissen wie beispielsweise häufiges An- und Abschalten oder die Verhinderung von Ausschuss (Verschwendung von Material und Energie).
Insofern muss die **Produktivität** unter dem Gesichtspunkt instabiler Prozesse betrachtet werden, da diese Qualitätsprobleme zur Folge haben, was zu Nacharbeit wie Reparaturen oder kompletter Ersatzfertigung führt. Gleichzeitig gilt es, die **Verfügbarkeit** in den Blick zu nehmen: Produktionsequipment kann ausfallen (Vorhalten von Redundanzen zur Minimierung von Ausfallrisiken), Ressourcen sind nicht rechtzeitig verfügbar oder Bestände nicht bedarfsgerecht (Vorprodukte und Produkte).
Eine wesentliche Herausforderung für Industrie 4.0 wird darin liegen, den Nachweis zu erbringen, dass der Zusatzeinsatz an Ressourcen durch CPS einschließlich der dazu nötigen Infrastruktur ein ausreichend hohes Potenzial zur Steigerung der Ressourcenproduktivität und -effizienz aufweist, in einer Gesamtbetrachtung vom *Engineering*, über Produktionsprozesse, Produktionssteuerung, Intralogistik bis zur Beschaffungs- und Distributionslogistik.

Industrie 4.0 bietet die Möglichkeit, die übergeordneten Ziele Ressourcenproduktivität und -effizienz situationsbezogen zu optimieren.

Handlungsempfehlungen

Der Arbeitskreis Industrie 4.0 empfiehlt, dass im Rahmen der Plattform Industrie 4.0 eine Arbeitsgruppe sich exklusiv dem Thema Ressourcenproduktivität und -effizienz widmet. Diese Arbeitsgruppe sollte folgende Aufgaben wahrnehmen:

- Die Aufnahme und Weiterführung der Ergebnisse der BMBF/VDMA-Initiative „Effizienzfabrik“
- Die Demonstration von Ressourcenschonungseffekten bezüglich Ressourcenproduktivität und -effizienz in der Produktion im Hinblick auf Einsparung von bisherigen Ersatzprozessen bei Produktivitäts- oder Verfügbarkeitsproblemen
- Die Ermittlung und Abschätzung von *Trade-offs* zwischen Zusatzeinsatz an Ressourcen durch CPS — einschließlich der dazu nötigen Infrastruktur — und Einsparpotenzialen. Gleiches sollte zwischen den verschiedenen Ressourcenkategorien in einer Entscheidungssituation für den Aufbau oder die Modernisierung eines Produktionssystems erfolgen – einschließlich der dazu notwendigen Automatisierungsausrüstung. Diese Ermittlung sollte in Abhängigkeit von Industrien beziehungsweise Branchen sowie regionaler beziehungsweise globaler Verteilung des Wertschöpfungsnetzwerkes gesetzt werden.
- Die Berücksichtigung des jeweils aktuellen Stands der verschiedenen Maßzahlsysteme und Erfolgsindikatoren (*Key Performance Indicators,* KPI) bezüglich Ressourcenproduktivität und -effizienz, einschließlich Umweltschutz in den verschiedenen Aktivitäten und Projekten. Beachtet werden sollte darüber hinaus die Ableitung von entscheidungsunterstützenden KPI, wie beispielsweise *Green Production Index*, und erforderlichen Basisdaten für transparente, ressourcenorientierte Investitionsentscheidungen, insbesondere im Bereich der Industrieautomatisierung.

1 Die Arten der realen oder gedanklichen Betrachtungsgegenstände von Modellen sind sehr vielfältig, beispielsweise technische Systeme, wie Produkte, Produktionsmittel oder ganze Produktionssysteme, Lebewesen, wie das Verhalten von Menschen oder biologische Zusammenhänge, physikalische oder chemische Zusammenhänge und Effekte oder Organisationen, wie Aufbauorganisationen, Geschäftsprozesse oder Abläufe.

2 Avionik (gebildet aus Aviatik – lat. Avis, Vogel – und Elektronik) bezeichnet die Gesamtheit aller elektrischen und elektronischen Geräte an Bord eines Fluggerätes.

3 Folgendes Zitat in: Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT Gipfels (Hrsg.): Digitale Infrastrukturen. Jahrbuch 2011/2012, 2012, S. 176-177.

4 Beispiele für diese Regelungen sind die europäische Maschinenrichtlinie 2006/42/EG und die deutsche Umsetzung dieser Richtlinie in der neunten Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz, 9. ProdSV.

5 Die erste speicherprogrammierbare Steuerung wurde 1969 in der Produktion eingeführt (Modicon 084), s. Kap. 1.

6 BSI-Analysen zur Cyber-Sicherheit, BSI-A-CS 004, Version 1.00 vom 12.4.2012.

7 Laut einer aktuellen Umfrage des VDMA liegt der Umsatzverlust, der den deutschen Maschinen- und Anlagenbauern in 2011 entstanden ist, bei inzwischen knapp 8 Milliarden Euro, einer Steigerung um 24 Prozent gegenüber der letzten Umfrage vor zwei Jahren. Ein Umsatz in dieser Schadenshöhe würde der Branche knapp 37.000 Arbeitsplätze sichern. Inzwischen sind fast zwei Drittel der befragten Unternehmen von Produktpiraterie betroffen, bei Unternehmen mit mehr als 1.000 Mitarbeitern, die zumeist international aktiv sind, liegt die Quote sogar bei 93 Prozent (vgl. VDMA: Studie der Arbeitsgemeinschaft Produkt- und Know-how-Schutz, Produktpiraterie 2012, November 2012).

8 Vgl. Fondel, Tanja / Schroth, Jochen: Innovationsführerschaft durch Mitbestimmung? In: Allespach, Martin / Ziegler, Astrid (Hrsg.): Zukunft des Industriestandortes Deutschland 2020, Marburg 2012, S. 174-192.

9 Der Deutsche Qualifikationsrahmen (DQR) unterscheidet acht Kompetenzniveaus, je nach Komplexität der Aufgaben und Handlungsfelder sowie der Größe der Entscheidungsspielräume. Die Industrieverbände und die Gewerkschaft verstehen Kompetenz als „die individuelle Fähigkeit, in aktuellen und zukünftigen, offenen und komplexen Situationen selbstorganisiert handeln zu können“, in: BITKOM, Gesamtmetall, VDMA, ZVEI (Hrsg.): Die Anforderungen des Beschäftigungssystems. Ein Beitrag zur Gestaltung des Deutschen Qualifikationsrahmens, 2007, S. 10).

10 Das Projekt RAN (RFID based Automotive Network) ist eines von 14 Projekten des Technologieprogrammes „AUTONOMIK: Autonome und Simulationsbasierte Systeme für den Mittelstand“ des BMWi. Durch RAN sollen Prozesse in der Automobilindustrie transparent und optimal gesteuert werden. Im Zuge des Projektes werden dazu neue Ansätze und Methoden zur wirtschaftlichen und unternehmensübergreifenden Steuerung von Prozessen in der Auftragsabwicklung untersucht. Im Arbeitspaket 3 wird eine standardisierte IT-Infrastruktur geschaffen werden („Information-Broker“), durch die AutoID-Daten unternehmensübergreifend ausgetauscht und damit so genutzt werden können, dass eine Verbesserung in Unternehmensprozessen erreicht wird. Online unter: www.autoran.de.

11 Der Begriff „Dual Use Goods“ beschreibt insbesondere in der Exportkontrolle die „Doppelverwendungsfähigkeit“ von Wirtschaftsgütern (etwa von Maschinen, Software und Technologien), die zwar primär für zivile Verwendungszwecke hergestellt worden sind, aufgrund ihrer Eigenschaften (zum Beispiel Materialbeschaffenheit oder Leistungsfähigkeit) aber auch für militärische Zwecke verwendet werden können.

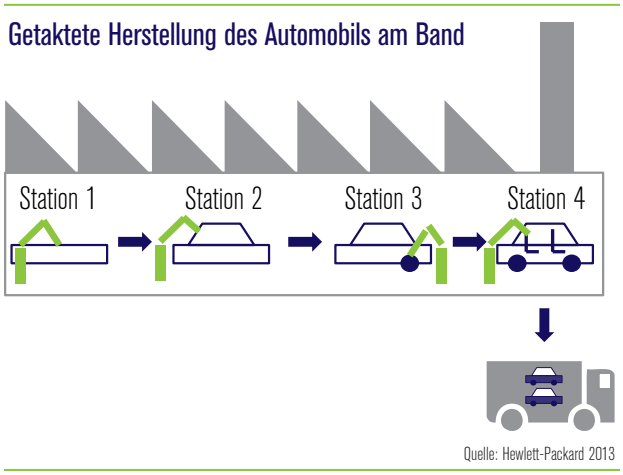
12 Die Ökobilanz (engl. auch Life Cycle Assessment, LCA) ist eine ganzheitliche Analyse sämtlicher Umweltwirkungen von Produkten (also umweltrelevanten Entnahmen aus der Umwelt, etwa Erzen, Rohölen, sowie Emissionen in die Umwelt, etwa Abfälle, Kohlendioxidemissionen) während ihres gesamten Lebensweges, also während ihrer Produktion, Nutzungsphase und Entsorgung sowie den damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozessen (zum Beispiel Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe; vgl. auch die ISO-Normen 14040 und 14044). Die Ökobilanz kann innerhalb des Produktentstehungsprozesses sowohl in der Planung und dem Design für eine umweltgerechte Produktgestaltung, als auch in der Marktbegleitung für die Erstellung von Produktdeklarationen oder für das Re-Design eingesetzt werden. Mit CO2-Fußabdruck (engl. Product Carbon Footprint) wird die Bilanz der Treibhausgasemissionen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts bezeichnet. Es handelt sich dabei um eine auf die Umweltwirkungskategorie „Klimawandel“ reduzierte Ökobilanz.

13 Die gemeinsame Innovationsplattform „Effizienzfabrik“ des BMBF und des VDMA kommuniziert die Forschungsergebnisse der 31 Verbundprojekte des BMBF-Förderschwerpunkts „Ressourceneffizienz in der Produktion“. Die projektübergreifende Analyse stellt dabei einen Schwerpunkt der Aktivitäten dar, um so ganzheitliche Lösungen für eine ressourceneffiziente Produktion zu erarbeiten und interessierten Unternehmen zur Verfügung zu stellen. Online unter: www.effizienzfabrik.de.

ANWENDUNGSBEISPIEL 3: Unterstützung der individuellen Produktion am Beispiel eines Kundenwunsches

Dynamische Wertschöpfungsketten in Industrie 4.0 ermöglichen die kunden- beziehungsweise produktspezifische Verzahnung von Design, Konfiguration, Bestellung, Planung, Produktion sowie der dazugehörigen Logistik. Dies ist zugleich mit der Option verbunden, kurzfristige Änderungswünsche noch kurz vor oder während der Produktion umzusetzen.

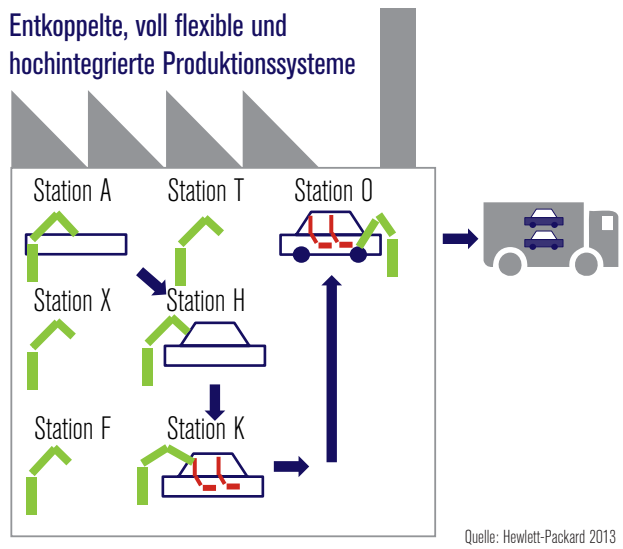
Heute



Quelle: Hewlett-Packard 2013

In der Automobilproduktion existieren heute zwangsverkettete Produktionsstraßen; die Umrüstung für neue Produktvarianten ist aufwendig. Die durch IT-Lösungen unterstützten Produktionsleitsysteme (Manufacturing Execution Services, MES) sind meistens entsprechend der Hardware der Produktionsstraße mit genau definiertem Funktionsumfang konzipiert und daher statisch. Die Arbeit der Beschäftigten wird ebenso durch die Funktionalität der Produktionsstraße definiert und ist in der Regel monoton. Eine Berücksichtigung individueller Kundenwünsche, wie etwa der Einbau eines Elementes aus einer anderen Produktgruppe des gleichen Unternehmens – beispielsweise Porsche-Sitze in einen Volkswagen –, ist nicht möglich.

Morgen



Quelle: Hewlett-Packard 2013

In Industrie 4.0 entstehen dynamische Produktionsstraßen. Das Fahrzeug fährt darin als Smart Product autonom durch CPS-fähige Prozessmodule des Montageraums. Durch die dynamische Umrüstung der Produktionsstraßen wird ein Variantenmix in der Ausstattung möglich; einzelne Varianten können zeitunabhängig von der vorgegebenen zentralen Taktung und reaktiv auf Logistikaspekte (Engpässe etc.) vorgenommen werden. Die IT-Lösung für das Produktionsleitsystem ist nun eine zentrale Komponente– von der Konstruktion über die Montage bis zur Inbetriebnahme. Das Leitsystembesteht aus *Apps* basierend auf einem Manufacturing Operation System (MOS) und einer föderativen IKT-Plattform. Apps, MOS und die Plattform realisieren nun das neue flexible MES. Durch die neue Dynamik kann der Einbau individueller Elemente (Porsche-Sitz) problemlos integriert werden.

PERSPEKTIVE

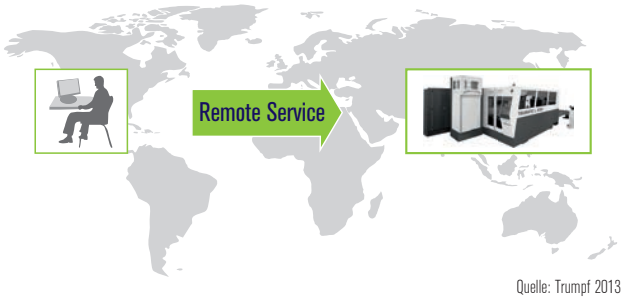
Erste entsprechende Apps und MOS-Lösungen sowie föderative IT-Plattformen werden relativ kurzfristig innerhalb der nächsten Monate entstehen, durchgängige CPS-fähige, dynamische Produktionsstraßen dagegen erst in einigen Jahren. Erste Szenarien, die sich auf Teile der Produktion beschränken, sind allerdings früher zu erwarten.

ANWENDUNGSBEISPIEL 4: Telepräsenz

Fernwartung (*Remote Service*) ist schon seit vielen Jahren ein Instrument, mit dem Hersteller ihre Kunden schnell und effizient unterstützen, indem sie von der Ferne auf die Maschinen zugreifen und diese „fernsteuern“. Durch die zunehmende Vernetzung der Produktionssysteme ergeben sich neue Möglichkeiten, mit denen sich die Produktivität weiter erhöhen lässt.

Heute

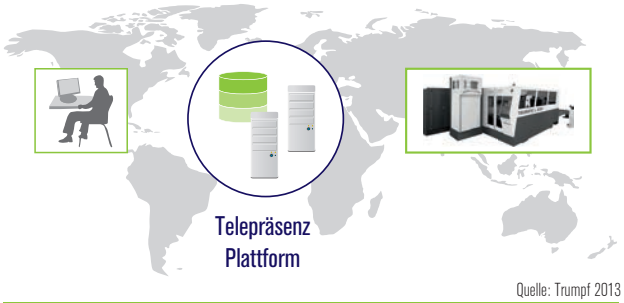
Zur Durchführung von Fernwartung werden zwischen Maschinenlieferant und -betreiber individuelle Kommunikationslösungen geschaffen. Ein Spezialist verbindet sich entweder direkt per Modem zur Maschine oder nutzt eine VPN Verbindung (*Virtual Private Network*) als Zugang zum Firmennetzwerk des Kunden. Die Konfiguration und Verwaltung dieser Kommunikationsverbindungen erfordern ein umfangreiches Management, da die notwendigen Zugangsdaten individuell abgestimmt werden müssen. Der Spezialist des Herstellers kann die Maschinen aus der Ferne diagnostizieren und steuern, nachdem er vom Maschinenbediener kontaktiert wurde.



Quelle: Trumpf 2013

Morgen

Zukünftig verbinden sich Spezialisten nicht mehr manuell mit den Maschinen. Die Produktionssysteme verbinden sich als sogenannte *Social Machines* automatisch zu ihrer *Cloud*-basierten Telepräsenz-Plattform und suchen sich situationsabhängig die benötigten Experten. Die Experten werden mithilfe integrierter Wissensplattformen, Videokonferenz-Tools, verbesserter Engineering-Methoden und durch den Einsatz mobiler Geräte den klassischen Remote Service effizienter durchführen. Zusätzlich erweitern die Maschinen selbständig ihre Fähigkeiten, indem sie benötigte Funktionen und Daten automatisch nachladen. Die Verlagerung von komplexen Berechnungen beispielweise für Simulationen und Prognosen in die Portale ermöglicht neue bisher ungeahnte Möglichkeiten zur Produktivitätssteigerung.



Quelle: Trumpf 2013

PERSPEKTIVE

Anhand der ersten seit Kurzem verfügbaren *Cloud*-basierten Telepräsenz-Portale lassen sich die zukünftigen Möglichkeiten erahnen. Durch eine schnelle Weiterentwicklung werden Möglichkeiten entstehen, die schon innerhalb der nächsten Jahre die Fertigungssysteme revolutionieren werden.

6 Internationaler Vergleich

6 Internationaler Vergleich

Den Trend zur Nutzung des Internets der Dinge in der Produktion *(Industrial Internet*[1] und seine disruptiven Auswirkungen auf industrielle Prozesse haben neben Deutschland auch andere Länder als strategische Herausforderungen für die industrielle Produktion der Zukunft identifiziert. Für das Phänomen Industrie 4.0 kursieren international jedoch unterschiedliche Bezeichnungen: Besonders im angelsächsischen Raum und auf EU-Ebene ist im Zusammenhang mit dem Internet der Dinge und dem Trend zur Digitalisierung von einer 3. Industriellen Revolution die Rede. Dabei wird bei dieser Zählung entweder die 2. Industrielle Revolution – die Etablierung der maschinellen Massenproduktion – der 1. zugeordnet,[2] oder die 3. Industrielle Umwälzung durch die Automatisierung der Produktionsprozesse wird nicht als (eigenständige) Revolution aufgefasst.[3,4]

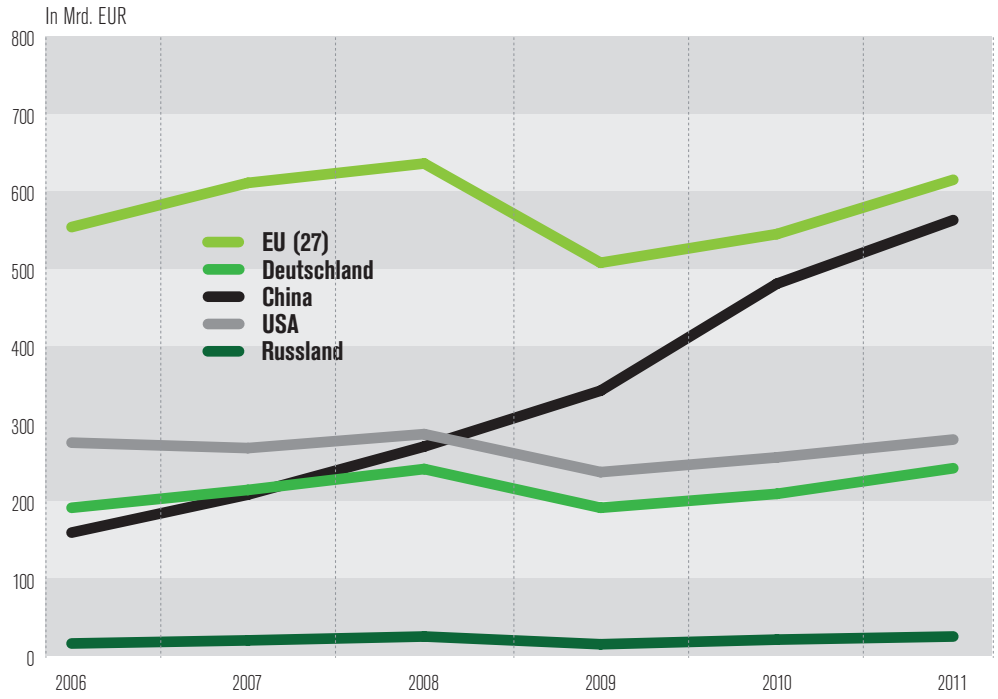
Mit den Begriffen „*Smart Production*“, „*Smart Manufacturing*“ und „*Smart Factory*“ wird in Europa, China und den USA[5] speziell die digitale Vernetzung der Produktion zu einem intelligenten Fertigungssystem beschrieben, während unter der ebenfalls häufig gebrauchten Bezeichnung „*Advanced Manufacturing*“ ein breiteres Spektrum von Modernisierungstendenzen in der Produktion gefasst wird.[6]

Mit Blick auf die internationalen Märkte für den **Maschinen- und Anlagenbau**, für die Elektro- und Automationsindustrie sowie die IKT-Branche zeigt sich anhand ausgewählter Länder, wie diesen Tendenzen auch förderpolitisch Rechnung getragen wird.

