

Springer Reference Technik

Springer Reference

Birgit Vogel-Heuser
Thomas Bauernhansl
Michael ten Hompel *Hrsg.*

Handbuch Industrie 4.0 Bd. 1

Produktion

2. Auflage

VDI



Springer Vieweg

Springer Reference Technik

Springer Reference Technik bietet Ingenieuren – Studierenden, Praktikern und Wissenschaftlern – zielführendes Fachwissen in aktueller, kompakter und verständlicher Form. Während traditionelle Handbücher ihre Inhalte bislang lediglich gebündelt und statisch in einer Printausgabe präsentiert haben, bietet „Springer Reference Technik“ eine um dynamische Komponenten erweiterte Online-Präsenz: Ständige digitale Verfügbarkeit, frühes Erscheinen neuer Beiträge online first und fortlaufende Erweiterung und Aktualisierung der Inhalte.

Die Werke und Beiträge der Reihe repräsentieren den jeweils aktuellen Stand des Wissens des Faches, was z. B. für die Integration von Normen und aktuellen Forschungsprozessen wichtig ist, soweit diese für die Praxis von Relevanz sind. Reviewprozesse sichern die Qualität durch die aktive Mitwirkung von namhaften HerausgeberInnen und ausgesuchten AutorInnen.

Springer Reference Technik wächst kontinuierlich um neue Kapitel und Fachgebiete. Eine Liste aller Reference-Werke bei Springer – auch anderer Fächer – findet sich unter <http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22>.



JE HELLER DER KOPF, UMSO BRILLANTER DIE IDEE.

THIS IS **SICK**

Sensor Intelligence.

Visionäre Denkerinnen und Denker mit Erfindergeist gesucht. Entwickeln Sie gemeinsam mit uns Sensorlösungen, die weltweit Standards setzen und die nächste industrielle Revolution mitgestalten. Ihre Karriere: anspruchsvoll, abwechslungsreich und mit besten persönlichen Entwicklungschancen. Ihr Umfeld: hochprofessionell, international und inspirierend. Ihr neuer Arbeitgeber: ein Hightech-Unternehmen mit weltweit mehr als 7.400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Ihre Zukunftsadresse: www.sick.de/karriere



Birgit Vogel-Heuser • Thomas Bauernhansl
Michael ten Hompel
Herausgeber

Handbuch Industrie 4.0 Bd.1

Produktion

2., erweiterte und bearbeitete Auflage

mit 100 Abbildungen und 5 Tabellen

 Springer Vieweg

Herausgeber

Birgit Vogel-Heuser
Maschinenwesen, AIS
Technische Universität München
Garching, Deutschland

Thomas Bauernhansl
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Michael ten Hompel
Technische Universität Dortmund
Dortmund, Deutschland

Springer Reference Technik

ISBN 978-3-662-45278-3

ISBN 978-3-662-45279-0 (eBook)

ISBN 978-3-662-45389-6 (Bundle)

DOI 10.1007/978-3-662-45279-0

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

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2014, 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