Entwicklung der internationalen Märkte

Während der deutsche **Maschinen- und Anlagenbau** von 2004 bis 2008 einen Wachstumsboom mit Produktionssteigerungen von rund 38 Prozent erlebte, mussten die Unternehmen im Verlauf der Finanz- und Wirtschaftskrise mit massiven Einbrüchen im Auftragseingang und beim Produktionsvolumen kämpfen. Bereits Mitte 2009 zog die Konjunktur jedoch wieder an;

Abbildung 13:
Umsatz im Maschinenbau in ausgewählten Ländern (2006 – 2011)*



* Maschinenbau ohne Serviceleistungen wie Installation, Reparatur und Instandhaltung; Umsatzwert soweit möglich für alle Unternehmen, die im jeweiligen Land produzieren.

Quelle: VDMA, Stand November 2012

» Die gemeinsame Arbeit hat deutlich gemacht, dass wir im Bereich der Produktionstechnologie und im Maschinenbau in Deutschland über alle Kompetenzen verfügen, um auch in Zukunft in der Welt des Internets der Dinge und Dienste international erfolgreich zu sein. «

Dr. Siegfried Dais
Robert Bosch GmbH
Co-Vorsitzender des Arbeitskreises Industrie 4.0

es kam zu einer Aufholjagd. Inzwischen hat sich die Nachfrage „normalisiert". Für 2013 wird ein Zuwachs von 2 Prozent erwartet. Wie eine aktuelle Befragung des VDMA[7] zeigt, sieht sich ein Großteil der deutschen Maschinenbauer weltweit weiterhin in der Spitzengruppe. Ihre Hauptkonkurrenten lokalisieren die Maschinenbauer in erster Linie in Deutschland. Weit abgeschlagen folgen die USA und Italien. Der Weltumsatz im Maschinenbau belief sich im Jahr 2011 auf etwa 2,1 Billionen Euro. Die Situation des Maschinenbaus in einigen ausgewählten Ländern stellt sich recht heterogen dar (vgl. auch Abb. 13).

Durch massive Verlagerungen der Produktion in andere Weltregionen war die Importabhängigkeit der **USA** bei Maschinenerzeugnissen seit 2002 massiv angestiegen. Der Anteil der in der Industrie Beschäftigten sank zwischen 2002 und 2010 um 25 Prozent.[8] Seit 2010 erholt sich die Branche jedoch allmählich; sowohl die Inlandsnachfrage als auch die Nachfrage nach Exportgütern steigen wieder. In der US-Presse ist unter den Schlagworten „*Reshoring*"[9] und „*Insourcing Boom*"[10] bereits von einer grundlegenden Trendwende die Rede.

Auch **China** unternimmt enorme Anstrengungen, um im Maschinenbau technologisch weiter aufzuholen und seine Marktposition auszubauen. In den letzten fünf Jahren hat sich das Land mit einem Umsatz von 563 Milliarden Euro im Jahr 2011 zum weltgrößten Maschinenproduzenten entwickelt. Parallel hat das China auch seine Exportaktivitäten intensiviert. In 2011 exportierte die chinesische Investitionsgüterindustrie Waren im Wert von 87,7 Milliarden Euro. Dies entsprach einer Steigerung im Vergleich zum Vorjahr um über 20 Prozent. Damit katapultierte sich das Land mit einem Anteil von 10,2 Prozent auf Rang vier der weltweit größten Maschinenexporteure.
Die russische Nachfrage nach Maschinen und Anlagen ist seit 2010 deutlich gestiegen. Für deutsche

Maschinenbauer ist **Russland** – das Partnerland der diesjährigen Hannover Messe – bereits heute der viertgrößte Exportmarkt nach China, den USA und Frankreich. Gleichzeitig ist Deutschland, mit einem Anteil von 22,6 Prozent, der Hauptlieferant Russlands für Maschinen. Die russische Regierung prognostiziert für die kommenden Jahre ein stetiges Wachstum des russischen Marktes und unterstützt dieses durch Förderprogramme in Milliardenhöhe. Für deutsche Maschinenbauer und Fabrikausrüster bietet sich hier längerfristig ein großes Potenzial für den Export von Industrie 4.0-Komponenten.

Das globale Marktvolumen in der Elektroindustrie betrug im Jahr 2011 3,414 Billionnen Euro;. **Deutschland** ist mit rund 116 Milliarden Euro Marktvolumen der fünftgrößte **Elektromarkt** der Welt – nach **China** (1,119 Billionen Euro), den **USA** (486 Milliarden Euro), Japan (284 Milliarden Euro) und Südkorea (155 Milliarden Euro). Das Wachstum des Welt-Elektromarktes ist in den vergangenen Jahren überwiegend von den Schwellenländern getragen worden, die in 2011 mit insgesamt 1,7 Billionen Euro erstmals das Marktvolumen der Industrieländer erreichten. Auch für 2012 und 2013 wird von einem deutlich höheren Wachstum in den Schwellenländern als in den Industrieländern ausgegangen.

Der Weltmarkt **Automation** hat zuletzt ein Volumen von 350 Milliarden Euro erreicht und steht damit für mehr als ein Zehntel des Welt-Elektromarktes. **China** hat sich in den vergangenen Jahren zum größten regionalen Einzelmarkt entwickelt und erreicht mit einem Marktvolumen von 100 Milliarden Euro einen Weltmarkt-Anteil von 29 Prozent. Damit hat China **Europa** mit einem Marktvolumen von 93 Milliarden Euro inzwischen überholt. Mit weitem Abstand folgen die **USA** (12 Prozent oder 40 Milliarden Euro) und Japan (8 Prozent oder 26 Milliarden Euro). Mit einem Volumen von 21 Milliarden Euro (6 Prozent) ist **Deutschland** weltweit der viertgrößte Markt.

Noch deutlicher ist der Vorsprung Chinas bei der Herstellung von Produkten der Automation. Von der weltweiten Produktion in Höhe von 350 Milliarden Euro werden 103 Milliarden Euro bzw. 30 Prozent in **China** erbracht. Fast gleichauf folgen die **USA** und Japan mit jeweils einem Anteil von elf Prozent und **Deutschland** mit zehn Prozent. Mit 29 Milliarden Euro ist Deutschland allerdings weltweit der größte Exporteur von Produkten und Systemen der Automation, gefolgt von China mit 27 Milliarden Euro und den USA mit 21 Milliarden Euro.

Der globale Umsatz der **IKT-Branche** wird in diesem Jahr voraussichtlich um 4,6 Prozent auf 2,69 Billionen Euro steigen. Die beiden großen Segmente Informationstechnologie und Telekommunikation wachsen mit 5,2 beziehungsweise 4,2 Prozent kräftig. Regional entwickeln sich die Märkte dagegen sehr unterschiedlich. In den Schwellenländern boomt die Branche, während sie in Westeuropa weitgehend stagniert oder gar schrumpft. **China, Indien und Russland** stehen in diesem Jahr zusammen bereits für ein Siebtel (14 Prozent) der weltweiten IKT-Nachfrage. Der chinesische Markt wächst in diesem Jahr voraussichtlich um 6,6 Prozent auf 235 Milliarden Euro. Mit 221 Milliarden Euro wird China bereits in 2013 Japan als weltweit zweitgrößten IKT-Nachfrager ablösen. Die **USA** bleiben dagegen unangefochten der Markt mit der größten IKT-Nachfrage mit 725 Milliarden Euro bei zuletzt 5,8 Prozent Wachstum. **Westeuropa** ist die Region mit dem geringsten Wachstum. Der IKT-Umsatz steigt in 2013 voraussichtlich nur leicht um 1,3 Prozent auf 625 Milliarden Euro. Der Markt für Informationstechnologien in **Deutschland** wächst in 2013 dagegen um 3,0 Prozent auf 75 Milliarden Euro. Der deutsche *Software*-Markt legt ebenfalls kräftig um 5,1 Prozent auf 17,8 Milliarden Euro zu. Das Geschäft mit IT-Dienstleistungen wie Outsourcing und Wartung wächst um 3,0 Prozent auf 35,9 Milliarden Euro, der *Hardware*-Markt ist mit 1,2 Prozent geringfügig im Plus.

Mit SAP, der Software AG und der Telekom sowie starken Ablegern US-amerikanischer (etwa IBM und HP) und asiatischer Unternehmen verfügt Deutschland über eine in ihrer Konzentration weltweit beachtliche IT-Kompetenz. Diese eröffnet eine neue Chance auf eine führende Rolle Deutschlands bei Industrie 4.0.

Industriepolitische Förderinitiativen einiger ausgewählter Länder

Die Modernisierung der Produktionsindustrie wird auch in anderen Ländern mit Förderprogrammen und Forschungsinitiativen unterstützt. Auf der Basis der zur Verfügung stehenden Informationen fällt jedoch auf, dass – etwa in den USA und China – die mit Industrie 4.0 beschriebene Transformation nur als ein Trend unter mehreren – etwa neben dem Einsatz neuartiger Materialen und Technologien – angesehen wird.[11]

USA

Der **Maschinenbau** ist wieder verstärkt in den Fokus der US-Regierung gerückt[12]; unter anderem soll durch eine aktive Industriepolitik die Schaffung von Arbeitsplätzen angekurbelt und die Rückverlagerung der Produktion in die **USA** angeregt werden. In diesem Zusammenhang rief Präsident Obama Mitte 2011 die *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP) aus, die Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik „*private-sector-led*" zusammenbringt, um einen „*course for investing and furthering the development of the emerging technologies*" anzustoßen. Das AMP *Steering Committee* setzt sich aus den Präsidenten von *Top-Engineering*-Universitäten (MIT, UC Berkeley, Stanford, CMU, Michigan und GIT) und den CEOs führender US-Unternehmen (unter anderem Caterpillar, Corning, Dow Chemical, Ford, Honeywell, Intel, Johnson & Johnson, Northrop Grumman, Procter & Gamble und United Technologies) zusammen.

Die AMP hat im Juli 2012 einen Bericht mit 16 Handlungsempfehlungen[13] vorgelegt, die unter anderem die Etablierung eines *National Network of Manufacturing Innovation Institutes* (NNMII) vorsehen. Die als *Public-Private-Partnerships* konzipierten Institute sollen als „*regional hubs for manufacturing excellence*" dienen mit dem Ziel, US-Unternehmen global wettbewerbsfähiger zu machen und die Investitionen in US-Produktionsstätten zu erhöhen.[14]

Daneben stellt die Regierung Obama mehr F&E-Mittel für die Produktionsforschung bereit. So werden die Mittel für den Bereich *Advanced Manufacturing* im Haushalt 2013 erneut um 19 Prozent, auf 2,2 Milliarden US-Dollar, gesteigert. Zudem wird das für Standardisierungsprozesse zuständige *National Institute of Standards and Technology* (NIST) mit 100 Millionen US-Dollar gefördert, das die nationale Fertigungsindustrie etwa durch die Bereitstellung von Forschungsanlagen und *Know-how* technisch unterstützt. Das NIST betreut zudem das *Advanced Manufacturing Portal*[15], das auf Empfehlung der AMP eingerichtet wurde und die Vernetzung staatlicher, universitärer und privater Initiativen in diesem Bereich sicherstellen soll. Mit ihrer Initiative *Jobs and Innovation Accelerator Challenge* fördert die US-Regierung derzeit außerdem zehn weitere *Public-Private-Partnerships* im Bereich *Advanced Manufacturing* mit 20 Millionen US-Dollar.

Der Bereich **CPS** und ***Internet of Things*** (Internet der Dinge, IoT) wird in den **USA** seit Längerem staatlich gefördert. Schon 2006 wurden *Cyber-Physical Systems* von der *National Science Foundation* (NSF) als zentrales Forschungsthema identifiziert. Eine konkrete Verknüpfung von CPS und Produktion findet jedoch kaum statt.[16] Das *Networking and Information Technology Research and Development* (NITRD)-Programm, dem 18 Forschungsagenturen angehören, koordiniert die Forschung in verschiedenen IT-Domänen, unter anderem auch im Bereich Mensch-Maschine-Interaktion und Informationsverwaltung. Im Jahr 2011 stand dem NITRD dafür ein Budget von über 3 Milliarden US-Dollar zur Verfügung.

China

Auch **China** strebt den Ausbau seiner Maschinenbau-Branche an. Dem 12. Fünfjahresplan (2011-2015) zufolge soll in sieben „strategischen Industrien", darunter das *High-End Equipment Manufacturing* und eine *New-Generation Information Technology*,[17] die Abhängigkeit von ausländischen Technologien reduziert und die globale Technologieführerschaft angestrebt werden. Insgesamt stellt Chinas Führung dafür bis 2015 1,2 Billionen Euro zur Verfügung und stimuliert Angebot und Nachfrage durch Subventionen, Steuererleichterungen und weitere Zuschüsse. Der Anteil der F&E-Aufwendungen am Bruttoinlandsprodukt soll im Zeitraum bis 2015 von 1,5 auf 2 Prozent steigen.[18] Der Fokus im *Werkzeugmaschinenbau* liegt dabei unter anderem auf der Entwicklung von „*intelligent manufactu-*

ring equipment“, „*intelligent control systems*“ und „*high-class numerically controlled machines*“, im Bereich IT unter anderem auf dem Internet der Dinge und seinen Anwendungen, darunter auch der „*industrial control and automation*“.

Beijing misst dem **Internet der Dinge** schon seit 2010 verstärkt Bedeutung zu:[19] Seit 2010 findet in *China* jährlich eine *Internet of Things*-Konferenz statt; auf der ersten Konferenz wurde zudem das erste IoT-Center Chinas eröffnet. Das mit 117 Millionen US-Dollar geförderte Forschungszentrum widmet sich der Erforschung von IoT-Grundlagentechnologien und den damit verbundenen Standardisierungsanforderungen. Bereits 2009 wurde darüber hinaus an der *School of Software* der Dalian *University of Technology* eine Forschungsgruppe gegründet, die sich unter anderem mit Anwendungen von CPS in der Automatisierungstechnik beschäftigt.[20] Die „*IoT-Innovation*“-Zone Chinas ist mit 300 dort angesiedelten Unternehmen und über 70.000 Beschäftigten Wuxi in der Provinz Jiangsu. Insgesamt will die chinesische Führung bis 2015 800 Millionen US-Dollar in die IoT-Industrie investieren.[21]

EU

Im Zuge des siebten Rahmenprogramms (Laufzeit 2007-2013) wird die Erforschung des Internets der Dinge auf **EU**-Ebene derzeit verstärkt gefördert. Der Förderungsschwerpunkt IKT verfügt mit einer finanziellen Ausstattung von mehr als 9 Milliarden Euro über das größte Budget. Innerhalb des Programms existieren mehrere grenzüberschreitende Initiativen zur Implementierung des **Internets der Dinge** in die **industrielle Produktion**: Das von der Siemens geleitete und mit einem Budget von 5,8 Millionen ausgestattete „IoT@Work“ entwickelt das *Plug & Work*-Konzept in der Praxis fort. Die Technologieplattform ARTEMIS, mit einem Gesamtvolumen von 2,4 Milliarden Euro, fördert Forschungs- und Entwicklungsprojekte in acht Unterprogrammen, darunter auch „*Manufacturing and Production Automation*“ sowie CPS.[22] Auch die *Public-Private-Partnership*-Initiative *Factories of the Future*, mit einem Fördervolumen von 1,2 Milliarden Euro, schreibt jährlich Projekte im Bereich intelligente, IKT getriebene Fertigung aus. In diesem Rahmen legte das Projekt „*ActionPlanT*“ unter der Leitung der SAP kürzlich seine Vision für *Manufacturing 2.0* vor, die als Diskussionsgrundlage für die weitere Forschungsförderung im Rahmen des achten Forschungsrahmenprogramms „*Horizon 2020*“ (Laufzeit 2014-2020) dient. *Horizon 2020* wird mit einem geplanten Umfang von 80 Milliarden Euro das größte weltweit aufgelegt Förderungsprogramm für Forschung und Innovation.[23]

Indien

Indiens Fünfjahresplanung (2012-2017) verankert die Innovationsförderung an zentraler Stelle und sieht eine Erhöhung der staatlichen und privaten F&E-Aufwendungen auf 2 Prozent der Wirtschaftsleistung vor.[24] 2011 wurde unter der Schirmherrschaft des Ministeriums für Kommunikation und Informationstechnologie das Projekt „***Cyber-Physical Systems** Innovation Hub*“ gestartet, das unter anderem im Bereich humanoider Robotik forscht. Im November 2011 gründete Bosch zudem das *Centre for Research* in CPS in Bangalore. Indische Spitzenforschungszentren und die Fraunhofer-Gesellschaft beteiligen sich an diesem Projekt in beratender Funktion. Ziel der Zusammenarbeit ist es, ein optimales Forschungs- und Arbeitsumfeld für IT-Spezialisten der Zukunft zu schaffen. Dazu werden 22,8 Milliarden Euro zur Verfügung gestellt. Künftig sollen auch Industrie und Wissenschaft unter anderem durch Forschungsaufträge unterstützt werden.[25] Schon jetzt sind laut einer aktuellen Studie der *Zebra Tech Company* indische Unternehmen bei der Einführung und Anwendung von IoT-Technologie im internationalen Vergleich führend.[26]

FAZIT

Neben Deutschland haben auch andere Wettbewerber den Trend, das Internet der Dinge in der Produktion nutzbar zu machen, erkannt und fördern dessen Etablierung institutionell und finanziell. Der Arbeitskreis Industrie 4.0 ist der Überzeugung, dass Deutschland über gute Voraussetzungen verfügt, um international zum Pionier bei Industrie 4.0 zu werden. Inwieweit die in Deutschland bereits ergriffenen sowie geplanten Maßnahmen zur Zielerreichung genügen, muss von der Plattform Industrie 4.0 regelmäßig kritisch bewertet werden.

Eine detailliertere Analyse der internationalen Mitbewerber sowie der zu adressierenden Märkte in den kommenden zehn bis 15 Jahren sollte in einem eigenständigen Forschungsprojekt erfolgen.

1 Ende 2012 ging das US-Unternehmen General Electrics (GE) mit einer groß angelegten Initiative zum Internet of Things (IoT) an die Öffentlichkeit – das Industrial Internet wird im Konzept von GE in verschiedensten Anwendungsbereichen genutzt, die Produktion spielt jedoch nur eine Nebenrolle. Das Unternehmen geht von erheblichen, globalen Einsparpotenzialen durch die Anwendung des IoT in unterschiedlichsten Branchen aus: Im kommerziellen Luftverkehr könnte demnach über 15 Jahre 1 Prozent Treibstoff und damit 30 Milliarden US-Dollar eingespart werden. Durch Effizienzsteigerung in der Gesundheitsindustrie und im Güter- und Schienenverkehr wird mit Einsparpotenzialen von 66 bzw. 27 Milliarden US-Dollar gerechnet (vgl. Evans, Peter C. / Annunziata, Marco: Industrial Internet. Pushing the Boundaries of Minds and Maschine (GE-Studie), November 2012, S. 4).

2 Vgl. für die Verwendung dieser Begrifflichkeit etwa Evans, Peter C. / Annunziata, Marco: Industrial Internet. Pushing the Boundaries of Minds and Maschines (GE-Studie), November 2012, S. 7f.

3 In diesem Sinne ist etwa die Äußerung des EU-Kommissars für Unternehmen und Industrie, Antonio Tajani, zu verstehen, der im Mai 2012 eine 3. Industrielle Revolution ausrief (vgl. Europäische Kommission: Für eine neue industrielle Revolution in Europa, in: Unternehmen und Industrie Magazin, Juni 2012.). Auf Basis einer öffentlichen Konsultation identifizierte Tajani einige Monate später sechs Schlüsselbereiche, die zukünftig stärker von der EU, den Mitgliedsstaaten und privaten Akteuren gefördert werden sollen. Zwei dieser Bereiche sind unmittelbar für Industrie 4.0 relevant, die Förderung von „Advanced manufacturing technologies" sowie von „Key Enabling Technologies" (vgl. Europäische Kommission: Industrial revolution brings industry back to Europe (Pressemitteilung), 10. Oktober 2012).

4 Zum Teil knüpft der Diskurs über die 3. Industrielle Revolution auch an einen neuen Innovationszyklus an, der durch die Nutzung und den Ausbau Erneuerbarer Energien (vgl. exemplarisch Rifkin, Jeremy: The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World, 2011), die radikale Erhöhung der Ressourcenproduktivität oder die Anwendung neuer Materialien, Werkstoffe und Verfahren (etwa des 3D-Drucks; vgl. dazu Hill, Jürgen: Das Potential von 3D-Druck, in: Computerwoche, 29.01.2013) gekennzeichnet ist.

5 Vgl. etwa den Blog www.smartmanufacturing.com oder die Initiative Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC), online unter: www.smartmanufacturingcoalition.org.

6 „Advanced manufacturing is a family of activities that depend on the use and coordination of information, automation, computation, software, sensing, and networking, and / or make use of cutting edge materials and emerging capabilities enabled by the physical and biological sciences, for example nanotechnology, chemistry, and biology. It involves both new ways to manufacture existing products, and the manufacture of new products emerging from new advanced technologies." Diese Definition des President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST), einem der wichtigsten Beratungsgremien der US-Regierung in Fragen der technologischen Entwicklung, ist beispielhaft für den Gebrauch dieser Begrifflichkeit (vgl. PCAST: Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing, Juni 2011, S. ii).

7 An der VDMA-Tendenzbefragung beteiligten sich insgesamt 483 Unternehmen (vgl. VDMA: Tendenzbefragung. Internationale Wettbewerbsposition des deutschen Maschinen- und Anlagebaus, Oktober 2012).

8 Vgl. Le Monde Diplomatique: Die Zukunft der Industrie liegt in Asien, in: Atlas der Globalisierung – Die Welt von morgen, 2012, S. 28.

9 Vgl. Minter, Steve: Evidence for U.S. Manufacturing Reshoring Builds, in: The Global Manufacturer, Oktober 2012, und The Economist: Reshoring manufacturing. Coming home, Special Report, Januar 2012.

10 Vgl. Fishman, Charles: The Insourcing Boom. The Atlantic, Dezember 2012.

11 Vgl. z. B. McKinsey Global Inst.: Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation, Nov. 2012.

12 Dies lässt sich unter anderem auf Forderungen des Branchenverbandes Association for Manufacturing Technology und Empfehlungen des PCAST zurückführen. Das PCAST, hat in seinem Bericht über „Capturing Domestic competitive Advantage in Advanced Manufacturing" noch im Jahr 2012 festgestellt, dass die Spitzenposition der USA in der Produktion schwindet und die USA im Gegensatz zu anderen Industrienationen kaum politische Maßnahmen ergreifen, um dem entgegenzuwirken.

13 PCAST: Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing. AMP Steering Committee Report, Juli 2012; vgl. auch National Science and Technology Council (NSTC): National Strategic Plan for Advanced Manufacturing, Februar 2012.

14 Dieses Netzwerk befindet sich derzeit in der Aufbauphase. Neben der Förderung durch verschiedene Bundesstaaten und Unternehmen wird die Initiative mit 1 Milliarde US-Dollar von der US-Regierung gegenfinanziert. Insgesamt sollen 15 Institute entstehen, die sich in ihrer Forschung auf verschiedene Aspekte von Advanced Manufacturing konzentrieren und die Verzahnung von universitärer Forschung und der Produktentwicklung in Unternehmen sicherstellen (vgl. auch Anhang 1: Technology Development Workstream Report, in: PCAST: Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing. AMP Steering Committee Report, Juli 2012).

15 Online unter: www.manufacturing.gov.

16 Von den 108 seit 2008 im Umfang zwischen 500.000 und 1 Million US-Dollar geförderten Projekten scheint sich nur eines speziell mit der Anwendung von CPS in der Produktion zu beschäftigen.

17 Der Plan spricht in diesen Bereichen dezidiert vom „Leap frogging".

18 Die F&E-Aufwendungen Chinas würden sich damit in 2015 auf rund 215 Milliarden Euro belaufen; das ist rund dreimal so viel wie Deutschland heute für Forschung und Entwicklung ausgibt (vgl. Nürnberg, Jörg / Wang, Thomas: Implications of the 12th Five Year Plan For German Machinery Manufacturers, April 2012).

19 Der scheidende Premierminister Wen Jiabao stellte die Bedeutung des IoT als Schlüsseltechnologie für die Entwicklung Chinas seit 2010 in mehreren Reden heraus. Der Minister für Industrie und Informationstechnologie, Li Yizhong, unterstrich dies ebenfalls in einem Artikel: „We must make use of information technology to restructure and improve traditional industry; we should formulate policies to encourage the development of Internet of Things" (vgl. http://en.cbf.net.au/Item/639.aspx - letzter Zugriff Januar 2013).

20 Vgl. Geisberger, Eva / Broy, Manfred: agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

21 Vgl. Voigt, Kevin: China looks to lead the Internet of Things, (CNN), 28. November 2012.

22 ARTEMIS veranstaltet seit 2008 auch jährlich eine weltweite „CPS week". Das im Rahmen des siebten Forschungsprogramms geförderte European Research Cluster on the Internet of Things (IERC) koordiniert die europäischen Forschungsaktivitäten in diesem Bereich.

23 In Großbritannien beschäftigt sich derzeit eine Expertengruppe ebenfalls mit der Zukunft der Produktion: Unter dem Titel „The Foresight of Manufacturing" sollen mögliche Entwicklungslinien in der Produktion bis 2050 aufgezeigt werden.

24 Vgl. Government of India, Planning Commission: Faster, Sustainable and More Inclusive Growth. An Approach to the Twelfth Five Year Plan, Oktober 2011, S. 115.

25 Vgl. Geisberger, Eva / Broy, Manfred: agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

26 Vgl. CXO today News Desk: Indian CIOs keen on adopting Internet of Things, 11. Oktober 2012.

Anwendungsbeispiel 5: Lieferantenwechsel im laufenden Produktionsprozess aufgrund höherer Gewalt

Aufgrund nicht vorhersehbarer umweltbedingter oder politischer Krisen („höhere Gewalt“) müssen in der Produktion immer wieder kurzfristig Lieferanten gewechselt werden. Industrie 4.0 kann diese Wechsel maßgeblich verbessern, indem alternative Lieferanten durch Simulation der zu verändernden nachfolgenden Prozesse analysiert und ausgewählt werden können.

Heute

Heute ist es für die produzierenden Unternehmen schwierig, bei einem plötzlichen Lieferantenausfall die Auswirkung auf die laufende Produktion und die nachfolgenden Prozesse abzuwägen und zeitnah zu reagieren. Ein kurzfristiger Lieferantenausfall ist aufgrund der hohen Mehrkosten und der zeitlichen Verzögerungen im Produktionsprozess für die Unternehmen mit einem hohen unternehmerischen Risiko behaftet. Es muss kurzfristig entschieden werden, welcher Lieferant einspringen kann, wie die Ware, die bereits in Arbeit ist, logistisch abgewickelt wird, wie lange vorhandene Bestände noch ausreichen, in welchen Produkten die Teile des entsprechenden Lieferanten bereits verbaut wurden und ob die alternativen Lieferanten überhaupt über die entsprechende Kapazität im geforderten Zeitraum verfügen und entsprechend qualifiziert sind. Diese Entscheidungen können dabei heute teilweise mit IT unterstützt werden.

Morgen

In Industrie 4.0 wird es möglich, alle Produktionsschritte zu simulieren und in ihrer Abhängigkeit zum Produktionsprozess darzustellen: die Simulation der Bestandsreichweite, des Transports und der logistischen Abwicklung, die Ermittlung des Verwendungsnachweises der bereits verbauten Teile, aber auch Informationen aus dem Haltbarkeitsmanagement. Dadurch wird die Abwicklung und Minimierung der Umrüstung bei produktspezifischen Rüstkosten und gleichzeitiger Evaluierung des Risikos möglich. Veränderte Kosten und Margen alternativer Lieferanten können so simuliert werden – bis hin zur Simulation der Veränderung des „ökologischen Abdrucks“ durch unterschiedliche Lieferanten. Durch diese umfassende Vernetzung der Produktionssysteme wird die Analyse alternativer Lieferanten und deren Kapazitäten in Echtzeit möglich.
Diese können direkt über einen geeigneten sichereren Weg in der Lieferanten-*Cloud* angefragt und beauftragt werden.

PERSPEKTIVE
Aufgrund der Neuerungen im IT-Bereich – *Big Data* / *Cloud* – können Simulationen echtzeitoptimiert durchgeführt werden. Entsprechende *Software*-Konzepte liegen bereits vor. Eine Zeitersparnis und Kostenersparnis sowie die Minimierung des unternehmerischen Risikos stellen die entsprechenden Werttreiber für eine zeitnahe Realisierung dar.

7 Ausblick

7 Ausblick

Deutschland hat das Potenzial, Leitmarkt und Leitanbieter für Industrie 4.0 zu werden. Eine zentrale Voraussetzung dafür ist – neben der Erfüllung der technischen Anforderungen –, dass sowohl die Branchen als auch die Belegschaften das Thema kooperativ gestalten. Die Plattform Industrie 4.0 ist hierfür der entscheidende Schritt, die Innovationskraft von Industrie 4.0 branchenübergreifend zu heben.

Der Weg hin zur Vision Industrie 4.0 ist ein evolutionärer Prozess, der in Betrieben und speziellen Industriebereichen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit voranschreiten wird. Dabei ist es essenziell, zügig Demonstratoren zu entwickeln und mit Produkten in den Markt zu gehen.
In der Umsetzung sollte auf eine duale Strategie gesetzt werden: Vorhandene Basistechnologien und Erfahrungen an die Besonderheiten der Produktionstechnik anpassen und schnell in die Fläche bringen sowie gleichzeitig innovative Lösungen für neue Standorte und neue Märkte erforschen und entwickeln. Dann kann Deutschland mit Industrie 4.0 eine Leitanbieterrolle besetzen und als Leitmarkt seine Attraktivität als Produktionsland ausbauen sowie Produktionsvolumen am Standort halten.

Die Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft hat das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 zu Beginn des Jahres 2011 initiiert – ab April 2013 werden die Industrieverbände BITKOM, VDMA und ZVEI mit Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft die Umsetzung weiter konsequent fortführen. Der systemische Ansatz im Schulterschluss aller Beteiligten zum wechselseitigen Austausch von technologischer und sozialer Innovation bildet dabei die Grundlage für die erfolgreiche Zusammenarbeit.

Hintergrund: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0

Hintergrund: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0

Industrie 4.0 ist ein „Zukunftsprojekt“ der Bundesregierung, das im Aktionsplan zur Hightech-Strategie 2020 im November 2011 verabschiedet wurde. Es wurde im Januar 2011 durch die Promotorengruppe KOMMUNIKATION der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (FU) initiiert. Erste Umsetzungsempfehlungen erarbeitete der **Arbeitskreis Industrie 4.0** von Januar bis Oktober 2012 in Koordination durch acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Den Vorsitz übernahmen Dr. Siegfried Dais, Stellvertretender Geschäftsführer der Robert-Bosch GmbH, und Prof. Henning Kagermann, Präsident von acatech. Die Handlungsempfehlungen wurden in Berichtsform beim Umsetzungsforum der FU am 2. Oktober 2012 im Produktionstechnischen Zentrum Berlin an die Bundesregierung übergeben. Künftig wird die von den Industrieverbänden BITKOM, VDMA und ZVEI neu gegründete und durch eine Geschäftsstelle unterstützte Plattform Industrie 4.0 die weiteren Umsetzungsschritte in unterschiedlichen Arbeitsgruppen konkretisieren.

Die Bundesregierung verfolgt mit ihrer Hightech-Strategie seit 2006 eine ressortübergreifende Verzahnung von Forschungs- und Innovationsaktivitäten in Deutschland, um die starke Wettbewerbsstellung Deutschlands durch technische Innovationen zu sichern. Mit deren Weiterentwicklung als Hightech-Strategie 2020 liegt der Fokus auf fünf Bedarfsfeldern: Klima / Energie, Gesundheit / Ernährung, Mobilität, Sicherheit und Kommunikation. Im Zentrum stehen die „Zukunftsprojekte“, mit denen die FU konkrete Ziele wissenschaftlicher und technologischer Entwicklungen über einen mittelfristigen Zeitraum von zehn bis fünfzehn Jahren in den Blick genommen hat. Mit den Projekten wurden konkrete Innovationsstrategien und Implementierungsabläufe geplant, die Deutschland eine Führungsposition bei der Lösung globaler Herausforderungen einräumen sollen. Der vorliegende Bericht konkretisiert und ergänzt die Empfehlungen des Arbeitskreises Industrie 4.0 von Oktober 2012 und dient als Grundlage für die Arbeit der Plattform Industrie 4.0, die im April 2013 beginnt.

Homepage der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft:
forschungsunion.de

HTS-Aktionsplan unter:
bmbf.de/pub/HTS-Aktionsplan.pdf

Berichte des Arbeitskreises Industrie 4.0:
acatech.de/industrie4.0

Die Plattform Industrie 4.0

Die Industrieverbände BITKOM, VDMA und ZVEI haben zur Fortführung der bisherigen Aktivitäten und zur Sicherstellung eines koordinierten und branchenübergreifenden Vorgehens die Etablierung einer gemeinsamen Plattform Industrie 4.0 vorangetrieben (s. Abb. 14).

Das zentrale Koordinierungs- und Steuerungsgremium der Plattform ist ein industriell geleiteter **Lenkungskreis**. Er richtet die Plattform strategisch aus, setzt Arbeitsgruppen ein und lenkt deren Arbeit. Dem Lenkungskreis wird ein **wissenschaftlicher Beirat** zur Seite gestellt, in dem neben den Fachbereichen Produktion, Informatik und Automatisierung auch Vertreter anderer Disziplinen vertreten sind. Die **Arbeitsgruppen** organisieren sich selbst und berichten an den Lenkungskreis. Sie stehen allen interessierten Kreisen offen.

Ein **Vorstandskreis** gibt Anregungen zur Strategie und unterstützt die politischen Aktivitäten der Plattform. Er wird bei Bedarf die Plattform gegenüber Politik, Presse und Öffentlichkeit repräsentieren.

Eine **Geschäftsstelle** aus Mitarbeitern der drei Trägerverbände unterstützt den Lenkungskreis organisatorisch und administrativ. Sie dient dem Wissenstransfer, der internen Vernetzung sowie die Vernetzung mit verwandten Initiativen und leistet Presse- und Öffentlichkeitsarbeit.

Geschäftsstelle
Leitung: Rainer Glatz, VDMA
Dr. Bernhard Diegner, ZVEI
Wolfgang Dorst, BITKOM

Sitz der Geschäftsstelle:
Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt/Main

Kontakt:
kontakt@plattform-i40.de
plattform-i40.de

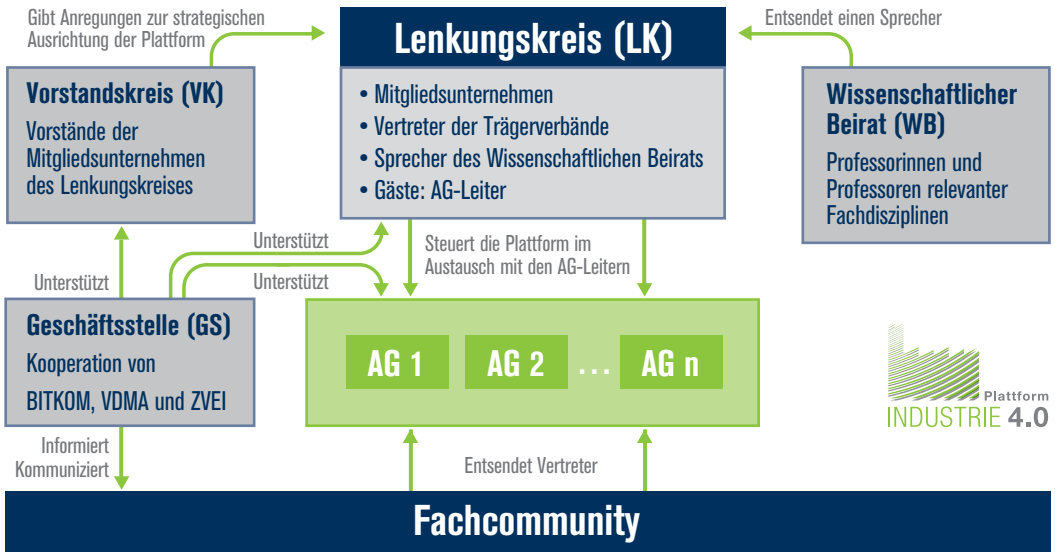


Abbildung 14: Vorläufige Organisationsstruktur der „Plattform Industrie 4.0“

Glossar

Glossar

AKTOR: Komponente aus Software, Elektronik und / oder Mechanik, die elektronische Signale, etwa von einem Steuerungscomputer ausgehende Befehle, in mechanische Bewegung oder andere physikalische Größen, zum Beispiel Druck oder Temperatur, umsetzt und so regulierend in einen Produktionsprozess eingreift.

APPLICATION, „APP" (ANWENDUNG): Software, die ein Anwender auf IT-Ressourcen ablaufen lassen kann. Dies können sowohl IT-Ressourcen, wie speicherprogrammierbare Steuerungen oder Standardrechner, sein, aber auch mobile Geräte oder die Cloud.

AUGMENTED OPERATOR: Bezeichnung für den Beschäftigten in der Smart Factory, der die Produktionsprozesse dank einer (virtuell) erweiterten Sicht auf die reale Fabrik besser wahrnehmen und steuern kann und so als Träger von Entscheidungen und Optimierungsprozessen auftritt.

BUSINESS WEB: Die Nutzung des Internets durch Unternehmen oder Organisationen allgemein. Die dem Internet eigene Veränderungsgeschwindigkeit zusammen mit den vorhandenen internationalen technischen und semantischen Standards eröffnen allen Unternehmensbereichen, ihren Organisationsstrukturen und Funktionen Innovationspotenzial. Wertschöpfungsnetzwerke werden dadurch flexibel und sicher. Verwendung finden dabei Konzepte wie Cloud Computing und Social Media.

BREITBAND: Internetzugang über Netze, die als DSL, TV-Kabel oder eine drahtlose Technologie (UMTS, WLAN, LTE, Satellit etc.) realisiert werden. Für 99,5 Prozent der Haushalte besteht inzwischen die Möglichkeit, Zugänge mit mindestens 1 Megabit pro Sekunde zu nutzen, bereits 51 Prozent der Haushalte können Bandbreiten von mindestens 50 Megabits pro Sekunde nutzen (s. www.zukunft-breitband.de).

CLOUD: Abstrahierte virtualisierte IT-Ressourcen (wie zum Beispiel Datenspeicher, Rechenkapazität, Anwendungen oder Dienste, wie etwa Freemail-Dienste), die von Dienstleistern verwaltet werden. Der Zugang erfolgt über ein Netzwerk, meist das Internet. Der Begriff „Wolke" (engl. Cloud) meint, dass der eigentliche physische Standort der Infrastruktur dieser Leistungen für den Nutzer oft nicht erkennbar rückverfolgt werden kann, sondern die Ressourcen „wie aus den Wolken" abgerufen werden können.

CLOUD COMPUTING: Nutzung von IT-Ressourcen aus der Cloud.

CYBER-PHYSICAL PRODUCTION SYSTEMS (CPPS): Anwendung von Cyber-Physical Systems in der produzierenden Industrie und somit die Befähigung zur durchgängigen Betrachtung von Produkt, Produktionsmittel und Produktionssystem unter Berücksichtigung sich ändernder und geänderter Prozesse.

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.

CPS-PLATTFORM: Plattformkonstrukt, das Hardware-, Software- und Kommunikationssysteme mit grundlegenden standardisierten CPS-Vermittlungs-, Interoperabilitäts- und Quality-of-Service-Diensten (QoS-Diensten) für Implementierung und Management von Cyber-Physical Systems und ihren Anwendungen sowie deren Einbindung in Wertschöpfungsnetzwerke umfasst. CPS-Plattformdienste mit ihrer Grundfunktionalität für Realisierung, verlässlichen Betrieb und Evolution von Cyber-Physical Systems sind integraler Bestandteil domänenspezifischer CPS-Anwendungsplattformen. Sie sichern die domänen- und unternehmensübergreifende Gesamtfunktionalität und -qualität auf technischer Systemebene, beispielsweise durch QoS-fähige Kommunikation, Dienste für IT-Sicherheit oder für Selbstdiagnose, Selbstheilung und Rekonfiguration.

DATENSCHUTZ: Der Schutz des Einzelnen vor Beeinträchtigung seines Persönlichkeitsrechts in Bezug auf personenbezogene Daten.

DATENSICHERHEIT (SECURITY): IT-Sicherheit für Daten; Grundlage für Datenschutz.

DIENST(E) (SERVICE): In der Informatik die Bündelung von fachlichen Funktionen eines Programms, in Netzwerken die Bereitstellung eines Programms auf einem Server und in der Telekommunikation die Übertragung von Daten. Als Synonym wird der Begriff „Service“ verwendet. Dienste bezeichnen das Bereitstellen von Leistungen zur Erfüllung eines definierten Bedarfs.

EINGEBETTETES SYSTEM (EMBEDDED SYSTEM): Hardware- und Software-Komponenten, die in ein umfassendes System integriert sind, um systemspezifische Funktionsmerkmale zu realisieren.

ENGINEERING, SYSTEM ENGINEERING: Interdisziplinärer Ansatz, um komplexe technische Systeme bedarfsgerecht zu gestalten, systematisch zu entwickeln und zu realisieren (Industrial Engineering: stützt sich etwa auf spezialisierte Kenntnisse und Fertigkeiten in Mathematik, Physik, Informatik, Sozialwissenschaften etc., zusammen mit den Prinzipien und Methoden von technischer Analyse und Entwurf, um integrierte Systeme von Menschen, technischen Komponenten, Materialien und Informationen sowie von Ausrüstung und Energie zu verwirklichen oder zu verbessern).

FÖDERATIV: Föderativ bedeutet im Kontext föderativer CPS-Plattformen, dass CPS-Plattformen, Dienste und Anwendungen von unterschiedlichen Teilnehmern gemeinsam für kooperative Aktivitäten genutzt werden, wobei aber für jeden der Teilnehmer die eigene Komponente beziehungsweise der eigene Kontext gesichert bleibt. Es werden nur die Daten und Informationen zwischen den Teilnehmern ausgetauscht, die für das gemeinsame Agieren notwendig sind. Auf die einzelnen Komponenten kann direkt innerhalb der Anwendungen, Dienste oder der Plattform zugegriffen werden, ohne eine zentrale dominierende Steuerung. Die einzelnen Komponenten behalten die Kontrolle über ihre Datenbestände.