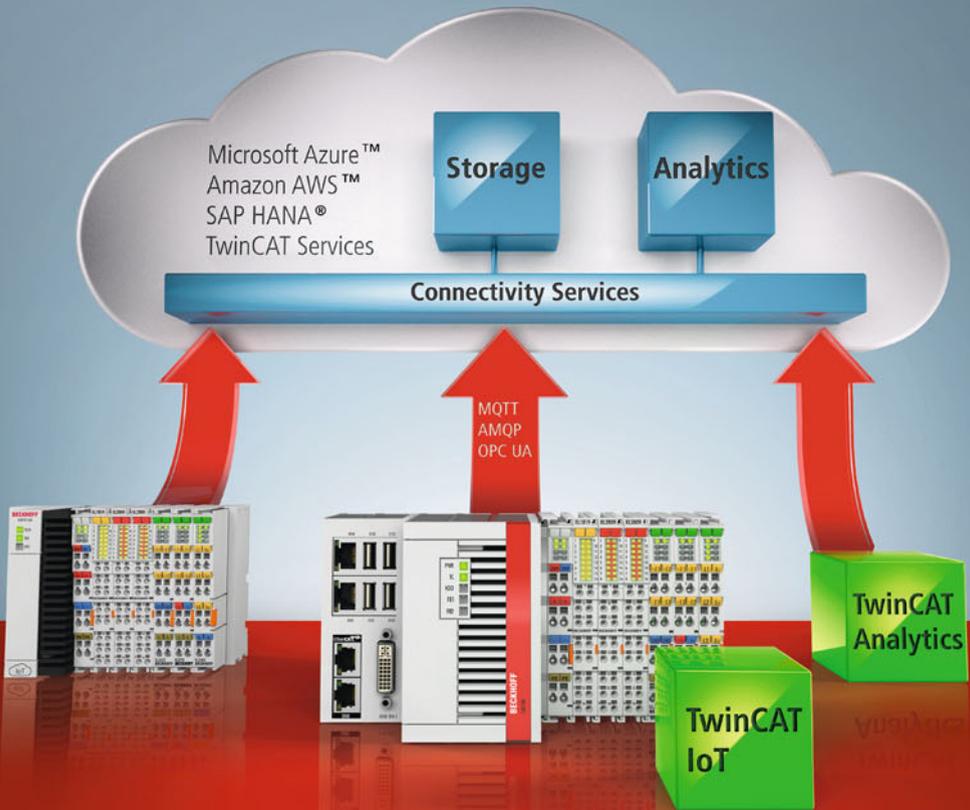
Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Die Steuerungsplattform für Industrie 4.0: TwinCAT.



www.beckhoff.de/Industrie40

Mit PC-based Control bietet Beckhoff die Basistechnologie für Industrie-4.0- und IoT-Anwendungen. Maschinensteuerungen lassen sich über die Engineering- und Steuerungsplattform TwinCAT entsprechend erweitern: für Big-Data-Anwendungen, Cloud-Kommunikation, vorausschauende Wartung sowie für umfassende analytische Funktionen zur Erhöhung der Produktionseffizienz. Dabei unterstützt TwinCAT IoT standardisierte Protokolle für die Cloud-Kommunikation; Cloud-Dienste und -Services sind einfach in das Maschinen-Engineering integrierbar. TwinCAT Analytics bietet, neben Fehleranalyse und vorausschauender Wartung, zahlreiche Möglichkeiten zur Energie- und Prozessoptimierung von Maschinen und Anlagen.

Vorwort des Verlags

Der Erfolg des Buches „Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik“ von 2014 und die parallele Entwicklung der Online-Nachschlagewerke bei Springer, SpringerReference, führen zu einer erheblich erweiterten zweiten Auflage. Der Umfangszuwachs ließ eine Bandteilung sinnvoll erscheinen, dieser erste Band umfasst die neuen und erneuerten Beiträge zur Industrie 4.0 in der Produktion.

Im Juni 2016

Thomas Lehnert
Programmleiter, Springer-Verlag

Mit Dematic die Supply Chain der Zukunft antreiben



Die Welt befindet sich im Umbruch und formt heute, wie Produktion und Logistik morgen aussehen werden.

Mit unseren Systemlösungen für Ihre Logistik wollen wir Sie als Partner in Zeiten neuer Herausforderungen unterstützen. Wir helfen Ihnen dabei, Ihr Lager besser zu nutzen, die Arbeitseffizienz zu steigern, Ihre Energiekosten zu senken und die Ergonomie am Arbeitsplatz zu heben. Diese Optimierungen stärken Ihre gesamte Lieferkette und bieten Ihnen eine höhere Wettbewerbsfähigkeit.