GESCHÄFTSMODELL: Ein Geschäftsmodell ist eine vereinfachte Darstellung eines Unternehmens und eine Abstraktion davon, wie sein Geschäft und seine Wertschöpfung funktionieren, um letztlich Geld zu verdienen. Es beschreibt auf kompakte Weise Organisation, Kostenstrukturen, Finanzströme, Wertschöpfungskette und Produkte eines Unternehmens. Der Prozess zur Definition eines Geschäftsmodells ist Teil der Geschäftsstrategie.

HORIZONTALE INTEGRATION: vgl. Infokasten in Kap. 2.1.

INTERNET DER DIENSTE (INTERNET OF SERVICES): Teil des Internets, der Dienste und Funktionalitäten als granulare, web-basierte Software-Komponenten abbildet. Provider stellen diese im Internet zur Verfügung und bieten die Nutzung auf Anforderung an. Über Internetdiensttechnologien sind die einzelnen Software-Bausteine beziehungsweise Dienstleistungen miteinander integrierbar. Unternehmen können die einzelnen Software-Komponenten zu komplexen und dennoch flexiblen Lösungen orchestrieren (dienste-orientierte Architektur). Über cloud-basierte Entwicklungsplattformen kann eine Vielzahl an Marktakteuren sehr einfach internetfähige Dienstleistungen entwickeln und anbieten. Zudem entstehen Dienstplattformen, auf denen Kunden ein bedarfs- beziehungsweise prozessorientiertes Komplettangebot finden, statt Einzelangebote suchen, vergleichen und zusammenstellen zu müssen. Das Internet entwickelt sich so zum Baukasten für IKT-Anwendungen, -Infrastrukturen und -Dienste.

INTERNET DER DINGE (INTERNET OF THINGS, IOT): Verknüpfung physischer Objekte (Dinge) mit einer virtuellen Repräsentation im Internet oder einer internetähnlichen Struktur. Die automatische Identifikation mittels RFID ist eine mögliche Ausprägung des Internets der Dinge; über Sensor- und Aktortechnologie kann diese Funktionalität um die Erfassung von Zuständen beziehungsweise die Ausführung von Aktionen erweitert werden.

INTEROPERABILITÄT: Fähigkeit unabhängiger, heterogener Systeme, (möglichst) nahtlos zusammenzuarbeiten, um Informationen auf effiziente und verwertbare Art und Weise auszutauschen, zu kooperieren und den Nutzern Dienste zur Verfügung zu stellen, ohne dass dazu gesonderte Absprachen zwischen den Systemen notwendig sind.

MANUFACTURING EXEKUTION SYSTEM (MES): Als Manufacturing Execution System wird ein am technischen Produktionsprozess operierendes IT-System bezeichnet. Es zeichnet sich gegenüber ähnlich wirksamen Systemen zur Produktionsplanung (sogenannte Enterprise Resource Planning Systeme) durch die direkte Anbindung an die verteilten Systeme des Prozessleitsystems aus und ermöglicht die Führung, Lenkung, Steuerung und Kontrolle der Produktion in Echtzeit. Dazu gehören klassische Datenerfassungen und Aufbereitungen wie Betriebsdatenerfassung, Maschinendatenerfassung und Personaldatenerfassung, aber auch alle anderen Prozesse, die eine zeitnahe Auswirkung auf den technischen Produktionsprozess haben.

MENSCH-MASCHINE-INTERAKTION (MENSCH-MASCHINE-INTERAKTION (MMI) / HUMAN-COMPUTER-INTERACTION (HCI): Teilgebiet der Informatik, das sich mit der nutzergerechten Gestaltung von interaktiven Systemen und ihren Mensch-Maschine-Schnittstellen beschäftigt. Dabei werden neben Erkenntnissen der Informatik auch solche aus der Psychologie, der Arbeitswissenschaft, der Kognitionswissenschaft, der Ergonomie, der Soziologie und aus dem Design herangezogen. Wichtige Teilgebiete der Mensch-Maschine-Interaktion sind beispielsweise Usability Engineering, Interaktionsdesign, Informationsdesign und Kontextanalyse. Der letzte Aspekt ist bei Cyber-Physical Systems von Bedeutung, um in jeder Situation eine optimale Anpassung der Interaktion an die Nutzer zu gewährleisten.

MODELL: Eine vereinfachte, auf ein bestimmtes Ziel hin ausgerichtete Darstellung der Merkmale eines Betrachtungsgegenstands, die eine Untersuchung oder eine Erforschung erleichtert oder erst möglich macht. Modelle sind wesentliche Artefakte des Engineerings; sie repräsentieren Systeme auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus (Analyse, Entwurf, Implementierung), Systemteilen oder Gewerken (Verfahrenstechnik, Mechanik, Elektrotechnik, Automatisierung, Informatik), Belangen (Sicherheit, Leistung, Belastbarkeit) und Aufgaben (Testen, Einsatz). Es gibt eine Vielzahl an Modellierungskonzepten; oft werden Modelle zur Simulation verwendet.

ÖKOSYSTEM (ECOSYSTEM): Im wirtschaftlichen Kontext ein Verbund von Marktteilnehmern, die miteinander in Leistungsbeziehungen stehen und untereinander Güter, Informationen, Dienste und Geld austauschen. Im Vergleich zum Wertschöpfungssystem ist der Begriff des Ökosystems breiter und umfassender. So sind Bildungsträger, Forschungseinrichtungen, politische Einheiten oder Verbände Bestandteile eines gesamtwirtschaftlichen Ökosystems, während an Wertschöpfungssystemen ausschließlich Unternehmen beteiligt sind.

OPEN SOURCE (QUELLENOFENHEIT): Menschenlesbarer Programmcode (Quellcode) von Open Source Software, der öffentlich eingesehen und unter den Bedingungen von Open-Source-Lizenzen genutzt, verändert und weiterverbreitet werden kann.

ORCHESTRIERUNG: Orchestrierung beschreibt das Aufsetzen und Vernetzen von Software-Diensten zu einem Geschäftsprozess. Es können dabei unternehmensinterne und -externe Dienste kombiniert werden, jeder Dienst realisiert dabei nur eine bestimmte Aktivität innerhalb des Geschäftsprozesses. Bei herkömmlichen Web-Services kontrolliert ein Teilnehmer den Prozessfluss. In Industrie 4.0 werden Geschäftsprozesse ad hoc entstehen und über die Kontrolle der Prozessflüsse dynamisch entschieden. Insofern wird in diesem Kontext der Begriff Orchestrierung weiter gefasst als bei herkömmlichen Web-Services und bezieht sich auch auf das Aufsetzen von föderativen Diensten, die in mehreren Geschäftsprozessflüssen gleichzeitig genutzt werden können und dabei für jeden Software-Prozess den eigenen Kontext sicherstellen.

PERSONENBEZOGENE DATEN: Einer bestimmten natürlichen Person zugeordnete oder mittelbar zuzuordnende Daten. Auch Daten, über die sich ein Personenbezug herstellen lässt, sind als personenbezogene Daten anzusehen, selbst wenn die Zuordnungsinformationen nicht allgemein bekannt sind. Entscheidend ist allein, dass es gelingen kann, die Daten mit vertretbarem Aufwand einer bestimmten Person zuzuordnen.

PROZESSLEITSYSTEM: Ein Prozessleitsystem dient dem Führen eines Produktionssystems. Es besteht typischerweise aus 1. prozessnahen Komponenten zur Steuerung und Regelung des technischen Prozesses, zur Ansteuerung von Aktoren und zur Aufnahme der Messwerte über Sensoren, aus 2. Bedien- und Beobachtungsstationen zur Anlagenvisualisierung, Alarmierung des Operators und Archivierung von Messwerten und aus 3. Engineering-Komponenten zur Konfiguration des gesamten Prozessleitsystems.

REFERENZARCHITEKTUR (ARCHITECTURE FRAMEWORK): Begriffs- und Methodenstruktur, die eine einheitliche Basis für die Beschreibung und Spezifikation von Systemarchitekturen bildet. Ziel von Referenzarchitekturen ist es zum einen, eine gemeinsame Struktur und Sprache für Architekturbeschreibungen zu schaffen. Zum anderen geben sie eine Methode vor, zu einer konkreten Architekturbeschreibung zu gelangen.

SEMANTISCHE TECHNOLOGIEN: Technologien, die den Bedeutungszusammenhang (Semantik) von Begriffen, Datenstrukturen und Schreibkonventionen berücksichtigen, um den Datenaustausch zwischen Organisationen in integrierten, medienbruchfreien Geschäftsprozessen effizient und ohne inhaltliche Missverständnisse durchzuführen.

SENSOR: Technisches Bauteil, das bestimmte physikalische oder chemische Eigenschaften qualitativ oder als Messgröße quantitativ erfassen kann.

SICHERHEIT: Vgl. Infokasten in Kap. 5.4.

SICHERHEITSKRITISCH (SAFETY CRITICAL): Eigenschaft von Systemen, in Betrieb und Nutzung ein Risiko- oder Gefährdungspotenzial zu besitzen; s. auch Sicherheit.

SMART FACTORY: Einzelnes oder Verbund von Unternehmen, das / der IKT zur Produktentwicklung, zum Engineering des Produktionssystems, zur Produktion, Logistik und Koordination der Schnittstellen zu den Kunden nutzt, um flexibler auf Anfragen reagieren zu können. Die Smart Factory beherrscht Komplexität, ist weniger störanfällig und steigert die Effizienz in der Produktion. In der Smart Factory kommunizieren Menschen, Maschinen und Ressourcen selbstverständlich miteinander wie in einem sozialen Netzwerk.

SMART PRODUCT: Bezeichnung für physische Produkte, die selbst Daten für ihr eigenes virtuelles Abbild zur Verfügung stellen können.

SOZIOTECHNISCHES SYSTEM: Das Zusammenwirken von Beschäftigten, Technologien (Maschinen, Anlagen, Systemen) und Arbeitsorganisation, um eine Arbeitsaufgabe auszuführen.

UBIQUITOUS COMPUTING: Allgegenwart rechnergestützter Informationsverarbeitung. Weit über PC und Laptop und das dortige Paradigma der Mensch-Maschine-Interaktion hinausgehend wird die Informationsverarbeitung in alltägliche Objekte und Aktivitäten integriert; über das Internet der Dinge werden Menschen teils unmerklich bei ihren Tätigkeiten unterstützt.

UNTERNEHMENSPLANUNGSEBENE: Die Unternehmensplanungsebene beinhaltet IT-Systeme, um die in einem Unternehmen vorhandenen Ressourcen in Form von Kapital, Betriebsmitteln oder Personal möglichst effizient für den betrieblichen Ablauf einzusetzen und somit die Steuerung von Geschäftsprozessen (zum Beispiel Auftrags-, Kundenverwaltung, Buchhaltung, Einkauf, Versand) zu optimieren.

VERFÜGBARKEIT: Eigenschaft von Verfahren und Daten, zeitgerecht zur Verfügung zu stehen und ordnungsgemäß angewendet werden zu können. Autorisierte Benutzer dürfen am Zugriff auf Informationen und Systeme nicht gehindert werden.

VERTIKALE INTEGRATION: vgl. Infokasten in Kap. 2.1.

VIRTUALISIERUNG: Herstellung einer virtuellen (anstatt einer tatsächlichen) Version, losgelöst von den konkreten Betriebsmitteln, etwa einer Hardware-Plattform, einem Betriebssystem, einem Speichermedium oder Netzwerkressourcen.

VISUALISIERUNG: Das Sichtbarmachen von in Verwaltungs- und Produktionsprozessen anfallenden abstrakten Daten. So werden Zahlen in ihrem Zusammenhang und in geeigneter visueller Form, zum Beispiel als Grafik, dargestellt. Diese kontextbezogene Darstellung basiert auf Priorisierung, das heißt, weniger aussagefähige Daten werden im gegebenen Zusammenhang weggelassen.

WARTBARKEIT (MAINTAINABILITY): Eigenschaft eines Systems, verändert oder erweitert werden zu können. Der Zweck ist es, Defekte und Mängel zu isolieren und zu beseitigen oder das System auf neue Anforderungen einzurichten, sodass es in einem veränderten Umfeld funktioniert.

WERTSCHÖPFUNGSKETTE: Modell der Wertschöpfung als sequenzielle, abgestufte Reihung von Tätigkeiten beziehungsweise Prozessen, von der Entwicklung über die Produktion bis hin zu Vermarktung und Dienstleistungen.

WERTSCHÖPFUNGSNETZWERK: Dezentrales polyzentrisches Netzwerk, das gekennzeichnet ist durch komplexe wechselseitige Beziehungen zwischen autonomen, rechtlich selbstständigen Akteuren. Es bildet eine Interessengemeinschaft von potenziellen Wertschöpfungspartnern, die bei Bedarf in gemeinsamen Prozessen interagieren. Die Entstehung von Wertschöpfungsnetzwerken ist auf nachhaltigen ökonomischen Mehrwert ausgerichtet. Besondere Ausprägungen von Wertschöpfungsnetzwerken werden als Business Webs bezeichnet.

WERTSCHÖPFUNGSSYSTEM: Verbund von Unternehmen, die miteinander in Leistungsbeziehungen stehen und untereinander Güter, Informationen, Dienste und Geld austauschen; siehe auch Ökosystem.

A Anhang

A Anhang

A 1 Wo liegt der Forschungsbedarf? – Konsolidierte Forschungsempfehlungen

Die Handlungsempfehlungen sind anhand von Zeithorizonten in zwei Cluster aufgeteilt:

- **Mittelfristig:** Handlungsempfehlungen, deren Umsetzung eine branchen- oder teilspezifische Entwicklung von Methoden, Werkzeugen oder Technologien und deshalb eine anwendungsnahe Forschungsförderung erfordert. Die Methoden, Werkzeuge und Technologien zur Realisierung von CPPS-Strukturen liegen zwar vor, die Anwendung und Realisierung ist jedoch nicht naheliegend. Die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten haben für die Automatisierungs- und Produktionstechnik branchenspezifisch repräsentativen Charakter oder sie zeigen exemplarisch den Weg in neue Geschäftsmodelle, Pilotanwendungen etc. Der Entwicklungs- und Anpassungsbedarf hat vorwettbewerblichen Charakter. Die Realisierungszeit beträgt zwei bis drei Jahre. Danach werden die Ergebnisse sukzessive in breite Industrieanwendungen ausgerollt.
- **Langfristig:** Handlungsempfehlungen, zu deren Umsetzung umfangreiche, längerfristig angelegte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig sind. Sie dienen der grundsätzlichen Befähigung von Unternehmen, sich in Leitanbieterpositionen zu entwickeln oder Leitmärkte zu gestalten. Hierzu gehören zum Beispiel die Erforschung und Validierung von Modellen und Methoden zur Einbindung des Mittelstandes in horizontale und vertikale Wertschöpfungsnetze. Außerdem müssen die übergeordneten Fragen zur Sicherheit und auch zur Dateninfrastruktur nachhaltig gelöst werden. Aber auch gezielte Grundlagenforschung muss initiiert werden. Der Zeithorizont beträgt mindestens fünf Jahre.

Die nachfolgenden konsolidierten Forschungsempfehlungen sind – neben dem Cluster Zeithorizont – gemäß der grundsätzlichen **drei Charakteristika der dualen CP(P)S-Strategie** aus Kapitel 3.3 geclustert und primär durch die **Anwendung** getrieben. Zusätzlich werden die beiden Cluster **Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit** und **Technologie CP(P)S** aufgenommen, die eher durch die verfügbaren IKT-**Technologien** und **CPS-Produkte** getrieben sind. Dabei ist diese Abgrenzung auf keinen Fall scharf zu sehen, da naturgemäß viele Empfehlungen mehrere Cluster betreffen.

A 1.1 Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke

In diesem Abschnitt werden Forschungsempfehlungen unterbreitet, um die Geschäftsstrategie eines Unternehmens und neuartige Wertschöpfungsnetze sowie vollständig neue Geschäftsmodelle nachhaltig durch CPPS zu unterstützten.

A 1.1.1 Gestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken und Geschäftsmodellen

CPPS haben das Potenzial, im Sinne einer radikalen Disruption die Industrie zu revolutionieren und somit tradierte Geschäftsmodelle abzulösen. Deshalb müssen durch entsprechende Forschungsvorhaben die möglichen geschäftlichen Bedrohungen und resultierenden Konsequenzen systematisch analysiert und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Industrie 4.0 ertüchtigt *Cyber-Physical Systems* zur Anwendung in der produzierenden Industrie durch eine modelltechnisch, architekturell, kommunikationstechnisch und interaktionsmäßig durchgängige Betrachtung von Produkt, Produktionsmittel und Produktionssystem unter Berücksichtigung sich ändernder und geänderter Prozesse. Damit **migrieren sie zu *Cyber-Physical Production Systems* (CPPS)** und finden in *smarten* Produktionssystemen Verwendung.

- Im Sinne eines *Frameworks* ist das Themenfeld „**Wertschöpfungsnetzwerke**“, in einer systematischen Weise im Hinblick auf Zielsetzungen, Treiber, Potenziale und Randbedingungen zu strukturieren. Dazu gehören auch eine umfassende Zusammenstellung von existierenden Beispielen, *Best Practice*-Sammlungen und Erfahrungen aus anderen Industrien und eine Übertragung des Gedankenguts auf die Produktion [**mittelfristig**].
- Im Sinne eines übergreifenden *Frameworks* ist das Thema „**Geschäftsmodelle**“, in einer systematischen Weise zu strukturieren. Es gibt derzeit verschiedenste Ansätze, die Thematik Geschäftsmodelle zu strukturieren, allerdings sind diese Ansätze oft nicht kompatibel. Ein gemeinsames Verständnis der Geschäftsmodelle ist eine zentrale Voraussetzung, 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, notwendig sowie eine Übertragung auf die Produktion und die Analyse der sich daraus ergebenden Konsequenzen [**mittelfristig**].
- Methodiken zur **Analyse und Bewertung der wirtschaftlichen und technologischen Potenziale** von CPPS sind zu entwickeln, um Aussagen darüber treffen zu können, unter welchen Randbedingungen (beispielsweise im Hinblick auf Zeit, Geschäftsmodell, Branche etc.) sich der Einsatz von CPPS wirtschaftlich rechnet und unter welchen Bedingungen ein Einsatz von CPPS nicht zielführend ist. Dazu sind die Voraussetzungen, Treiber und Konsequenzen von CPPS systematisch zu erarbeiten. Als Vorarbeit sollten hierzu die entsprechenden Kapitel und Abschnitte aus der „Integrierten Forschungsagenda Cyber-Physical Systems“ (2012)[1] genutzt werden [**mittelfristig**].
- Neben einer systematischen Erarbeitung ist eine **umfassende Pilotierung** der erarbeiteten Konzepte notwendig, um Themen wie (neue) Geschäftsstrategien, -modelle und -prozesse unter stärkerer Einbeziehung von Kunden, Lieferanten, Partnern und Markt praktisch zu beleuchten. Dazu sollten für die konkreten Beispiele *Business*-Pläne erstellt und Erfahrungen bezüglich einer „Orchestrierung“ gesammelt werden, welche auch in Form von (zukünftigen) Anforderungen an CPPS als Plattform zur Unterstützung von Wertschöpfungsnetzwerken veröffentlicht werden sollten. Im Rahmen der ersten Forschungsaktivitäten im Kontext von Industrie 4.0, wie zum Beispiel „*Virtual Fort Knox*“[2], „RAN – *RFID based Automotive Network*“[3] und „*KAPAFLEXCY*“[4], wurde dieses Thema bereits adressiert und erste Arbeiten geleistet, die als Basis für weitere Entwicklungen dienen können [**mittelfristig**].

A 1.1.2 Gestaltung und Schutz des eigenen Wissens

Das eigene Wissen ist von zentraler Bedeutung für ein Unternehmen. CPPS ermöglichen eine neue Dimension der Formalisierung von Wissen. Deshalb müssen adäquate, zuverlässige und wirtschaftliche Lösungen für den Schutz von Wissen entwickelt und etabliert werden. Die Promotorengruppe Sicherheit der Forschungsunion erarbeitet dazu im Rahmen ihres Zukunftsprojektes „Sichere Identitäten“ übergreifende Handlungsempfehlungen; die Verzahnung zwischen Industrie 4.0 und diesem weiteren Zukunftsprojekt wird nachdrücklich empfohlen.

- Im Sinne einer **Wissens-Landkarte** sollte das im Kontext von CPPS relevante Wissen zusammengetragen und kategorisiert werden, um darauf aufbauend verschiedene Bedrohungsszenarien und Möglichkeiten für die unterschiedlichen Arten von Wissen bezüglich Schutz beziehungsweise Management des Schutzes zu erarbeiten. Dabei sind gesetzliche und technische Randbedingungen, wie beispielsweise bei sicherheitskritischen Systemen die Offenlegung durch Sicherheitsnachweis, zu berücksichtigen. Dazu sind auch *Best Practice Communities* und Erfahrungsaustausche anzustoßen [**mittelfristig**].
- Besondere Bedeutung kommt der Gestaltung des **Wissens über Produktionssysteme** zu. Hier sind insbesondere Fragen der Durchgängigkeit und Vollständigkeit von Wissensmodellen über den gesamten Lebenszyklus sowie die Konsistenz zwischen der digitalen und realen Welt zu adressieren [**mittelfristig**].