Erleben Sie die Zukunft der Intralogistik in unserem Imagination Center Heusenstamm und vereinbaren Sie einen Termin hier:

www.dematic.com/imaginationcenter

RAPID

SMART

FLEXIBLE

Wir **optimieren** Ihre Supply Chain

DEMATIC

Vorwort zur 2. Auflage

Mit der 1. Auflage dieses Buches, das bereits 2014 unter dem Titel „*Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*“ (Hrsg.: Bauernhansl, ten Hompel, Vogel-Heuser) erschienen ist, wurde ein wichtiger Schritt unternommen, das Thema Industrie 4.0 in der Fachliteratur zu verankern. Doch bereits damals war uns als Herausgebern klar, dass ein statisches Buch einer Entwicklung dieser Tragweite und Dynamik nicht gerecht werden kann. Aus diesem Grund haben wir entschieden, dieses Werk ab der 2. Auflage in ein Handbuch zu überführen, um einen Rahmen zu schaffen, die Geschichte der vierten industriellen Revolution fortzuschreiben. Industrie 4.0 wird mittlerweile international stark diskutiert und an der Realisierung gearbeitet. Mit dem „*Handbuch Industrie 4.0*“ erscheint erstmals ein Nachschlagewerk, das aus einzelnen, in sich abgeschlossenen Beiträgen zu den Themen Industrie 4.0 in Produktion, Logistik und Automatisierung besteht. Dieses Werk wird sowohl online als auch in gedruckter Form veröffentlicht. Die Online-Version kann, ähnlich einem Wiki, fortlaufend ergänzt und weiterentwickelt werden, um bei diesem sich rapide entwickelnden Thema den aktuellen Stand darzulegen. Die Online-Version bietet die Grundlage, in regelmäßigen Abständen eine neue Auflage der Druckversion zu verlegen.

Um dem Format eines Nachschlagewerks gerecht zu werden, sind nicht nur Beiträge aus der 1. Auflage übernommen und überarbeitet worden, sondern auch zahlreiche Beiträge hinzugekommen. Diese teilen sich auf die folgenden neuen Kapitel auf:

- Digitalisierung der Wertschöpfung
- Industrie-4.0-Anwendungsszenarien für die Automatisierung
- Cyber-physische Systeme im Betrieb
- Engineering-Aspekte in der Industrie 4.0
- Vertikale und horizontale Integration in der Automatisierung
- Datamining und Datenanalyse in der Industrie 4.0 und deren juristische Aspekte
- Zusammenwirken von Mensch und Maschine in der Industrie 4.0
- Intelligente Ladungsträger als Teil cyber-physischer Systeme
- Materialflusstechnik für Industrie 4.0
- Industrie-4.0-fähige Flurförderzeuge
- Hybride Dienstleistungen für Industrie-4.0-Systeme

- Sensorik und Aktorik für Industrie-4.0-Logistiksysteme
- Management von Industrie-4.0-Systemen in der Logistik.

Zur Realisierung dieser umfassenden Erweiterung konnten wir, wie bereits in der ersten Auflage, zahlreiche Fachleute aus Forschung und Wirtschaft als Autoren gewinnen, um das Thema aus wissenschaftlicher und praktischer Sicht aufzubereiten. Erst die Betrachtung aus beiden Blickwinkeln ermöglicht es unserer Auffassung nach, den Überblick über das Mögliche und die Vision in einem Werk zu vereinen und Migrationspfade hinein in die vierte industrielle Revolution aufzuzeigen. Aufgrund der fortschreitenden Entwicklung werden nunmehr auch erfolgreiche Anwendungsbeispiele vorgestellt. In diesem Sinne ist das Handbuch Industrie 4.0 als ein lebendiges Nachschlagewerk für Forscher, Praktiker und Studierende gleichermaßen zu verstehen und richtet sich an alle Leserinnen und Leser, die sich mit diesem spannenden Thema beschäftigen wollen.

Diese Druckversion umfasst den Stand der Dinge im Frühjahr 2016 und ist in einem Team gleichberechtigter Partner entstanden. Wir danken allen Autoren, dem Verlag, dem Lektorat und all denen, die sonst noch zum Gelingen beigetragen haben, sehr herzlich. Ganz besonderer Dank gilt Sigrid Cuneus vom Springer-Verlag und unseren Mitarbeitern Andreas Bildstein und Sascha Feldhorst, die durch ihren unermüdlichen Einsatz in Koordination und Organisation die Grundlage für die Transformation des Werks in ein Handbuch gelegt haben.