- Um das stetige Wachstum von Produktpiraterie und den Diebstahl geistigen Eigentums einzudämmen, muss das Kopieren beziehungsweise das *Reverse-Engineering* von CPS- und CPPS-Produkten verhindert werden. Ein Forschungsaspekt sollte daher die Entwicklung **technischer Konzepte** für Kapselung und Schutz (zum Beispiel zum Schutz vor Plagiaten Gütesiegel und Echtheitszertifikate) von Wissen und Information bilden. Neben eindeutigen und sicheren Produktidentitäten, wie **digitale Typenschilder** und Wissensmodelle für den maschinellen Austausch von Fähigkeiten und Funktionalitäten, sind die Themen „*Industrial IT-Security*“, „Verschlüsselungsmechanismen“ sowie „*Embedded Security*“ zum Schutz vor Produktpiraterie zu erforschen (s. dazu auch Bericht der Promotorengruppe Sicherheit[5]) [**mittelfristig**].
- Neben der Entwicklung von Methoden und Technologien ist die **praktische Erprobung** in Form von geeigneten Pilotierungen notwendig, in denen die entwickelten Konzepte prototypisch in Form von Algorithmen, Applikationen und Fallstudien implementiert werden [**mittelfristig**].
- Darüber hinaus sollten aber auch mögliche **neue Konzepte und Verfahren** zum Schutz von Wissen erforscht werden [**langfristig**].

A 1.1.3 Standardisierung

Erst über ein gemeinsam getragenes technisches und betriebswirtschaftliches Verständnis, das sich in entsprechenden Schnittstellen und Standards manifestiert, ist eine branchenweite Vernetzung von Industrie- und Logistikunternehmen möglich. Dieses Bewusstsein einschließlich der damit verbundenen Konsequenzen ist zu schaffen und **mittelfristig** gemeinsam zu gestalten.

- Nachdem im Sinne einer *Bottom-up*-Strategie die Diskussion über eine **Standardisierung** für Industrie 4.0 initiiert wurde, müssen die Gespräche nachhaltig über die Plattform Industrie 4.0 geführt und moderiert werden. Im Verlaufe dieses Prozesses müssen bereits existierende Ansätze zur Standardisierung (nicht nur Technologien wie Identifikationskonzepte, Kommunikationsprotokolle und -schnittstellen, sondern auch mechatronische Ansätze wie etwa funktionale Betrachtungen, Prozesse und Workflows, *high-level* Architekturen etc.) im Hinblick auf Verwendbarkeit im Kontext von CPPS analysiert und bewertet werden. Daraus sollte eine *Roadmap* bezüglich der Umsetzung (welche vorhandenen Normen / Richtlinien sind anwendbar beziehungsweise anzupassen, wo ist Handlungsbedarf bezüglich neuer Aktivitäten) abgeleitet werden. Zu berücksichtigen sind dabei insbesondere auch Aufwand-Nutzen-Betrachtungen sowie der Aspekt der zeitlichen Umsetzung.[6]
- Im Sinne einer *Top-down*-Institution sollte ein **Industrie 4.0-Arbeitsgruppe Standardisierung** eingesetzt werden, der offen und transparent organisiert ist und der aus einer ganzheitlichen Betrachtung heraus ein *Big Picture* der Standardisierung moderiert, Empfehlungen (beispielsweise bezüglich Migration) ausspricht und über Branchen- und Projektgrenzen hinweg Standardisierungsaktivitäten evaluiert und kommuniziert sowie durch Innovationsübertragung weitere Innovationen stimuliert. Wichtig ist dabei auch die Diskussion über eine sinnvolle Grenze zwischen Standardisierung und Individualität sowie die Frage der *Stakeholder* bezüglich Schaffung und Nutzung von Standards sowie gegebenenfalls Lizenzmodellen. Das Erarbeiten von Standards und ihre branchenbezogene Vereinheitlichung betreffen nicht nur Technologien und Produktion, sondern auch Arbeitsprozesse, Arbeitsschutz und Weiterbildung. Dabei ist nicht nur an Prävention von Erkrankungen durch gefährliche Stoffe, ungesunde Arbeitshaltung und dergleichen zu denken, sondern an eine allgemeine geistige und körperliche Erschöpfung, die durch überlangen Verbleib in ein und derselben Tätigkeit entsteht.

A 1.1.4 Sicherstellung der Nachhaltigkeit

Neben der Werterhaltung (und -erhöhung) einer installierten Basis im Umfeld von CPPS muss bereits heute bei Produktionssystemen neben der Produktivität auch die **Ressourceneffizienz** als gleichrangig berücksichtigt werden. Besonders wichtig ist aber das ganzheitliche Denken in balancierten Kreisläufen, das den Einsatz von CPPS zukünftig leiten und prägen sollte.

- Der Aspekt der **Werterhaltung der installierten Basis von Produktionsanlagen** (diskret, kontinuierlich oder in der Kombination) muss in den Blick genommen werden. Zukünftig werden zumindest in Europa meist existierende Produktionssysteme zu modernisieren sein, wobei man insbesondere die deutlich unterschiedliche Länge der Innovationszyklen in der digitalen und realen Welt berücksichtigen muss. Dazu sind geeignete Strategien und Konzepte zu erarbeiten [**mittelfristig**].
- Die Potenziale der **Ressourceneffizienz, Produktivitäts- und Wirkungsgradsteigerung**, Energieeffizienz, Energiebetrachtung wie das Vermeiden von Energiespitzen, *Material Lifecycle Assessment*, *Recycling* etc. müssen konsequent ausgeschöpft werden. Dabei ist unter Nutzung von CPPS das Gesamtoptimum bezüglich Produktivität und Wirkungsgrad einschließlich Ressourceneffizienz zu betrachten. Notwendig sind die Entwicklung entsprechender Methoden und Konzepte sowie die Pilotierung durch prototypische Umsetzungen [**mittelfristig**].
- Neben dem verstärkten Betrachten neuer *Recycling*-Strategien, wie beispielsweise eine „saubere" Rückgewinnung von seltenen Erden, ist insbesondere ein ganzheitliches **Denken in balancierten übergeordneten Zyklen** bezüglich Material und Energie notwendig. Dies wird einerseits verstärkt Auswirkungen auf ein ressourcenschonendes, montagegerechtes und neuartiges Design künftiger Komponenten in Produktionsumgebungen haben, andererseits steht eine ökologische Gesamtbetrachtung (CO_2-*Footprint, Sustainability*-Index usw.) im Mittelpunkt des Handelns. Dies wird sich insbesondere auch positiv auf die Außenwahrnehmung eines Unternehmens in der Gesellschaft und am Arbeitsmarkt auswirken. Die Entwicklung und Einführung material- und energieeffizienter Technologien ist in der Breite zu forcieren [**langfristig**].

A 1.2 Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette

Hier sind die Forschungsempfehlungen adressiert, um Geschäftsprozesse einschließlich des *Engineering Workflows* mithilfe von CPPS durchgängig zu gestalten.

Langfristig werden produktlebenszyklus-übergreifende Wissensmodelle, die auch interdisziplinäre Zusammenhänge und die Automatisierungstechnik berücksichtigen, für den kreativen, den maschinellen sowie den mensch-zentrierten Informationsaustausch benötigt.

A 1.2.1 Co-Modellierung – Bidirektionale Modellierung der realen und virtuellen Produktion

Das technische Verschmelzen der digitalen und physischen Welt verfolgt insbesondere zwei Ziele: Im Sinne von Planungsmodellen ermöglicht es, die kreative Wertschöpfung von Ingenieuren transparent zu machen und schafft damit die Grundlage, komplexe Systeme überhaupt erstellen zu können. Außerdem ermöglicht es mithilfe von Erklärungsmodellen, komplexe Systeme zu analysieren beziehungsweise *Design*-Entscheidungen von Ingenieuren zu validieren. **Über die Planungsmodelle hat also die digitale Welt signifikanten Einfluss auf das Design der realen Welt, über die Erklärungsmodelle hat umgekehrt die reale Welt Einfluss auf die Modelle der digitalen Welt.** Benötigt wird hierzu ein wissenschaftliches Fundament im Sinne einer produktionstechnischen Modellierungstheorie für den Maschinen- und Anlagenbau.

- Das Thema **„Modellierung technischer Systeme"** ist in seiner **Begrifflichkeit** und in einem disziplinübergreifenden Ansatz zu systematisieren. Neben einem Abgleich der unterschiedlichsten Begriffe ist eine Erläuterung anhand von *Use Cases* beziehungsweise Szenarien sinnvoll. Darauf aufbauend muss ein Instrumentarium geschaffen werden, um verschiedene Treiber für eine Modellierung gemeinsam diskutieren zu können – etwa in der Entwicklung von Produkten höhere Flexibilität durch mehr Virtualität statt Prototypenbau, in der Produktion niedrigere Betriebskosten durch Fehlervermeidung

und Betriebsunterstützung, im Anlagen-*Engineering* kürzere Projektlaufzeiten und bessere Risikobeherrschung durch verbesserte Projektabwicklungssystematiken. Um die nächste Generation Ingenieure geeignet vorzubereiten, sind die Ergebnisse sowie die Begrifflichkeiten ebenfalls in der Ausbildung sowie in der produktionstechnischen Lehre disziplinübergreifend aufzunehmen [**mittelfristig**].

- Bewährte Beschreibungsmittel und Methoden einschließlich damit verbundener Basistechnologien aus der Informatik sind im Hinblick auf einen breiten Einsatz in den Ingenieurwissenschaften zu ertüchtigen. Es bietet sich an, die **Automatisierung als Mittler** zwischen den verschiedenen Welten zu stärken, da sie die erforderliche Interdisziplinarität verinnerlicht hat. Darauf aufbauend können sowohl *Software*-Basiswerkzeuge interdisziplinär weiterentwickelt werden als auch disziplinübergreifend moderierend agieren [**mittelfristig**].
- Eine wissenschaftlich fundierte **Modellierungstheorie** zur Modellierung technischer Systeme ist zu entwickeln. Wichtige Elemente dieser Theorie sind eine definierte Semantik, die Formalisierung von Konzepten, wie Abstraktion, Durchgängigkeit, Perspektiven, Aspekte, Abhängigkeiten, Typ-Instanz, Meta-Modellierung etc. Diese Theorie muss die Grundlage bilden, um Fragestellungen, wie „Was sind gute Modelle?“, „Wie finde ich passende Modelle?“, „Was realisiere ich in der digitalen und was in der realen Welt (etwa zusätzlicher physischer Sensor versus intelligente Auswertung bestehender Sensorik)?“, fundiert beantworten zu können [**langfristig**].

A 1.2.2 Entwicklungsmethodik zur disziplinübergreifenden Zusammenarbeit

Um digitale Modelle zielgerichtet einsetzen zu können, werden neben einem wissenschaftlichen Fundament Methodiken benötigt, um insbesondere die disziplinübergreifende Zusammenarbeit zu unterstützen, sowohl innerhalb einer Firma als auch entlang der firmenübergreifenden Wertschöpfungskette.

Neben der Entwicklung ist auch die Schulung zu und Anwendung solcher Methoden in der industriellen Breite und insbesondere im Mittelstand notwendig.

- Ein wichtiger Hebel ist die zielgerichtete **Nutzung von Modellen** im *Engineering* von technischen Systemen. Es muss verstanden werden, wie im Sinne des (*virtual*) *System Engineerings* Modelle zur disziplinübergreifenden Zusammenarbeit genutzt werden können, um das *Engineering* zu optimieren. Das dazu notwendige Verständnis über die Anwendung von Modellen muss flächendeckend in Form eines Methodenbaukastens für durchgängiges Produkt-, Prozess- und Produktionsmittel-*Engineering* gelehrt beziehungsweise geschult werden. Dabei besteht Bedarf an einer geeigneten Kombination aus theoretischen und anwendungsbezogenen Inhalten. Wichtig ist ebenfalls, dass die zugrunde liegenden Konzepte (wie zum Beispiel Skalierbarkeit, Simulation, Detailtreue, Dynamisierung, Echtzeit etc.) auch unabhängig von der Umsetzung in spezifischen Werkzeugen vermittelt werden. Die Vorarbeiten der Agenda CPS zum *System Engineering* sind dabei zu nutzen[7] [**mittelfristig**].
- Entscheidend ist der Aufbau von **durchgängigen Informationsmodellen**. Dazu sind neben den Modellierungskonzepten auch die Anwendungen (wie Konstruktion, Simulation, virtuelle Inbetriebnahme, Wartung und Service, Bestellwesen, Dokumentenmanagement etc.) zu berücksichtigen, die sich aus einem durchgängigen Informationsmodell speisen sollen. Auch die Zusammenarbeit und die Wechselwirkungen im Rahmen der iterativen Produktentwicklung mit anderen Unternehmen müssen berücksichtigt werden. Es sind geeignete Leitfäden sowie ein disziplinübergreifendes Referenzmodell zu entwickeln und in Form von Pilotanwendungen auf ihre Praxistauglichkeit zu überprüfen [**mittelfristig**].
- Sehr wichtig ist der **Einsatz von Modellen in frühen Phasen**, um über geeignetes *Frontloading-Design* Fehler frühzeitig entdecken und beseitigen zu können. Dies betrifft ebenfalls Aktivitäten, die auftragsunabhängig zur Schaffung wiederverwendbarer Ergebnisse durchgeführt werden. Es müssen Forschungsarbeiten vorangetrieben werden, die eine anwendbare Systematik entwickeln, wie bereits vor der eigentlichen Angebotsphase

systematisch die Anforderungen sowie Aufwände im Rahmen von Entwicklung, Produktion, Montage und Inbetriebnahme geprüft werden können. Dies gelingt bei zunehmender Variantenvielfalt und dem Denken in Produktfamilien nur, falls auch in diesem Themenfeld eine vernetzte Methoden- und Werkzeugunterstützung vorliegt [**mittelfristig**].

- Insbesondere das Thema **interdisziplinäre Simulation** ist zu bearbeiten. Hier ist zu untersuchen, welche Aspekte bereits durch eine disziplinübergreifende Simulation im PLM-Prozess a priori bestimmt beziehungsweise vorgegeben – und damit nicht weiter in der Realität verfolgt – werden und welche im Rahmen der operationalen Ausführung in der Produktion erst entstehen und erfasst beziehungsweise aggregiert werden müssen. Wichtig ist dabei insbesondere, die Balance zwischen Aufwand und Nutzen zu kennen [**mittelfristig bis langfristig**].
- Auch die Nutzung von Modellen zur Entwicklung **„höherwertiger" Steuerungs- und Optimierungsansätze für die automatisierte, menschintegrierte Produktion** ist zu bearbeiten. Dies bezieht sich sowohl auf die Maschinen- und Anlagenebene (Echtzeit) als auch auf die Ebene des gesamten Produktionssystems [**mittelfristig bis langfristig**].
- Darüber hinaus ist insbesondere die klassische Erzeugung von Funktionsabläufen in Produktionssystemen durch manuelle und iterative Programmierzyklen zu überdenken. Hier können durch die Anwendung und Adaption kognitiver Basistechnologien aus der KI-Welt erhebliche Potenziale für die *Software*-intensive Inbetriebnahme und den Betrieb im Maschinen- und Anlagenbau erschlossen werden [**mittelfristig bis langfristig**].

A 1.2.3 Durchgängigkeit und Werkzeugunterstützung

Aufgrund der zunehmenden Komplexität der interdisziplinären Entwicklung ist eine leistungsfähige Werkzeugunterstützung – auch über Firmengrenzen hinweg – notwendig. Es müssen deshalb die sogenannten *Product Lifecycle Management*-Systeme (PLM) in Bezug auf die *Life-Cycle*-Betrachtungen des Produkts, des Produktionsmittels sowie der beteiligten Prozessabläufe geeignet erweitert und befähigt werden.

- Die zentrale Thematik der **Durchgängigkeit** sollte in Form eines *Big Picture* formalisiert werden. Es ist ein übergreifendes Konzept für einen durchgängigen Informationsfluss zu erstellen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Fertigungstechnologien (diskret und kontinuierlich), Lebenszyklen (Produkt und Produktionssystem), *Stakeholder* (Wertschöpfungsnetzwerk), aber auch Disziplinen, Rollen etc. [**mittelfristig**].
- Tragfähige **Werkzeug-Konzepte** zwecks durchgängiger Unterstützung des integrierten Produkt-, Prozess- und Ressourcen-*Engineerings* sind zu entwickeln. Dies betrifft beispielsweise Integrationsarchitekturen von (*Software*-)Werkzeugen, Datenmodelle und Datenkonsistenz, Kollaborationskonzepte insbesondere bezüglich weltweiter Zusammenarbeit und Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen, skalierbaren Benutzerschnittstellen, Offenheit und Erweiterbarkeit, *Customizing* etc. [**mittelfristig**].
- Aufgrund der Bedeutung der firmenübergreifenden Vernetzung sollte ein **Demonstrator** im Kontext „Logistik" und „*Supply Chain*" geschaffen werden. Hier sollte eine umfangreiche, integrierte *Engineering*-Werkzeugkette zum Einsatz kommen und es sollten Analysen zur Modellbildung einer globalen Funktionsbeschreibung (auf verschiedenen Ebenen der Modellbildung), eine Simulation sowie eine Operationalisierung eines „großen" verteilten und selbststeuernden Systems für Fertigung, Montage und Logistik vorgesehen werden [**langfristig**].
- Durch die Weiterentwicklung im Umfeld der Künstlichen Intelligenz (KI) können in der Produktionstechnik verstärkt kreative **Planungs- und Design-Aufgaben** durch geeignete Methoden und Algorithmen **unterstützt** werden. Diese Verfahren müssen prototypisch evaluiert und anschließend geeignet in *Engineering*-Werkzeuge für den Maschinen- und Anlagenbau integriert werden [**mittelfristig**].
- Durch die verstärkte Abbildung informationstechnischer Modelle mit skalierbarem Inhalt spielt der effiziente Umgang mit **großen Datenmengen (*Big Data*)** in der Entwicklung von Produkten und der zugehörigen Produktionssysteme eine wichtige

Rolle, was auch die während der Produktion eines Produktionssystems anfallenden Daten betrifft. Hierzu sind geeignete Konzepte, Werkzeuge und Algorithmen zu entwickeln [**mittelfristig bis langfristig**].

A 1.3 Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme

Hier sind Forschungsempfehlungen adressiert, um Produktionssysteme unter Nutzung von CPPS flexibel und rekonfigurierbar zu gestalten.

A 1.3.1 Produktionsrelevante Entwicklung lokal oder global vernetzter und echtzeitfähiger Sensoren / Aktoren

Durch CPPS ist eine signifikante Steigerung des Einsatzes von zusätzlicher Sensorik aber auch neuer Aktorik in Produktionssystemen zu erwarten. Die damit verbundenen Herausforderungen sind sowohl wirtschaftlich als auch algorithmisch und informationstechnisch zu lösen.

- Forschungsbestrebungen in Bezug auf eine **Ad-hoc-Verteilung und -Vernetzung von Sensorik** müssen initiiert werden. Dabei sollte unter anderem die Eigenparametrierung und -diagnose durch die Erkennung von kontextbehafteten Zusammenhängen im Vordergrund der Betrachtungen stehen. Außerdem ist die Untersuchung einer bildgestützten Auswertung in der Produktion zu forcieren [**mittelfristig**].
- Ein weiterer Schwerpunkt sollte die systematische **Bestimmung von Lebensdauermodellen** und die damit einhergehende Dynamisierung von Modellen der Simulation auf Basis von Messungen in der realen Produktion bilden. Dies gilt sowohl für eine Komponente eines CPPS als auch für eine Ansammlung von Komponenten eines CPPS im Kontext eines smarten Produktionssystems [**mittelfristig**].
- *Software*-seitig müssen neben der Informationserfassung durch Sensoren insbesondere **Algorithmen und Methoden zur Informationsfilterung und -aufbereitung beziehungsweise zur intelligenten Verarbeitung** (Fusion) und deren explizite Einbettung in standardisierte *Frameworks* entworfen werden. Dabei ist insbesondere die Einbringung erprobter Methoden der Künstlichen Intelligenz in die industrielle Automatisierungstechnik erforderlich zwecks Auswertung einer Vielzahl skalarer und komplexer Sensoren und ihrer Verdichtung zu höherwertigen Aussagen [**mittelfristig**].
- Bezogen auf den kooperativen Arbeitsaspekt sollte auch die aktuatorisch unterstützte Assistenz der Beschäftigten im Vordergrund stehen. Hier könnte die anwendungsorientierte Forschung zu einer **neuen Generation von Leichtbau-Robotern** führen. Diese ermöglichen beispielsweise, dass Fachkräfte gefahrlos arbeiten und Roboter als „Dienstleister“ unter der Leitung der Beschäftigten zusätzliche dynamisch adressierbare Hilfen anbieten. Dabei wird ein menschenähnliches Reaktionsverhalten gefordert, um eine enge Zusammenarbeit als robuster Assistent zu gewährleisten [**mittelfristig**].

A 1.3.2 Modularisierung und Wiederverwendung

Flexibilität und Rekonfigurierbarkeit von CPPS können nur erreicht werden, wenn den Produktionssystemen, die heute Unikate sind, zukünftig eine stringente Modularisierung zugrunde liegt und daraus eine systematische Wiederverwendung resultiert. Entscheidend ist, dass auch bei der Modularisierung und Wiederverwendung die Interdisziplinarität ein führendes Architekturprinzip ist.