Im April 2016

Birgit Vogel-Heuser
Thomas Bauernhansl
Michael ten Hompel

Your Global Automation Partner

TURCK

Industrie 4.0 Daten- und Kommunikationslösungen



Durchgängige HF/UHF-RFID-Lösungen für Datenerfassung und -vorverarbeitung, Identifikation, Rückverfolgung, Serialisierung

Intelligente Sensor- und Verbindungslösungen mit IO-Link-Kommunikation für maximale Flexibilität

Robuste IP67-I/O-Systeme mit dezentraler Intelligenz und Multiprotokoll-Ethernet-Kommunikation zur einfachen IT-Integration

www.turck.de

Herausgeber und Autoren

Die Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser leitet den Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme der TU München. Sie verfügt über langjährige Industrie- und Hochschulerfahrung im Bereich der System- und Softwareentwicklung verteilter, intelligenter, eingebetteter Systeme für Industrie 4.0.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl ist Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart und Leiter des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF der Universität Stuttgart. Forschungsschwerpunkte seiner Institute sind Produktionsorganisation, Fabrikplanung, Oberflächentechnologie, Automatisierung und Prozesstechnologie. Er beschäftigt sich insbesondere mit Massenpersonalisierung, nachhaltiger Produktion und Komplexitätsbewirtschaftung im Rahmen der Industrie 4.0. Er ist Mitglied in zahlreichen Gremien, u. a. im Strategiekreis der Plattform Industrie 4.0 der Bundesregierung und stellv. Vorsitzender des Lenkungskreises Allianz Industrie 4.0 BW.

Prof. Dr. Michael ten Hompel ist geschäftsführender Leiter des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik, Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Software und Systemtechnik sowie Ordinarius des FLW der Technischen Universität Dortmund. Zuvor gründete er u. a. das Software-Unternehmen GamBit, das er bis zum Jahr 2000 führte. Er gilt als einer der Väter des Internet der Dinge, ist Mitglied der „Logistik Hall of Fame“ und wissenschaftlicher Beirat der nationalen Plattform Industrie 4.0.

Die Autoren

Dipl.-Ing. Thomas Adolf ist Gruppenleiter in der Abteilung Nachhaltige Produktion und Qualität am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart. Seine Tätigkeitsschwerpunkte sind die Leitung und Durchführung von Industrie- und Forschungsprojekten in den Bereichen

Produktionsorganisation und -optimierung, Instandhaltungsmanagement und Technisches Controlling.

Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Bauer führt als Leiter des Fraunhofer IAO eine Forschungsorganisation mit etwa 500 Mitarbeitern. Er verantwortet Forschungs- und Umsetzungsprojekte in den Bereichen Innovationsforschung, Technologiemanagement, Leben und Arbeiten in der Zukunft, Industrie 4.0, Smarter Cities. Als Mitglied in verschiedenen Gremien berät er Politik und Wirtschaft.

Univ. Prof. Dr.-Ing. Ulrich Berger ist seit 2001 Lehrstuhlinhaber und Leiter des Fachgebietes Automatisierungstechnik an der BTU Cottbus-Senftenberg. Er leitet das 2015 gegründete *Innovationszentrum Moderne Industrie Brandenburg* mit dem Schwerpunkt der Einführung von Industrie 4.0 in mittelständischen Unternehmen.

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Mag. Stefan Biffel ist Dozent an der TU Wien am Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme und Leiter des Christian Doppler Labors „Software Engineering Integration für flexible Automatisierungssysteme“.

Andreas Bildstein leitet am Fraunhofer IPA im Kompetenzzentrum „Digitale Werkzeuge für die Produktion“ die Gruppe „IT-Anwendungen und Services“ und forscht u. a. an dynamischen Produktionsnetzwerken, Cloud-unterstützter Produktion, Industrie 4.0 und der sog. „smart production“ mittels cyberphysischer Systeme. Ein besonderer Schwerpunkt seiner Forschungsaktivitäten liegt dabei auf der Digitalisierung der Produktion und produktionsnaher Prozesse auf Basis von Informationstechnologien und Konzepten aus dem Bereich des Internet der Dinge (IoT).

Gautam Biswas ist Professor in Computer Science, Computer Engineering und Engineering Management am Institut EECS und Senior Research Scientist am Institut für Software Integrated Systems (ISIS) an der Vanderbilt University (Tennessee, USA). Seine Forschungsschwerpunkte sind Modellierung und Diagnose von Cyberphysischen Systemen sowie Big Data, angewendet für Anomaliedetektion und Lehre.

Michael Boddien-Strebüher war nach der Ausbildung zum Diplom-Physiker an der Universität Essen ab 1992 unter anderem als Projektleiter für die Entwicklung und Installation von Warehouse-Management-Systemen tätig. Seit 2008 ist er Leiter Presales Warehouse Management bei der inconso AG, Bad Nauheim.

Dipl.-Ing. Jurek Breuninger ist Usability Engineer und UX-Forscher am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München. Er ist spezialisiert auf Touchscreen-Interaktion und ihre Anwendung in sicherheitskritischen Umgebungen wie Medizintechnik, Fertigung und Wartung. Er ist Mitglied im VDI-Fachausschuss „Nutzergerechte Gestaltung von Maschinenbediensystemen“ und Mitautor der Richtlinie VDE/VDI 3850 „Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen“.



solution provider
KNAPP
bewegt.

join the number one

Die KNAPP AG ist international führend im Bereich Lagerlogistik und Lagerautomation. Der Leitgedanke *making complexity simple* ist ein zentraler Baustein der Philosophie von KNAPP. Um die Komplexität der vielschichtigen und dynamischen Anforderungen der Intralogistik beherrschbar zu machen, setzt KNAPP auf Erfahrung, Expertise und den unzählbaren Erfindergeist seiner Mitarbeiter.

KNAPP AG
8075 Hart bei Graz | Austria
sales@knapp.com
www.knapp.com

KNAPP

Dipl.-Ing. Alexander Bubeck ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Roboter- und Assistenzsysteme am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.

Andreas Bunte, M. Sc. studierte Elektrotechnik, Fachrichtung Automatisierungstechnik, an der Fachhochschule Düsseldorf. Seit 2014 arbeitet er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für industrielle Informationstechnik (inIT) der Hochschule OWL. Dort forscht er im Bereich „Artificial intelligence in Automation“ mit den Schwerpunkten Wissensmodellierung und Semantik.

Dr. Thomas Bürger war nach seinem Maschinenbaustudium an der Universität Stuttgart zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Abteilungsleiter am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart tätig. Anschließend übernahm er verschiedene Leitungsfunktionen in der Steuerungsentwicklung bei der Bosch Rexroth AG. Seit 2012 ist er Leiter des Entwicklungsbereichs Automationssysteme der Bosch Rexroth AG.

Xinyu Chen, M. Sc. studierte Brauwesen und Getränketechnologie an der Technischen Universität München (TUM). Seit 2014 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe für Informationstechnologie in der Lebensmittelindustrie am Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik der TUM.

Dr.-Ing. Damian Daniluk war Projektleiter und -berater am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) in Dortmund. Seine fachlichen Schwerpunkte lagen in den Bereichen Auswahl und Einführung von Warehouse Management Systems, Multiagentenbasierte Steuerungssysteme, Cloud Computing in der Logistik sowie (verteilte) Materialflusssimulation. Derzeit ist er in verantwortungsvoller Position im Bereich Product Lifecycle Management bei der Phoenix Contact GmbH & Co. KG in Blomberg.

Prof. Christian Diedrich hat technische Kybernetik und Automatisierungstechnik studiert und lehrt und forscht an der Otto-von-Guericke-Universität und am Institut für Automation und Kommunikation (ifak) e.V. in Magdeburg. Seine Schwerpunkte liegen auf dem Gebiet der Automation in digital betriebenen Produktionssystemen, basierend auf informations- und wissensbasierten Methoden. Dazu gehören vor allem die industrielle Kommunikation und Integrations- sowie Beschreibungsverfahren.