- Wichtig ist in diesem Zusammenhang, disziplinübergreifend eine Bestandsaufnahme und damit einhergehende **Begriffsklärung** im Hinblick auf Modularität und Wiederverwendung durchzuführen. In den verschiedenen Disziplinen gibt es vielfältige disziplinspezifische Konzepte (Plattformen, Produktlinien, Baukästen etc.), die aber weder begrifflich noch konzeptionell disziplinübergreifend kompatibel sind. In diesem Prozess müssen im Hinblick auf die Klassifizierung und die während der Nutzung angestrebte Wandelbarkeit beziehungsweise Rekonfiguration alle Konzepte möglichst breit berücksichtigt werden. Die Ergebnisse sollten in geeigneten Richtlinien dokumentiert werden, aber auch in die Lehre einfließen [**mittelfristig**].

- **Konzepte, Methoden und Richtlinien** (im Sinne von Empfehlungen) zur Modularisierung sind zu erarbeiten. Neben einer Systematisierung und Typisierung sind Kriterien notwendig, um Modularisierungs- und Wiederverwendungskonzepte qualitativ, quantitativ sowie technisch als auch betriebswirtschaftlich zu bewerten. Flankierend dazu sollten *Best Practices* gesammelt und Erfahrungsaustausche angestoßen werden [**mittelfristig**].
- Unter dem Gesichtspunkt der Automatisierung von Produktionsanlagen hat das Thema der **Dezentralisierung** eine besondere Bedeutung. Es ist wichtig zu verstehen, wo in einem konkreten Fall das „Optimium" einer Dezentralisierung aus technischer und betriebswirtschaftlicher Sicht liegt. Übergeordnetes Ziel ist eine Interoperabilität zwischen unterschiedlichen beziehungsweise heterogenen *Engineering*- und Steuerungssystemen beziehungsweise kontinuierlichen und diskreten Regelungssystemen, wobei sich die Abhängigkeiten zur Laufzeit dynamisch verändern können [**mittelfristig**].
- Die Konzepte und Methoden sind in **praxisrelevanten Anwendungsfällen zu erproben**, um so einen *Proof of Concept* zu erbringen [**mittelfristig**].

A 1.3.3 Intelligenz, Flexibilität und Wandlungsfähigkeit

Rekonfigurierbarkeit und Wandlungsfähigkeit erfordern, die im Folgenden spezifizierte Intelligenz eines Produktionssystems auf einer „höheren (Modell-)Ebene" zu betrachten. Um die damit verbundenen Potenziale zu heben und diese Aspekte in der Praxis einsetzen zu können, müssen sie zunächst verstanden, dann angewandt und schließlich beherrscht werden.

- Neben den Potenzialen zukünftiger flexibler und wandlungsfähiger Produktionssysteme sind die genauen **Anforderungen** an zukunftsweisende, wandelbare CPPS, **einschließlich der Treiber**, auch ganzheitlich zu ermitteln und zu bewerten. Aus dieser Bewertung sind die treibenden architekturellen Merkmale wandelbarer CPPS in einer ganzheitlichen Sicht zu ermitteln [**mittelfristig**].
- Flankierend zu einer systematischen Anforderungserhebung sind ausgewählte **Prototypen, Pilotanwendungen und Fallbeispiele** zu erstellen und zu bearbeiten, um frühzeitig ein Feedback aus der Praxis in die Weiterentwicklung der Methoden und Technologien einfließen zu lassen [mittelfristig].
- Flexibilität und Wandelbarkeit erfordern aus der IKT angepasste beziehungsweise neue **Methoden, Konzepte und Beschreibungsmittel** in Form intelligenter Anlagen(fähigkeits-)beschreibungen, um flexibel die Vorgabe von Systemzielen formulieren zu können und dabei die Aspekte Lernfähigkeit und Ad-hoc-Vernetzung sowie *Plug & Produce* zu berücksichtigen [**langfristig**].
- Zudem erfordern Flexibilität und Wandelbarkeit neue **Strategien und Algorithmen**. Dies betrifft optimierte Steuerungsstrategien für wandelbare Produktionssysteme, insbesondere unter den Aspekten der Dezentralisierung, der (Re-)Konfiguration und der Ad-hoc-Vernetzung. Letztendlich muss durch geeignete „Intelligenz" die *End to end-Performance* sichergestellt werden – und zwar nicht nur innerhalb eines Unternehmens, sondern über das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk [**langfristig**].
- Langfristig sind belastbare Antworten darauf notwendig, wie **emergente Gesamteffekte beherrscht** werden können. Es sind die verschiedenen Einflussfaktoren (etwa Komplexität und Dynamik, Selbstorganisation, Kognition, Lernfähigkeit etc.) und Anforderungen (wie Stabilität, Robustheit, Determinismus, Nachvollziehbarkeit, Zertifizierung, *Security* etc.) systematisch zu erfassen und im Hinblick auf mögliche Konsequenzen umfassend zu erforschen [**langfristig**].

A 1.4 Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit

In der durch Industrie 4.0 deutlich stärker vernetzten Welt werden neue und andersartige Anforderungen an den Menschen und sein Arbeitsvermögen gestellt. Dies gilt sowohl für den **kreativen Planungsprozess** im Rahmen der Anforderungserhebung, des Produktdesigns und der Produktentwicklung (virtuelle Welt) als auch für den eher **operativ geprägten Arbeitsprozess** in Produktion und Logistik (reale Welt). Nur wenn die Beschäftigten im Zentrum stehen und in reale Abläufe aktiv und mit systemseitiger, kontextabhängiger Unterstützung eingreifen können, liefern CPPS einen wirkli-

chen Mehrwert. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten sollte daher auf **interdisziplinären Vorhaben** liegen, in denen sich die Systemelemente Produktionstechnologie, *Software*-Architekturen und lernförderliche Arbeitsorganisation an unterschiedliche Ziel- und Beschäftigtengruppen richten werden. Um zu gewährleisten, dass diese umfassenden Ansätze durchgängig und konsistent gestaltet sind, können sie nur **unter Beteiligung eines interdisziplinären Teams** mit Psychologen, Ergonomen, Sozial- und Arbeitswissenschaftlern sowie Medizinern und Designern erfolgreich bearbeitet werden.[8]

A 1.4.1 Dynamische Entwicklung von Mensch und Arbeit im Verlaufe eines längeren Berufslebens

Stand der Forschung ist die Erkenntnis, dass individuelle Produktivität keine Funktion des kalendarischen Alters, sondern der Verbleibdauer eines Beschäftigten auf einer Position sowie der Gestaltung seiner Arbeit und des Arbeitsumfelds ist. Um Produktivität in einem längeren Arbeitsleben zu erhalten und zu steigern, müssen deshalb viele betriebliche Bereiche verzahnt und transformiert werden: Gesundheitsmanagement und Arbeitsorganisation, lebenslanges Lernen und Laufbahnmodelle, Teamzusammensetzungen, Wissensmanagment, aber auch inner- und außerbetrieblicher Erfahrungsaustausch. Ein nachhaltiger Wandel kann zudem von unterschiedlichen Voraussetzungen etwa der Zusammenarbeit zwischen Betrieben, Weiterbildungseinrichtungen, Gesundheitsdienstleistern etc. und innerhalb von Regionen abhängen. Hinsichtlich der dynamischen Entwicklung von Mensch und Arbeit im Laufe eines längeren Berufslebens sollten daher die folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

- Die Untersuchung und Weiterentwicklung von Ansätzen zur Verbesserung der Abstimmung und Interaktion von Personalmanagement und Arbeitsorganisation [**mittel- bis langfristig**].
- Statt in Forschungsvorhaben Lebensphasen einzeln zu betrachten, muss Arbeit in ihrer Dynamik im längsschnittlichen Verlauf analysiert werden. Ziel sollte nicht die Entwicklung altersgerechter Arbeitsplätze, sondern die Gestaltung lebensgerechter Tätigkeitsverläufe sein [**mittel- bis langfristig**].
- Ein Perspektivwechsel ist in der Forschung erforderlich: weg von der Vermeidung und der Abhilfe eingeschränkter Produktivität der Beschäftigten hin zum Aufbau von Ressourcen und positiver Plastizität.
- Das klassische Konzept des Berufs muss im Kontext der Innovation durch CPS und den demografischen Wandel durch systematische Forschung auf den Prüfstand gestellt werden.
- Qualifizierung ist ein Mittel, um auf einen schrumpfenden Arbeitsmarkt und die hohe Volatilität der Märkte zu reagieren. Die Entwicklung professioneller Erwachsenenbildung (Didaktiken, Berufsbild) ist dazu ein wesentlicher Schritt [**mittel- bis langfristig**].
- Forschungsbedarf besteht zu empirischen Formen und Erfolgsbedingungen gleichberechtigter interdisziplinärer Kooperation oder des Austauschs zwischen den in der Produktion relevanten Disziplinen [**mittelfristig**].
- Es fehlt bisher oft an Möglichkeiten, im Zuge von Forschungsvorhaben in betrieblichen „Echtzeit-Laboren“ Interventionen längsschnittlich zu testen [**mittelfristig**].
- Entwickelt werden sollte ferner eine Plattform, die die Vielzahl wissenschaftlicher Ergebnisse zusammenbringt und den Unternehmen dadurch Gestaltungsimpulse gibt; zugleich müsste insbesondere für KMU eine besondere Infrastruktur vorgehalten werden, die sowohl Wissen bereitstellt und aufbereitet als auch als Instrument für die Qualifizierung von Mitarbeitern und Tätigkeitswechsel genutzt werden kann [**langfristig**].

Das Erarbeiten von Standards und ihre Vereinheitlichung betreffen nicht nur Technologien und Produktion, sondern auch Arbeitsprozesse, modernen Arbeitsschutz und Weiterbildung. Dabei ist nicht nur im klassischen Sinne an Prävention von Erkrankungen durch gefährliche Stoffe, ungesunde Arbeitshaltung und dergleichen zu denken, sondern an eine allgemeine geistige und körperliche Abnutzung, die durch überlangen Verbleib in ein und derselben Tätigkeit entsteht. Bei der Entwicklung solcher tätigkeits- und branchenbezogener Standards zur Erfassung und Vermeidung

von Überlastung einerseits und zum Abgleich von individuellen Ressourcen / Leistungsprofilen sowie beruflichen Anforderungen andererseits sollte an die Erfahrung der Arbeitsmedizin, der Arbeitswissenschaft, der Personalentwickler und Betriebsärzte / Berufsgenossenschaften / Kassen und Sozialversicherungsträger angeknüpft werden. In Entwicklung und Umsetzung sind alle geeigneten Ebenen, wie rechtliche Normierung, Betriebsvereinbarungen, Tarifverträge denkbar.

A 1.4.2 Kreative Planungsprozesse in der digitalen Welt effizient gestalten

Die Komplexität in flexiblen, wandelbaren und vermehrt situationsabhängig parametrierbaren Produktionssystemen muss mittelfristig für den „Modellersteller und -transformator" Mensch aufbereitet und adäquat skaliert werden. Die Beschäftigten sind somit an unterschiedlichen Stellen und auf unterschiedlichen Ebenen Teil des Wertschöpfungsnetzes, sodass der typische Industrie 4.0-Arbeitsplatz nicht nur in diesem Punkt künftig individuell anpassbar gestaltet werden muss. Der kreative Planer oder Entwickler muss zunehmend die Komplexität variantenreicher Produktprogramme auch disziplinübergreifend erfassen und Zulieferungen von Komponentenherstellern im Entwicklungsprozess anforderungsgerecht orchestrieren. Damit wird beispielsweise verhindert, dass eine Veränderung in einer Disziplin erst im Rahmen der Inbetriebnahme in einer weiteren Disziplin (zum Beispiel Montage) identifiziert wird. Durch vorgelagerte Simulationsuntersuchungen kann darüber hinaus verhindert werden, dass die Zielgrößen des (Gesamt-)Systems im Anwendungskontext nicht erfüllt werden können. Die Beherrschung solch disziplinübergreifender und komplexer *Software*-Systeme beziehungsweise -plattformen setzt insbesondere im Industrie 4.0-Umfeld voraus, dass zunehmend Initiativen im Bereich professioneller Erwachsenenbildung (zum Beispiel durch neue Berufsbilder, Didaktiken usw.) gefördert werden.

Neben der Entwicklung sollte auch in der Produktion und im *Service* darauf geachtet werden, dass die Kommunikation unter den Beschäftigten gefördert wird und Arbeitsunterstützung, Lernaufgaben sowie physisches Training in sinnvollen Intervallen in den Arbeitsalltag integriert werden. Zudem muss auch für alle Berufsgruppen Rücksicht auf die Arbeitsplatzergonomie und Belastbarkeit der Beschäftigten genommen werden. In Summe leitet sich langfristig ein Methodenbedarf zur Beherrschung der Komplexität ab, wobei die Modularität, die Filterung und Überschaubarkeit wichtige Hebel dafür sein können.

- Eine effiziente und nutzerfreundliche Bereitstellung von Informationen in der Entwurfs- und Entwicklungsphase sowie im Produktionsumfeld sollte die Modellkomplexität vor dem Anwender verbergen sowie intuitiv, situationsbezogen und anwendungsgerecht sein. Hier sollten Aspekte des ***Data-Mining***, der ***Workflow*-Unterstützung**, des ***Knowledge based Engineerings*** einschließlich erweiterter **Auswertungen für Entwickler, Berater und Ingenieure** wissenschaftlich begleitet untersucht werden [**mittel- bis langfristig**].
- Auch bei dynamischen, Ad-hoc- oder nicht nachvollziehbaren Veränderungen in einer automatisierten Produktion muss gewährleistet sein, dass dennoch eine adäquate technische und gegebenenfalls multimodale Unterstützung durch CPPS während der Inbetriebnahme, der Produktion oder im Servicefall vorhanden ist. Dazu müssen in Industrie 4.0 verstärkt **vollständige PLM- und Informationsmodelle untersucht und erweitert** werden. Diese Modellerweiterungen beziehen sich insbesondere auf die direkte Verknüpfung der Disziplinen wie beispielsweise Mechanik, Elektronik, Elektro-, *Software*-Technik etc. [**mittel- bis langfristig**].
- Zudem fehlen in vielfältigen Bereichen des Produktionsumfeldes **Möglichkeiten, die Erfahrungen und das Wissen der Beschäftigten aus dem operativen Umfeld in der Produktion in die Entwicklungsprozesse und -werkzeuge** einfließen zu lassen. Zur Optimierung des Gesamtprozesses sowie zur Unterstützung des situationsabhängigen lebenslangen Lernens in allen Bereichen des Unternehmens sollte diesem Aspekt ebenfalls ein besonderes Augenmerk gelten [**langfristig**].
- Darüber hinaus ist eine Erweiterung und **Erneuerung klassischer Lernmethoden und Methoden der Wissensrepräsentation** sinnvoll, da ein sich ständig änderndes Arbeitsumfeld vermutlich

überfordert und Änderungen bereits vorliegen, bevor der eigentliche Lern- und Lehrprozesszyklus abgeschlossen ist [**mittel- bis langfristig**].

A 1.4.3 Operative Arbeitsprozesse in der realen Welt beschäftigtenorientiert gestalten

Der Mensch steht im künftigen *smarten* Produktionssystem im Mittelpunkt und die Technik soll seine kognitive und physische Leistungsfähigkeit durch die richtige Balance von Unterstützung und Herausforderung fördern – insbesondere im Hinblick auf die industriellen Assistenzsysteme, die Mensch-Technik-Kooperation sowie Aspekte der Qualifizierung.

- Kommt es zu ad hoc nicht nachvollziehbaren Veränderungen in einer automatisierten Produktion, sollte neben der beschriebenen Kontextgenerierung auch eine adäquate Informationspräsentation durch CPPS während der Inbetriebnahme, der Produktion oder im Servicefall auf multimodalen Endgeräten erfolgen.
  Fachkräfte sollten **durch tragbare Sensorik, Aktuatorik** und (in die Berufskleidung) eingebettete Systeme unterstützt werden. Diese sollen **zu einer Erhöhung der Leistungs- und Ausdauerfähigkeit** beitragen. Hierzu sind zudem neuartige multimodale Benutzerschnittstellen erforderlich, die einerseits den Aufgabenkontext beschreiben, gleichzeitig aber auch adaptiven Privatsphärenschutz unterstützen [**mittel- bis langfristig**].
- Eine (Weiter-)**Entwicklung von** (arbeitswissenschaftlichen) **Ansätzen zur Erforschung der gesundheitlichen Belastungen**, die von veränderten Mensch-Technik-System-Kooperationen und Sensornetzwerken (einschließlich des Beschäftigten) ausgehen, sollte ebenfalls Bestandteil einer umfassenden Forschungsaktivität sein. Differenziert nach Beschäftigtengruppen (vom Vertrieb über den Ingenieur bis zu den Produktionsbeschäftigten) sollen reale gesundheitliche Folgen im Rahmen von Piloten (Gefährdungsanalysen) erfasst werden. Notwendig werden daher Arbeiten zur Entwicklung von technisch-organisatorisch fundierten Ergonomiekonzepten, die den besonderen Anforderungen der fortschreitenden Verschmelzung realer und virtueller Arbeitswelten für alle Beschäftigtengruppen Rechnung tragen [**mittel- bis langfristig**].
- Die beispielsweise in der Servicerobotik bereits prototypisch vorhandenen mobilen Plattformen sind für den Einsatzfall im Produktionsumfeld in der Regel nicht hinreichend robust oder es sind gravierende Einschränkungen bei der Produktivität zu erwarten. **Eine vom Roboter unterstützte kooperative Arbeit in einem Arbeitsraum ist** – nicht zuletzt aufgrund des Gefahrenpotenzials – somit derzeit **in vielen Bereichen nicht praktikabel**. Hier gilt es, weitere Forschungsanstrengungen mit dem Fokus auf einer wirtschaftlichen Nutzung im Produktionsumfeld zu fördern [**mittelfristig**].

A 1.4.4 Innovative multimodale industrielle Assistenzsysteme erforschen

In der künftigen Smart Factory werden neuartige Formen für die kollaborative Fabrikarbeit, gestützt durch intelligente 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 *Smart Factories*) werden **partielle und kollaborative Teleoperationen** von hochkomplexen Komponenten, etwa bei der Fehlersuche, ermöglicht. Hierfür müssen neue CPS-orientierte Systeme auf Basis erweiterter und dualer Realität erforscht werden [**mittelfristig**].
- Die Umsetzung von Industrie 4.0 führt innerhalb der *Smart Factory* zu neuem kollaborativen und kooperativen Verhalten zwischen den Beschäftigten. Hier sind etwa **neue Kooperationsformen unter Fachkräften** mithilfe von für die Arbeit in *Smart Factories* **angepassten sozialen Netzwerken und sozialen Medien zu erforschen**, um beispielsweise für höhere Arbeitszufriedenheit, den notwendigen kontinuierlichen **Wissenstransfer**, die **Unterstützung der Teamarbeit** und die Optimierung der Arbeitsabläufe zu sorgen. Ergänzt wird dies durch die Entwicklung von Arbeitsprozessen / Arbeitssystemen, die die Integration solcher Kooperationsformen erlauben [**mittelfristig**].

- Um der Heterogenität der Belegschaft Rechnung zu tragen, müssen personalisierte und auf spezielle Zielgruppen leicht adaptierbare Interaktionssysteme entwickelt werden, die dem Einzelnen mehr Abwechslung und Freude an der Arbeit bei gleichzeitig höherer Effizienz erlauben [**mittelfristig**].
- Um eine konsistente Prozessplanung und ein Monitoring laufender Produktionsvorgänge mit optimierter Ergonomie ermöglichen zu können, müssen im Kontext von Industrie 4.0 neue Ansätzen zur **Integration virtueller Menschmodelle zur Unterstützung der Simulation maschineller Produktionsabläufe** untersucht werden [**mittel- bis langfristig**].

Arbeiten in einem ständig veränderten Arbeitsumfeld mit immer komplexeren Werkzeugen und Assistenzsystemen führt zu extrem hohen Anforderungen an Fähigkeiten und Wissen der beteiligten Produktionsressourcen sowie das Arbeitsvermögen der Beschäftigten.

A 1.4.5 Beschäftigungsfolgen und Akzeptanz(-probleme) erforschen

Durch die Einführung und Erweiterung heutiger Systeme zur Mensch-Technik-Interaktion wird es aller Voraussicht nach zu maßgeblichen Veränderungen zukünftiger Industriearbeit kommen, die sich in ihren Ausmaßen und Effekten für Produktions- und industrielle Dienstleistungstätigkeiten derzeit noch nicht prognostizieren lassen. Von daher sind quantitative Beschäftigungsfolgen sowie die grundsätzliche Akzeptanz zu erforschen:

- **Akzeptanzanalyse:** Es gilt, eine Trendberichterstattung zum Umsetzungsstand von Industrie 4.0 aufzubauen, und hemmende und förderliche Aspekte der Umsetzung von Industrie 4.0 (einschließlich Qualifikations-, Arbeitszeit-, Leistungs-, Entgeltdimension) sowohl aus Beschäftigten- als auch Unternehmenssicht qualitativ und quantitativ zu erfassen [**mittelfristig**].
- **Quantitative Analyse von Beschäftigungsfolgen:** Zusätzlich müssen die quantitativen Beschäftigungseffekte, die sich aus der Umsetzung von Industrie 4.0 ergeben, differenziert nach Branchen, Beschäftigtengruppen und Tätigkeitsspektrum prospektiv abgeschätzt werden [**mittelfristig**].