Johannes Diemer ist Manager Industrie 4.0 bei Hewlett Packard Enterprise, Mitglied im Lenkungskreis der Plattform Industrie 4.0 und im Vorstand des Vereins Lab Network Industrie 4.0. Nach mehreren Stationen bei HP als Technischer Consultant, Produktmanager und Vertriebsleiter für Forschung und Lehre und High Performance Computing verantwortet er heute bei Hewlett Packard Enterprise für die Region EMEA den Aufbau neuer Öko-Systeme für IoT/Industrie 4.0.

Lars Dohrmann, M. Sc. studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr in Hamburg mit der Fachrichtung Produktentstehung und dem Schwerpunkt Produktion. Seit 2012 ist er am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH als Projektingenieur im Bereich Produktionsautomatisierung tätig. Schwerpunkte seiner Arbeit sind die industrielle Bildverarbeitung sowie die Mensch-Maschine-Interaktion an Flurförderzeugen.

Marc Dorchain ist langjähriger Projektmanager für mehrere nationale und europäische Forschungsprojekte der Researchabteilung der Software AG. Basierend auf seinem Studium der Wirtschaftsinformatik ist sein thematischer Schwerpunkt die Forschung und Entwicklung von Plattformen für Geschäftsprozessmanagement im Umfeld der ARIS Plattform.

Dipl.-Ing. Lars Dürkop ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für industrielle Informationstechnik (inIT) der Hochschule Ostwestfalen-Lippe in Lemgo. Er studierte Informations-Systemtechnik an der TU Braunschweig. Derzeit strebt er seine Promotion mit einem Beitrag zur automatischen Konfiguration industrieller Echtzeit-Netzwerke an.

Bernd Dworschak, M.A. ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IAO mit den Arbeitsschwerpunkten Früherkennung von Kompetenz- und Qualifikationsanforderungen, Kompetenzmanagement und Demographischer Wandel in der Arbeitswelt.

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Björn Eilert studierte an der Universität Paderborn Wirtschaftsingenieurwesen, Fachrichtung Maschinenbau, mit den Schwerpunkten Produktions- und Informationsmanagement sowie Fertigungstechnologie und Innovationsmanagement. Seit 2008 ist er am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH im Bereich Produktionsautomatisierung tätig und leitet seit Ende 2012 die Abteilung Produktionsautomatisierung.

Fajar J. Ekaputra ist Doktorand an der Technischen Universität (TU) Wien. Er hat seine Bachelor- und Masterstudien in Informatik am Institut Teknologi Bandung, Indonesien, abgeschlossen. Seine Forschungsinteressen fokussieren auf das Änderungsmanagement von Wissen für Linked Data im Unternehmensumfeld unter Verwendung von Semantic-Web-Technologien.

Dipl.-Ing. Stefan Feldmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Automatisierung und Informationssysteme (AIS) der Technischen Universität München (TUM). Sein Forschungsinteresse gilt der Anwendung wissensbasierter Systeme zur Verbesserung der Entwicklung variantenreicher Systeme im Maschinen- und Anlagenbau.

Dipl.-Ing. (Univ.) Stefan Flad studierte Mechatronik und Informationstechnologie an der Technischen Universität München (TUM). Er ist derzeit wissenschaftlicher



Die intelligente Produktion von morgen

Phoenix Contact – Ihr Partner für Industrie 4.0

„Mit unserer Erfahrung im Maschinenbau und in der Automatisierung sind wir bestens gerüstet, um die Digitalisierung unserer Welt in die intelligente Produktion von morgen zu verwandeln.“

Roland Bent, Geschäftsführung Marketing & Entwicklung

Mehr Informationen unter Telefon (0 52 35) 3-1 20 00 oder
phoenixcontact.de/industrie40



**PHOENIX
CONTACT**
INSPIRING INNOVATIONS

Mitarbeiter am Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik der TUM mit den Arbeitsschwerpunkten Informationstechnologie in der Lebensmittelindustrie.

Lisa Forstner ist CIO Executive Assistant bei der Infineon Technologies AG. Darüber hinaus ist sie externe Doktorandin an der Fakultät für Mathematik und Informatik an der FernUniversität in Hagen.