A 1.4.6 Qualifizierung für alle Beschäftigtengruppen sicherstellen

Neue Arbeits- und Lernmethoden, Arbeitsabläufe, Verschiebungen in Altersstrukturen der Beschäftigten sowie signifikant veränderte Mensch-Technik-Interaktionen führen zu einem Qualifizierungsbedarf in allen Bereichen des Unternehmens.

- **Förderung digitaler Lerntechniken:** Digitalen Medien und innovativen Lerntechnologien muss eine herausragende Rolle in der Wissensvermittlung und Kompetenzentwicklung zukommen – auch, um die immer knapper werdende Zahl der Mitarbeiter möglichst wenig zur Ausbildung aus den Unternehmen zu reißen [**mittelfristig**].
- Der **Bedarf von Qualifikationen und Kompetenzen** differenziert nach Beschäftigtengruppen (Angelernte, Facharbeiter, Techniker, Ingenieure) muss **qualitativ erfasst** werden [**mittelfristig**].
- Arbeitsplatznahe Formen des Qualifizierungs- und Kompetenzerwerbs müssen auf Basis der Bedarfsanalysen – unter Einbezug und **Weiterentwicklung digitaler Lerntechniken** – erforscht und entwickelt werden [**mittelfristig**].

A 1.5 Technologie Cyber-Physical Production Systems (CPPS)

Heutige Informations- und Kommunikationstechnologien in der Produktionstechnik sind auf eine Fabrik (oder eine Fertigungslinie) innerhalb eines Unternehmens hinsichtlich der Kosten und der Effizienz optimiert. Aufgrund heterogener Anlagentechnik mit Steuerungs-architekturen unterschiedlichster Hersteller für die automatisierte Produktion in Verbindung mit manuellen Arbeitsprozessen – wie etwa für die Komponenten- und Systemmontage – bieten heutige Produktionssysteme nur eine signifikant eingeschränkte Anzahl von Schnittstellen an. Diese liefern wiederum eine noch geringere Anzahl informationstechnisch beeinflussbarer Optimierungskriterien für die Produktionsplanung. Zu-

dem bringt die starke Informationskapselung auf den unterschiedlichen Ebenen der Produktion weitere Nachteile mit sich (s. ausführlich Kap. 5.2).
Um dennoch ein lokales Optimum des wirtschaftlichen Betriebs zu erreichen, wurden in der Vergangenheit viele Forschungen zur Entkopplung voneinander abhängiger einzelner Herstellungsprozesse durchgeführt. Insgesamt bildeten Aspekte der Organisationsentwicklung – wie beispielsweise *Lean Production* oder *Lean Innovation* – die Basis für die heute bekannten unternehmensspezifischen Produktionssysteme (Toyota-, Bosch-, Siemens-Produktionssystem etc.).
Technologisch konnten in der Vergangenheit aufgrund **fehlender Vernetzungsmöglichkeiten** und **fehlender angepasster IKT-Basistechnologien in der Produktion** diskutierte Konzepte des *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) nicht industrialisiert werden. Kürzere Lebenszyklen vermarktungsfähiger Produkte und die vielfach im Einzelunternehmen bereits vorhandene Vernetzung in der gesamten *Supply Chain* führen allerdings erneut zu nicht ausgewogenen Auftragseingängen, Beständen oder aber einer nicht „getakteten" Produktion. Dadurch ist der Versuch, ein Gesamtoptimum über Unternehmensgrenzen hinaus zu erzielen, aufgrund fehlender technologischer Lösungen sowie Standardisierungen heute mit vielen Unsicherheiten verbunden. Darüber hinaus sind Anforderungen wie eine firmenübergreifende Vernetzung von Fertigung, Agilität und Flexibilität bezüglich Fertigungsänderungen wegen nicht vorhandener Daten- und Prozessdurchgängigkeit in den unterschiedlichen Ebenen der Produktion nur in aufwändigen manuellen Änderungsprojekten möglich. Das führt typischerweise zu längerem Produktionsstillstand und hohen Umstellungskosten.
An dieser Stelle setzt das Potenzial von CPPS im Rahmen von Industrie 4.0 an.

A 1.5.1 Basistechnologien der IKT ertüchtigen für die Automatisierungstechnik

Die Informatik hält viele Basistechnologien bereit, die für einen unmittelbaren Einsatz in der Automatisierungs- beziehungsweise Produktionstechnik konzeptionell überdacht und weiterentwickelt werden müssten. Von besonderer Bedeutung für Industrie 4.0 ist jedoch die Gesamtintegration und Synthese dieser Basistechnologien, um beispielsweise durch intelligente Sensorik und Informationstechnologie die Orchestrierung hochgradig verteilter IT- und Produktionssysteme sicherzustellen. Methoden und Ansätze zur Synthese vorhandener Technologien und für den Transfer in das Produktionsumfeld sind noch nicht in ausreichendem Maße erarbeitet. Zudem fehlen derzeit valide Konzepte, Methoden und insbesondere Werkzeuge, um disziplinübergreifende produktionstechnische Modelle schnell zu erfassen und auf dieser Basis produktionsrelevante Entscheidungen zu treffen. Aus diesem Grund erachtet der Arbeitskreis Industrie 4.0 die folgenden konsolidierten Forschungsempfehlungen als zentral:

- **Zum Zeitpunkt der Anforderungsaufnahme:** Das in der Informatik im Rahmen der Produktentwicklung und zur gezielten Aufnahme von Anforderungen etablierte ***Requirement Engineering*** ist für den Maschinen- und Anlagenbau nicht ausreichend. Werden Anforderungen für den Aufbau von Produktbaukästen verwendet, so liegen auch hier keine unmittelbar übertragbaren Ansätze aus der IKT vor. Die zur Bildung von Produktfamilien in der *Software* verwendeten Konzepte müssten ebenfalls auf den disziplinübergreifenden Entwurf im Maschinen- und Anlagenbau übertragen werden[9] **[langfristig]**.
- **Zum Zeitpunkt der Planung:** Für die iterative Planung von Produkt und Produktionssystem in den diversen Disziplinen mit unterschiedlichen Mitarbeiterfähigkeiten und -kompetenzen wird eine beschreibende sowie unterstützende Architektur für Industrie 4.0 benötigt. Die dazu erforderlichen statischen und dynamischen Modelle können technisch beispielsweise in einer Ontologie abgebildet werden. Hinsichtlich einer industriellen Anwendung in Industrie 4.0 bleibt allerdings bislang offen, wie die **Auswertungsmöglichkeiten einer umfangreichen Ontologie eines Produktionssystems** beispielsweise für eine Optimierung signifikant beschleunigt werden können **[langfristig]**.
- **Zum Zeitpunkt der Ausführung in der Produktion:** Für die Produktion in einem kooperierenden und dezentralen Netzwerk von Fertigungseinrichtungen unterschiedlicher Firmen wird eine **verteilte dienstorientierte Architektur** (*service*-orientierte

Architektur, SOA) benötigt, die *Enterprise Resource Planning* (ERP), Fertigung und Logistik über definierte Services und eine offene Datenbasis verknüpft [**langfristig**].

- **Zum Zeitpunkt der Ausführung in der Produktion:** Die Entwicklung hochzuverlässiger **Funkkommunikation** für industrielle Umgebungen sollte in industrienaher Forschung und **Entwicklung der Telekommunikationsfirmen** in IKT angegangen werden [**mittelfristig**].
- **Übergreifende Betrachtung von Planung und Betrieb:** In der produktionstechnischen Forschung sind **Methoden zur kontinuierlichen Echtzeit-Simulation und Visualisierung über alle Ebenen und Firmengrenzen** hinweg zu erarbeiten (*Simulation and Monitoring of Services and Things*) [**mittelfristig**].
- **Informationsaustausch mit automatisierten *Workflows*:** Neben einem operativen ausgerichteten Informationsaustausch innerhalb einer Disziplin oder über disziplinspezifische Grenzen hinaus (Vertrieb, Entwicklung, Produktion, Service usw.) müssen für Industrie 4.0 in der *Supply Chain* unternehmensübergreifende Basisfunktionalitäten eines *Product Life Cycle Management*-Systems bereitgestellt und weiterentwickelt werden. Dazu zählen im Wesentlichen **für die Produktionstechnik anzupassende Managementsysteme** aus den Bereichen Prozess Management, *Rules Management* etc. [**mittelfristig**].
- **Automatisierter und sicherer Informationsaustausch:** Entwicklung **standardisierter Wissensmodelle und Zugriffsmethoden**, die Umfang, Vertraulichkeit, Gültigkeitsdauer, **Zugriffsrechte und Datenschutz** von Prozessinformationen definieren und langfristig sicherstellen [**langfristig**].
- **Sicherer, schneller und nachhaltiger Informationsaustausch:** Im Gegensatz zur *Security* in klassischen IT-Systemen, für die bereits eine Vielzahl von Lösungsansätzen und Produkte existieren, sind heutige Produktionssysteme nur vergleichsweise schwach oder zumeist gar nicht abgesichert. Es sind daher IT-*Security*-Methoden und -Systeme neu zu entwickeln oder so zu überdenken, dass sie den industriellen Anforderungen hinsichtlich **Prozessumfeld, Realzeitverhalten, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit** genügen. *Security*-Konzepte für klassische IT-Systeme, *Cloud-Services* und *Industrial IT* müssen kompatibel und integrierbar sein, um ganzheitliche, system- und unternehmensübergreifende *Security*-Lösungen realisieren zu können (s. auch Kap. 5.4) [**mittelfristig**].

A 1.5.2 Referenzarchitekturen als Erfolgsinfrastruktur der Zukunft

Aufgrund der vielfältigen Erfordernisse sowohl Modellierungssprachen, -techniken als auch -plattformen für den Einsatz in der Produktionstechnik tauglich zu gestalten, rücken vermehrt Standardisierungsbemühungen in den Vordergrund der Betrachtungen. Zudem erfordert die Erreichung von Skaleneffekten in CPPS einerseits die Entwicklung von modularisierten *smarten* Produktionssystemen, die mit CPS interagieren, sowie andererseits mittelfristig die Bereitstellung von Produktionsdiensten, die zwangsläufig auf eine exemplarische – und für den Anwendungsfall sinnvolle – Referenzarchitektur zurückgreifen.

Was versteht man unter einer Referenzarchitektur?
Man spricht von einer Referenzarchitektur, wenn es sich um ein generisches Muster – also eine idealtypische Modellausprägung – für die Klasse der zu modellierenden Systeme und deren Architektur handelt. Um hochgradig verteilte Systeme umzusetzen, bedarf es (als Teil der Referenzarchitektur) einer geeigneten produktionstechnischen Serviceplattform. Sie muss bestimmte Funktionalitäten bieten, um mit den verschiedenen und möglicherweise verteilten Teilnehmern des Gesamtsystems zu interagieren. Mithilfe solcher Plattformen lassen sich regelbasierte, dynamische und selbststeuernde Anwendungen entwickeln, die neben einem umfassenden Ereignis- und Situationsmanagement alle Funktionen zur Verfügung stellen, um ein *smartes* Produktionssystem entstehen zu lassen.
Vorgaben für Referenzarchitekturen ergeben sich unter anderem aus SOA-Konzepten. Nach OASIS ist SOA ein Paradigma für die Strukturierung und Nutzung verteilter Funktionalität, die von unterschiedlichen Besitzern verantwortet wird.[10] Das SOA-Para-

digma baut darauf auf, dass technische Elemente der Anwendungsentwicklung (zum Beispiel Programmcode, Datenbankschemas und -abfragen, Konfigurationsdateien) zu höherwertigen, fachlich orientierten Komponenten zusammengefasst werden. Diese fachlichen SOA-Komponenten bieten Dienste an, die beispielsweise als Grundlage für die Automatisierung von Prozessabläufen dienen können. Sogenannte *Composite Applications* fassen mehrere fachliche SOA-Komponenten mittels der sogenannten *Service*-Orchestrierung zu neuen Applikationen zusammen. Die Fachverbände sollten zur Schaffung und Durchsetzung einer Referenzarchitektur Industrie 4.0 aktiv eingebunden werden.

Beispiel für die Automobilindustrie – Autosar

*Autosar (AUTomotive Open System ARchitekTecture) stellt ein mögliches Ausprägungskonzept einer Referenzarchitektur dar, das in Teilbereichen bereits Einzug in die automobile Produktentwicklung gehalten hat. Hierbei besteht die grundsätzliche Möglichkeit, Applikationen und Funktionen zwischen unterschiedlichen Steuergeräten flexibel zu verschieben. Darüber hinaus begleitet abschließend eine Simulation die Konfiguration eines gewählten Netzwerkes. Die so durchgeführte generische Planung von Softwarecode ohne direkten Bezug auf die **Hardware**-Zielplattformen stellt die eigentliche Revolution des Konzepts dar.*

Allerdings müssen auch bei dieser Referenzarchitektur weitere signifikante Forschungsanstrengungen durchgeführt werden, bevor das Konzept vollständig umgesetzt ist. Ein Versuch, die grundlegenden Gedanken und Konzepte auf die Bedarfe des Maschinenbaus und der Automatisierungstechnik anzupassen und weiterzuentwickeln, wird im Zuge von Industrie 4.0 und möglichen Standardisierungsbemühungen dringend empfohlen. Da im Umfeld der Produktion zudem andere Wertschöpfungsstrukturen etabliert sind und andere Produktlebenszyklen als in der automobilen Produktentwicklung wirken, ergibt sich darüber hinaus ein Forschungsbedarf auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen.

Forschungsbedarf Referenzarchitektur

- Die **Erarbeitung von Referenzarchitekturen** für unterschiedliche Anwendungsfälle in Industrie 4.0 ist Aufgabe einer Forschungsausschreibung. Die Forschung für Logistik-, Maschinen- und Fertigungsprozesse sollte zukünftig auf Basis solcher Referenzarchitekturen Lösungen erarbeiten und über Standardisierungsbemühungen Innovationen schneller zu den Firmen in die Märkte transportieren können [**mittelfristig**].
- Zur Unterstützung der Wandlungsfähigkeit und zur Flexibilisierung im Anlagenbetrieb wird ein **umsetzungsnahes Konzept** benötigt, das entsprechende heterogene Echtzeitanwendungen und Steuerungen orchestriert. Bei der Betrachtung einer einzelnen Maschine oder Anlage auf der Zellenebene könnte eine beispielsweise aus der Automatisierungstechnik entstandene Basistechnologie OPC-UA[12] aufgesetzt werden. Hierbei sind neben *software*-technischen Basisentwicklungen auch weitergehende *Hardware*-Entwicklungen der Steuerungshersteller erforderlich [**mittelfristig**].
- Um die oben erwähnte starke Informationskapselung zu überwinden, muss für die Referenzarchitektur ein übergreifender, ganzheitlicher Ansatz gefunden werden, der die **Erfordernisse auf den unterschiedlichen Ebenen der Produktion berücksichtigt**. *Enterprise Resource Planning, Manufacturing Execution System*, Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS, PLC) und die Zellenebene bis hin zur Sensor- / Aktorebene als *Field Control Level* müssen sich dort einordnen lassen [**mittelfristig**].
- Um Industrie 4.0 aus diesen Einzelanwendungen heraus, auch losgelöst von bereits existierenden Ansätzen einer Referenzarchitektur, auf einer abstrakteren wissenschaftlichen Ebene mit potenziellen Anwendern zu diskutieren, sollte zudem ein mögliches **Metamodell einer Referenzarchitektur** in einem Kompetenzzentrum, vergleichbar einem Fachausschuss diskutiert und entwickelt werden [**langfristig**].
- Die Definition von „**Basisdiensten**“ für eine (standardisierte) Kommunikation mit einer austauschba-

ren Informationsplattform gehört weiterhin zu den wichtigen Forschungsthemen. Dabei sollte eine solche Plattform eine bestimmte Funktionalität bieten, um mit den verschiedenen und verteilten Teilnehmern des Gesamtsystems zu interagieren. Mithilfe solcher Plattformen lassen sich regelbasierte, dynamische und selbststeuernde Applikationen entwickeln, die neben einem umfassenden Ereignis- und Situationsmanagement alle Funktionen zur Verfügung stellen, um ein *smartes* Produktionssystem entstehen zu lassen [**mittelfristig**].

- Im Sinne einer *lifecycle*-bezogenen Betrachtung müssen auch die benötigten ***Engineering*-Werkzeuge** als wesentliche Lieferanten von Modellen und Daten auf einer geeigneten Abstraktionsebene in die Referenzarchitektur einbezogen werden [**mittelfristig**].

1 Vgl. Geisberger, Eva / Broy, Manfred: agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.
2 Online unter: virtualfortknox.de.
3 Online unter: autoran.de.
4 Online unter: kapaflexcy.de.
5 Promotorengruppe Sicherheit der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (Hrsg.): Promotorenbericht zum Zukunftsprojekt Sichere Identitäten, Juli 2011. Online unter: forschungsunion.de/pdf/sicherheit_bericht_2012.pdf.
6 S. hierzu auch die Empfehlungen zur Standardisierung in Geisberger, Eva / Broy, Manfred: agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012, S. 31f.
7 S. Geisberger, Eva / Broy, Manfred: Kap. 5.3 Engineering-Konzepte und Kompetenzen, In: Dies. (Hrsg.): agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012, S. 152-169.
8 S. dazu Geisberger, Eva / Broy, Manfred: Kap. 3.3 Mensch-Maschine Interaktion und geteilte Kontrolle, In: Dies. (Hrsg.): agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012, S. 86-92.
9 S. Geisberger, Eva / Broy, Manfred: Kap. 5 Technologie- und Engineering-Herausforderungen, In: Dies. (Hrsg.): agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012, S. 127-173.
10 Organisation for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) (oasis-open.org/standards#soa-rmv1.0)
12 OPC Unified Architecture, kurz OPC UA, ist ein industrielles Kommunikationsprotokoll für Machine to Machine- (M2M-) und PC-to-Machine (P2M) Kommunikation. Die OPC UA unterscheidet sich unter anderem dadurch erheblich von ihren Vorgängern, dass sie Maschinendaten (Prozess-, Messwerte, Parameter etc.) nicht nur transportieren, sondern auch maschinenlesbar semantisch beschreiben kann. Die erste Version wurde im Herbst 2006 verabschiedet, seitdem sind die Teilspezifikationen mehrfach überarbeitet worden. Die jüngsten Änderungen wurden im Februar 2013 vorgenommen.

A 2 Die Use Cases Industrie 4.0

Use Case 1: Resiliente Fabrik (Quelle: Festo)

Resilienz bedeutet Widerstandsfähigkeit, aber auch Agilität, Adaptivität, Redundanz, Dezentralität und Lernfähigkeit. In einer resilienten Fabrik muss ein breites Produktspektrum mit kundenspezifischen Merkmalen bei hochgradig saisonaler Nachfrage produziert werden. Durch eine situative Anpassung der Produktionslinien wird eine *Just-in-time*-Produktion bei optimaler Kapazitätsauslastung erreicht.

Systematisierung der Produktionsprozesse nach Standard- und Spezialmodulen

In einem breiten Produktspektrum mit kundenspezifischen Merkmalen lassen sich gemeinsame Produktkomponenten mit ihren zugehörigen Bearbeitungsschritten identifizieren. Produkte mit gemeinsamen Komponenten können auf einer gemeinsamen Produktionslinie gefertigt werden. Erst im späteren Produktionsprozess werden produktspezifische Produktionsstationen benötigt. Aufgrund des volatilen Produktmixes ist ein hohes Maß an Flexibilität bezüglich der eingesetzten Produktionsstationen erforderlich. Ein modulares Konzept – das verschiedene sich selbst steuernde und konfigurierende Elemente / Produktionsstationen verbindet – ermöglicht die Wandlungsfähigkeit der Produktionslinie bezüglich Reihenfolge, Funktion und Anzahl der eingesetzten Produktionsmodule. Modularität und die Fähigkeit zur Selbstkonfiguration beziehen sich dabei auch auf die über alle Ebenen integrierte *Software*.

Automatisierte Rekonfiguration in Abhängigkeit der Aufträge

Konkret simuliert das modulare Konzept auf Basis einer *feature*-orientierten Beschreibung der Produkte und der Fähigkeiten der Produktionsmodule die aktuelle Auftragssituation online und ermittelt das optimale Anlagenlayout. Wird ein Optimierungspotenzial erkannt, so erfolgt eine Rekonfiguration der Produktionsmodule. Die *Plug & Produce*-Fähigkeit ermöglicht es den Modulen, sich am Leitrechner anzumelden und ihre Fähigkeiten zu übermitteln. Daraufhin werden sie in den Produktionsprozess eingeplant und neue Kapazitäten, Liefertermine und Leistungsangaben für die Produktion werden ausgegeben.

Überlassung von Modulen / Kapazitäten an Partnerfirmen

Durch diese Flexibilität können in einer resilienten Fabrik bei Unterauslastung freie Kapazitäten oder Produktionsmodule Partnerfirmen zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus lassen sich Produktionslinien auch unternehmensübergreifend zusammenstellen.