Dr.-Ing. Ursula Frank ist bei Beckhoff zuständig für das Management aller Forschungs- und Entwicklungsprojekte sowie Kooperationen mit Forschungseinrichtungen. Nach mehrjähriger Tätigkeit als Oberingenieurin am Heinz Nixdorf Institut setzt sie bei Beckhoff ihre Arbeiten zu den Themen Intelligente vernetzte Systeme und Systems Engineering in deutschen und europäischen Forschungsprojekten fort. Zudem ist sie Mitglied des BMBF-Programmbeirats „Forschung an Fachhochschulen“.

Dipl.-Log. Marco Freund studierte Logistik mit der Vertiefung Materialflusssysteme an der Technischen Universität Dortmund. Ab 2011 war als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Verpackungs- und Handelslogistik mit dem Themenschwerpunkt Identifikationstechnologien tätig. Seit 2014 ist er Leiter des openID-centers, einer offenen Integrationsplattform für verschiedene Industrie-4.0-Anwendungen.

Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans leitet das Institut für Fördertechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Das Institut beschäftigt sich mit Methoden und Technologien auf allen Ebenen der Supply Chain. Hierzu gehören u. a. dezentral gesteuerte Systeme der Intralogistik und deren Interaktion mit den Menschen, die diese Systeme unterstützen sollen. Bis 2003 war Kai Furmans für die Robert Bosch GmbH tätig, zuletzt als Leiter der Logistik eines Geschäftsbereiches.

Dr. Kay Fürstenberg ist seit 1999 für SICK tätig und dort Leiter der Forschung und Technologie. Der Name SICK steht seit 1946 für Intelligente Sensorik und Werte wie Innovation, technologischen Führungsanspruch und überlegenen Kundennutzen in der Fabrik-, Logistik- und Prozessautomation. SICK verfolgt schon seit mehr als zehn Jahren unter dem Claim „Sensor Intelligence“ ein Zukunftsbild, das heute als „Industrie 4.0“ bekannt ist.

Prof. Dr. Peter Göhner war nach seiner Promotion Entwicklungsleiter in der Industrie. Seit seiner Berufung als Professor an die Universität Stuttgart ist er Leiter des dortigen Instituts für Automatisierungs- und Softwaretechnik. Seine Forschungsschwerpunkte sind Agentenorientierte Konzepte, Benutzerorientierte Automatisierung, Energieoptimierung, Lernfähigkeit, Verlässlichkeit und Wiederverwendungskonzepte.

Olaf Graeser studierte an der Universität Bielefeld naturwissenschaftliche Informatik und arbeitete danach als Softwareentwickler und wissenschaftlicher Mitarbeiter

im Bereich der Automatisierungstechnik. Er ist seit 2011 Mitarbeiter im Technology Development Industrial Automation in der Support Unit Manufacturing Solutions bei der Phoenix Contact GmbH & Co. KG in Blomberg.

Christian Großmann ist bei der Phoenix Contact GmbH & Co. KG in der Support Unit Manufacturing Solutions tätig. Nach Ausbildung und Studium der Mechatronik arbeitete er zunächst als Entwicklungsingenieur im Sondermaschinenbau und wechselte anschließend in die Fertigungstechnologie-Entwicklung. Dort vertritt er heute als Senior Specialist das Themengebiet der Prozessoptimierung in der Schaltschrankproduktion.

Dipl.-Ing. Matthias Gruhler studierte Technische Kybernetik an der Universität Stuttgart. Er ist Projektleiter am Fraunhofer IPA und beschäftigt sich als Themenverantwortlicher mit der Navigation von Servicerobotern und Fahrerlosen Transportsystemen. Er ist außerdem im VDI Fachausschuss 309 Fahrerlose Transportsysteme aktiv.

Dr. Thomas Hadlich war nach dem Studium der Elektrotechnik/Automatisierungstechnik zuletzt Abteilungsleiter der Softwareentwicklung für Geräte-Integration (z. B. mit OPC und FDT). Seit 2010 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Otto-von-Guericke-Universität und hat im Themenfeld System Engineering, Geräteintegration und Digitale Fabrik promoviert. Er ist auf diesen Gebieten in nationalen und internationalen Standardisierungs- und Fachgremien (IEC, DKE, ZVEI, FDT Group) tätig.