Disruptive Aspekte

- Einfacher und rascher Umbau der Produktionslinie entsprechend der Auftragssituation
- Integration von Individualprozessschritten in Fertigungslinien
- *Plug & Produce*-Fähigkeit der Fertigungsmodule

***Enabler* / Handlungsbedarf**

- Schnittstellenstandards für universell kombinierbare Fertigungsmodule
- Fähigkeits- und funktionsorientierte Beschreibung der Bearbeitungsaufgabe
- Modulare und selbstkonfigurierende *Software*
- Kontinuierliche Simulation von Auftragslage und Produktionslayout über alle Ebenen

Use Case 2: Technologiedaten Marktplatz (Quelle: TRUMPF)

Auf einer Lasermaschine sollen Kundenteile aus beigestellten Blechtafeln produziert werden. Die auf der Maschine verfügbaren Technologiedaten liefern jedoch keine brauchbare Qualität. Für eine klassische Schneiddatenoptimierung steht weder Material noch Zeit zur Verfügung. Durch Zugriff auf internes und externes Technologie-*Know-how* wird der Auftrag in der erwarteten Qualität termingerecht abgewickelt.

Technologiedatenaustausch zwischen Maschinen
Die auf der Lasermaschine verfügbaren Technologiedaten ermöglichen keine ausreichende Bearbeitungsqualität. Eine automatische Suche auf vernetzten Produktionssystemen ergibt, dass auf einer Stanz-Laser-Kombi-Maschine in einem Zweigwerk geeignete materialspezifische Technologiedaten vorhanden sind. Diese Daten werden automatisch auf das Leistungsprofil der Lasermaschine angepasst und liefern auf Anhieb ein brauchbares Bearbeitungsergebnis.

Technologiedatenabgleich zwischen Maschine und Herstellerdatenbank
Aufgrund der guten Ergebnisse stellt der Kunde einen größeren Auftrag im selben Kundenmaterial in Aussicht. Da die automatisch adaptierten Technologieparameter noch Potenzial zur Produktivitätsoptimierung lassen, wird der Vorlauf bis zum Auftragsbeginn genutzt, um über eine ad hoc angebundene Materialsensorik die Materialeigenschaften des Kundenmaterials exakt zu ermitteln. Ein automatischer Abgleich mit dem Technologieportal des Maschinenherstellers liefert einen auf die Zielmaschine zugeschnittenen Technologiedatensatz, der es ermöglicht, den Großauftrag durch optimale Ausnutzung der Maschine termingerecht abzuliefern.

Handel von Technologiedaten auf öffentlichen Internetmarktplätzen
Bei weiteren Folgeaufträgen kommt neues Kundenmaterial zum Einsatz, für das weder auf den vernetzten Maschinen noch beim Hersteller geeignete Technologiedaten existieren. Aufgrund einer automatisierten Anfrage auf dem Technologiemarktplatz der Laserschneider ermittelt ein Dienstleister anhand der Materialeigenschaften einen geeigneten Technologiedatensatz und bietet diesen zum Verkauf und zur direkten Nutzung an.

Disruptive Aspekte
- Maschinenübergreifender Technologiedatenabgleich mit automatischer Adaption
- Automatisierte Technologiedatenbereitstellung auf Basis von Ad-hoc-Sensorik
- Unternehmensübergreifender Technologiedatenaustausch über öffentliche Marktplätze

***Enabler* / Handlungsbedarf**
- Maschinen- / Technologiemodelle zur automatischen Adaption der Technologiedaten
- Technologiespezifische Ad-hoc-Materialsensorik beziehungsweise Material bringt Eigenschaften mit
- Standardisierte Beschreibung und Schutz von Technologiedaten

Use Case 3: Intelligentes Instandhaltungsmanagement (Quelle: wbk)

Die indirekten Kosten ungeplanter Maschinenstillstände können die direkten Kosten einer Wartung oder Reparatur beträchtlich übersteigen. Mit antizipierenden Instandhaltungskonzepten lassen sich für die Betreiber die Folgekosten ungeplanter Stillstände deutlich reduzieren.

Kein ungeplanter Stillstand durch rechtzeitige Wartung bei Nennbetrieb

Mittels intelligenter, kostengünstig nachrüstbarer Sensorik können Daten über Lasten und Maschinenzustände in Echtzeit erfasst werden. Anhand dieser Daten können mit entsprechenden Algorithmen in Kombination mit lastabhängigen Zuverlässigkeitsanalysen detaillierte Prognosen über das Ausfallverhalten kritischer Komponenten erstellt werden. Diese Interaktionen ermöglichen den Mitarbeitern eine optimierte Instandhaltungseinsatzplanung und Ersatzteilbereitstellung. Komponentenabhängig kann die ideale Servicestrategie abgeleitet und konfiguriert werden. Ressourcen werden effizient eingesetzt und geschont. Ungeplante Stillstände werden reduziert und das betroffene Instandhaltungs- und Betriebspersonal unterstützt.

Variation des Nennbetriebs zur Gewinnung von Handlungsspielraum

Des Weiteren ermöglichen die Echtzeitdaten eine adaptive Anpassung der Prozessparameter an die aktuelle Auslastung der Linie. So können bei lokal und temporär auftretenden Engpässen die Geschwindigkeiten vor- und nachgelagerter Produktionsressourcen reduziert werden, ohne dabei die Ausbringung zu senken, was zu einer geringen Lasteinbringung auf die Komponenten führt. Bei lieferzeitkritischen Aufträgen werden hingegen selbstständig maximale Geschwindigkeiten realisiert. Der Mensch gibt dabei das Zielsystem vor und interagiert direkt mit den Prognosetools. Somit ist eine permanente Optimierung der Ressourcen und vor allem Energieeffizienz in Abhängigkeit von Auslastung und Lieferzeiten möglich.

Disruptive Aspekte

- Identifikation von Zustand und Verschleißvorrat
- Prognostizierbarkeit des Verschleißvorrats auf Basis der Betriebsparameter
- Automatische Identifikation optimaler Betriebs- und Wartungspunkte

***Enabler* / Handlungsbedarf**

- Ad hoc vernetzbare Sensoren zur Systemzustandsidentifikation
- Umfassendes Systemabbild in Echtzeit
- Verschleißmodelle in Abhängigkeit der realen Betriebsparameter

Use Case 4: Vernetzte Produktion (Quelle: iwb)

Megatrends wie die Individualisierung von Produkten führen gemeinsam mit einem turbulenten Marktgeschehen zu komplexen Produktionsabläufen. Angesichts dieser Randbedingungen müssen organisatorische Verluste durch adäquate Planung und Steuerung der Produktion vermieden werden, um die Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen in Deutschland weiter auszubauen.

Das Produktionssystem reagiert selbständig auf ungeplante Ereignisse

Intelligente und vernetzte Produktionsressourcen und Produkte ermöglichen ein jederzeit bis ins Detail aktuelles Abbild der Fabrik. So können beispielsweise zusätzlich zum aktuellen Zustand, Ort und den Fähigkeiten eines Produktionsmittels auch relevante Zustandsinformationen von Partnerfirmen im Liefernetzwerk berücksichtigt werden. Auf Basis des Echtzeitabbilds werden Produktionsabläufe geplant und gesteuert. Ungeplante Ereignisse wie Maschinenausfall, Produktspezifikationsänderung bei bereits laufender Produktion oder ein Expressauftrag werden ad hoc identifiziert. Das intelligente Planungs- und Steuerungssystem nimmt selbstständig durch einen Anforderungs-Fähigkeits-Abgleich eine Umplanung vor.

Das Produkt steuert sich selbst durch die Produktion

Intelligente Produkte sind durch ihre Ad-hoc-Vernetzungsfähigkeit sowie durch Mitführung einer digitalen Produktbeschreibung dazu befähigt, sich eigenständig durch die Produktion zu steuern. Um ihren Zielzustand zu erreichen, initiieren die Produkte dezentrale ad hoc aufgebaute Regelschleifen. In diese Schleifen sind sowohl Fertigungsressourcen als auch das Leitsystem eingebunden. Damit können viele Entscheidungen direkt auf Werkstattebene getroffen werden.

Der Mensch nutzt die Freiheitsgrade des Produktionssystems aufgrund von Erfahrung und Kreativität

Im Zusammenwirken intelligenter Automatisierung mit der Erfahrung und der Kreativität von Menschen werden organisatorische Verluste in der Produktion sukzessive verringert. Zu diesem Zweck werden für die Produktionsmitarbeiter über ein mobiles Assistenzsystem kontextsensitiv Informationen über die aktuellen Leistungsdaten der Produktion als Entscheidungsgrundlage für eine kontinuierliche Optimierung bereitgestellt.

Disruptive Aspekte

- Echtzeitfähige Produktionsplanung und -steuerung
- Selbststeuerungsfähigkeit für intelligente Produkte
- Kontextsensitive und multimodale Mitarbeiterinteraktion

Enabler / Handlungsbedarf

- Ad-hoc-Vernetzbarkeit von Produkten, Ressourcen und Assistenzsystemen
- Echtzeitsystemabbild der Produktion
- Kommunikationsstandards zur Beschreibung von Produkten und Ressourcen

Use Case 5: Selbstorganisierende adaptive Logistik (Quelle: Daimler)

In der vernetzten Produktion sind zuverlässige Produktionslogistikprozesse ausschlaggebend für den reibungsarmen, fehlerfreien Wertschöpfungsprozess. In Zukunft werden die Anforderungen an Stückzahl- und Variantenflexibilität weiter steigen, Engpässe und Belieferungsfehler werden wahrscheinlicher. Durch CPS können Material- und Teilebewegungen transparent gemacht werden. Sie bilden damit die technische Grundlage für eine dynamische Intralogistiksteuerung in einer flexiblen Fabrik.

Traceability durch CPS

In komplexen Produktionssystemen durchlaufen Zulieferund Unfertigerzeugnisse mehrere Transport-, Fertigungs- und Montageschritte. Insbesondere zur Steuerung von Montageprozessen ist die Kenntnis des Aufenthaltsorts von Material, Baugruppen, Aggregaten oder endmontierten Produkten entscheidend. Durch CPS werden die momentanen Aufenthaltsorte der Objekte erfasst und Prognosen des weiteren Verlaufs durch den Transport abgeleitet. Durch die *Traceability* der Bauteile wird der Montageprozess inklusive der vor- und nachgelagerten Produktionslogistikprozesse vollständig transparent.

Papierlose und staplerfreie Intralogistik

Durch CPS entfallen administrative Bestandsführungs-, Buchungs- und Inventurprozesse. Die papierlose Produktion kann somit für den Logistikbereich in bestehenden Produktionssystemen nachgerüstet werden. Die Einführung von CPS ergänzt statische Kanban-Prozesse um dynamische Methoden zur kurzfristigen Anpassung von Beständen, Transportmengen, Zyklen und Transportzielen durch die Produktionsablaufsteuerung, zum Beispiel beim Auftreten eines Fehlerfalls, Versorgungsengpasses oder alternativen Belieferungsszenarios. Durch Verknüpfung von fahrerlosen Transportfahrzeugen mit dezentralen CPS und mit zentraler Leitstandsteuerung entstehen autonom agierende Transportsysteme, die mehr als eine dedizierte Transportaufgabe erledigen können in Richtung einer staplerfreien Intralogistik im Werk.

Unterstützung des Menschen in der chaotischen Logistik

Die Mitarbeiter werden von einem durchgängigen, skalierbaren und mobilen Assistenzsystem auf allen Prozessebenen der Logistik, vom Transport über Umschlag und Bestandsmanagement bis hin zur Kommissionierung, unterstützt.

Disruptive Aspekte

- Dynamische Reaktion auf (un-)vorhersehbare Änderungen im Produktionsablauf
- Fehlertoleranz in der Produktionslogistik
- Selbstregulierung in begrenztem Umfang

Enabler / Handlungsbedarf

- Ad hoc vernetzbare Sensoren zur temporären und zur permanenten Anwendung
- *Traceability* und Echtzeitsystemabbild
- Schnittstelle zu vorhandenen CPS und Elementen der Logistikkette

Use Case 6: Kundenintegriertes Engineering (Quelle: IPA)

Immer weitreichendere Kundenanforderungen an Termintreue und späte Änderungen bewirken die Notwendigkeit eines grundsätzlichen Umdenkens im Zusammenspiel der klassischen Produktionsaufgaben mit dem Kunden / der *Supply Chain*. Durch eine Integration des Kunden in die entwickelnden, planenden und wertschöpfenden Tätigkeiten des beauftragten Unternehmens entstehen eine neue Transparenz und eine reaktive Produktion in idealer Synchronisation aller Beteiligten.

Einbeziehung des Kunden in die Wertschöpfungsprozesse

Die schnelle Marktbewegung und deren Auswirkungen auf die Produktionsplanung machen die Reaktionsfähigkeit des beauftragten Unternehmens zu einem Schlüssel des Erfolgs. Durch direkte Einbeziehung des Kunden ergeben sich neue Optimierungspotenziale, zum Beispiel in der Produktionsplanung des beauftragten Wertschöpfungsnetzes.

Produktionsorientiertes Design

Unterstützend wirken hier Systeme zur Auswirkungsprognose bei Änderungen im beauftragten Produkt inklusive eines Systems zur Ermittlung alternativer Wertschöpfungsszenarien („Szenariensystem"). Diese bewirken gleichzeitig für den Kunden eine neue Transparenz sowie für den Hersteller die Auslagerung von Tätigkeiten mit hohem Abstimmungsaufwand. Das „Szenariensystem" erstreckt sich dabei über weite Bereiche, bis hin zu der Auswahlmöglichkeit der Schlüsseltechnologien eines Prozesses (beispielsweise Schneiden / Schweißen).

Beispiel Logistikdienstleister als Hersteller

Ein Logistikdienstleister erhält den Auftrag für ein auszuliefernden Produkt in Form der Produktpläne. Diese finalisiert er mit einigen kundenindividuellen Produktanpassungen (zum Beispiel Zuschnitt, Farbgebung, generative Fertigungsverfahren) im Logistikzentrum kurz vor Auslieferung und liefert dann direkt aus.

Beispiel Automobilproduktion

Über Konfiguratoren kann der Kunde mittels *Live*-Daten der Lieferkette entlang des kritischen Pfads zuverlässige Verfügbarkeiten, Lieferzeiten sowie optionsspezifische Meilensteine für Änderungen ermitteln. Das Szenariensystem erlaubt dabei über leichte Ausstattungsvariationen eine Beeinflussung des Auslieferungstermins.

Disruptive Aspekte

- Zulassen von Kundenänderungen zum spätestmöglichen Zeitpunkt im Produktionsprozess
- Präzise Terminaussagen auch nach optimierender Funktionsänderung im Produkt
- Moderne Geschäftsmodelle durch Einbindung des Kunden in die Produktentwicklung

***Enabler* / Handlungsbedarf**

- Nutzung von Echtzeitabbild und Systemmodell im Planungssystem
- Klare Beschreibungen aller Objekte entlang der *Supply Chain*
- Neue Handhabungsmethoden für den Umfang der Datenmengen

Use Case 7: Nachhaltigkeit durch Up-Cycling (Quelle: IPA)

Mit steigenden Rohstoffpreisen steigt auch deren Einfluss auf den Gesamtpreis des Produkts. Insbesondere bei *Hightech*-Produkten sind oftmals die Rohstoffe auch ein begrenzender Faktor (beispielsweise seltene Erden, Platin). Indem das Unternehmen seine Produkte nur zur Nutzung verkauft, behält es die Eigentumsrechte an den verwendeten Rohstoffen. Dies wird sinnvoll erst durch direkt im Produkt abgespeicherte Herstellungs-, Montage- und *Recycling*-Informationen ermöglicht. Durch die umfassende Informationsbereitstellung wird anstelle eines *Down*- oder *Re-Cyclings* oftmals ein *Up-Cycling* ermöglicht.

Rohstoff-, Komponenten- und Modulinformationen

Bei *Hightech*-Produkten machen wenige sehr teure Rohmaterialien (Platin in Batterien, seltene Erden in Elektronik) einen erheblichen Anteil am Wert des Gesamtprodukts aus. Neue Geschäftsmodelle ermöglichen den Verbleib des Eigentumsrechts an den Rohstoffen beim Hersteller auch nach dem Produktverkauf. Sie nutzen dafür eine standardisierte Erfassung von Informationen bezüglich Herstellung, Nutzung und Rückführungsmöglichkeiten des Produkts zum Produzenten.

Up-Cycling* statt *Re-Cycling

Basierend auf den Herstellungs-, Montage- und Nutzungsdaten des Produkts kann jederzeit der Zustand der Produktbestandteile bestimmt werden. Baugruppen lassen sich aufgrund dieser Daten schnell analysieren und mitunter durch geringe Änderungen an den aktuellen Stand anpassen. Im Gegensatz zum klassischen *Re-Cycling* wird dadurch ein *Up-Cycling*, das heißt eine Wiedernutzung von ganzen Baugruppen (nicht Einzelbauteilen oder Rohstoffen), ermöglicht. Dadurch lassen sich erhebliche Effizienzsteigerungen, zum Beispiel beim Energieeinsatz, erreichen.

Effizientes *Re-Cycling*

Die Informationen über das Produkt ermöglichen eine Bewertung, ob eine sortenreine Rückgewinnung der Rohstoffe wirtschaftlich möglich ist. Dadurch kann eine Entscheidung über den sinnvollsten Weg der Weiterverwendung der Rohstoffe getroffen werden.

Disruptive Aspekte

- Die Eigentumsrechte an den verwendeten Rohstoffen verbleiben beim Hersteller
- Planung des *Up-Cyclings* der Rohstoffe schon bei der Entwicklung
- Dynamische Gestaltung des Lebenszyklus (Bewirtschaftung der Rohstoffe im Feld)

***Enabler* / Handlungsbedarf**

- Speicherung der relevanten Daten am Produkt über den gesamten Lebenszyklus
- Hilfesystem für Schadensauswertungen auf Basis von Nutzungs- und Zustandsdaten
- Erarbeitung und Bewertung neuer Geschäftsmodelle

Use Case 8: Smart Factory Architecture (Quelle: IPA)

Haben viele Unternehmen den Gedanken des Lebenszyklus eines Produkts und mitunter auch des Fabriklebenszyklus bereits aufgegriffen, so wird auffällig, wie aufwendig die Synchronisation dieser Lebenszyklen ist. Analog zu diesen Lebenszyklen ergibt sich für die *Smart Factory* ein eigener Lebenszyklus, welcher je nach Produkt entsprechend gestaltet werden muss.
Die *Smart Factory* bietet dabei die Möglichkeit, einen umfassenden Lebenszyklus, durch die Ergänzung des MTO-Ansatzes mit IT, in einer übergeordneten Meta-Ebene zu etablieren.

Smart Factory-Lebenszyklusgestaltung

Die *Smart Factory* ist ein hochkomplexes System mit vielen Einzelteilnehmern, die eigene Intelligenz besitzen. Der Lebenszyklus der *Smart Factory* ist daher weder mit dem Lebenszyklus des Produkts noch der Fabrik direkt vergleichbar, sondern ihr Lebenszyklus muss jeweils produktspezifisch gestaltet werden. Diese Gestaltung ist der erste Schritt auf dem Weg zur Nutzbarkeit der vielfältigen enthaltenen Informationen und ermöglicht durch die Summe der vielen integrierten Einzelintelligenzen ein Wissensmanagement bis auf den *Shopfloor*. Dieses Wissen wird dann jedoch aufgrund neuer Fragestellungen ausgewählt und klassifiziert: Man bewegt sich weg vom bisherigen „Warum hat es funktioniert?“ zu „Wie sieht es funktionierend aus?“. Dies ermöglicht ein sehr pragmatisches Wissensmanagement und die ideale Nutzung aller Ideallösungen. Insbesondere bei der Datenerfassung in großem Umfang im Rahmen der *Smart Factory* entsteht folgende direkte Herausforderungen, welche bis dato die Migration häufig unmöglich machen: Die entstehende Datenmenge ist sehr groß. Diese Datenmengen müssen nicht nur erfasst, sondern auch beherrscht werden, was durch eine mitunter notwendige Echtzeit- oder *Live*-Fähigkeit noch verstärkt wird.

Anwendungsbeispiel

Nach Auftragseingang wird mithilfe einer Mustererkennung in den erledigten Aufträgen nach ähnlichen Aufträgen (in Bestand, Durchlaufzeit etc.) gesucht.

Nach einer für den betrachteten Fall spezifischen Definition von Kriterien (Durchlaufzeit etc.) werden in einer dynamischen Analyse die erfolgreichsten Auftragsdurchläufe durch die Fabrik ausgewählt und es erfolgt direkt ein Vorschlag für die Auftragseinplanung. Dies erfordert im Hintergrund Methoden, welche sich nicht mehr den komplexen Ursachen, sondern bevorzugt den Relationen der Ein- und Ausgangsdaten widmen.

Disruptive Aspekte

- Hohe Komplexität des Zusammenspiels im MTO unter Antrieb des Marktes / Kunden
- Synchronisation der Lebenszyklen mitunter sehr aufwendig
- Schwieriger Informations- und Wissensfluss durch Trennung der Lebenszyklen

Enabler / Handlungsbedarf

- Organisatorische, systemische und methodische Gestaltung der Lebenszyklen
- Intelligenz im System für die Ausschöpfung der Informationen / des Wissens in den großen Datenmengen, um einen gezielten Umgang mit Unsicherheiten zu ermöglichen
- Dezentralität, Interdisziplinarität unter Wahrung der Bedien- und Handhabbarkeit

Plattform
INDUSTRIE 4.0