Dr. Annika Hauptvogel studierte Maschinenwesen an der TU München und war seit 2011 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am WZL der RWTH Aachen tätig. Ihre Arbeitsschwerpunkte lagen im Bereich Produktionsmanagement und Produktionslogistik. Sie leitete das im Jahr 2012 gestartete „Industrie 4.0“-Forschungsprojekt ProSense. Von 2013 bis 2014 hatte Annika Hauptvogel die Leitung der Gruppe Produktionslogistik am WZL inne. Seit 2015 ist sie Manager Executive Support bei der Siemens AG.

Dr. Tobias Hegmanns ist akademischer Direktor des Institutsbereichs Unternehmenslogistik am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML). Er ist dort außerdem Leiter des Kompetenzzentrums Mittelstand 4.0. Im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums war er zuletzt einer der Hauptautoren der Studie „Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand“.

André Heinke, M. Sc. ist nach erfolgreichem Masterstudium der Mechatronik mit den Schwerpunkten Fahrzeugmechatronik, Produktion sowie Automatisierungstechnik, an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover derzeit wissenschaftlicher Mitarbeiter des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH im Fachgebiet Produktionsautomatisierung.



**WIE PACKEN SIE 600 MIO. TONNEN FRACHT
IN EINE BOX, IN DIE NUR 216 MIO. PASSEN?
ES IST EINFACH. DIE ANTWORT IST SAP HANA.**

Mit der SAP HANA® Cloud Platform ist der Hamburger Hafen in der Lage, Prozesse zentral, flexibel und in Echtzeit zu steuern – inklusive der Daten zur Schiffsroutenplanung und topaktueller Wettervorhersagen. Das schafft die Grundlage, um die Kapazitäten des Hafens in nur zehn Jahren zu verdoppeln. So einfach kann Innovation sein. Mehr erfahren Sie auf sap.de/iot

SAP Run Simple

Prof. Dr. Michael Henke ist Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) und Inhaber des Lehrstuhls für Unternehmenslogistik der Fakultät Maschinenbau der TU Dortmund. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Einkauf und Supply Management, Logistik und Supply Chain Management, Supply Chain Risk Management und Financial Supply Chain Management sowie dem Management der Industrie 4.0.

Prof. Dr. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Hartmut Hirsch-Kreinsen ist seit 1997 Wirtschafts- und Industriesoziologe an der TU Dortmund. Zuvor war er am Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e. V. München (ISF München) und an der TU Darmstadt tätig. Er ist *Visiting Professor* an verschiedenen ausländischen Universitäten und sozialwissenschaftliches Mitglied im wissenschaftlichen Beirat der Plattform Industrie 4.0.

Dr. Franz-Josef Hoffmann ist ein international erfolgreicher Technologie-Entrepreneur. Nach mehreren Managementpositionen bei deutschen und schweizerischen Unternehmen ging er in den 90er-Jahren in die USA, wo er für die Würth-Gruppe erfolgreich den vierten Technologie-Startup durchführte.

Gerd Hoppe sammelte bei der Beckhoff Automation GmbH Erfahrung im Marketing, Export, Produktmanagement und Vertrieb. Mehrere Jahre war er Geschäftsführer für Beckhoff Automation Nordamerika. Heute ist er Mitglied der Geschäftsleitung in Deutschland und betreut strategische Kunden sowie die Vertrags- und Patentangelegenheiten des Unternehmens. Derzeit ist er u. a. stellv. Vorsitzender des Fachverbandes Elektrische Automation im VDMA.

Stefan Hoppe ist Vice President und Board Member bei der OPC Foundation und koordiniert die Expansion von OPC UA in die Bereiche IIoT und Industrie 4.0. Nach dem Studium der Elektrotechnik an der TU Dortmund arbeitete er für BECKHOFF Automation, zunächst als Softwareentwickler und später als Senior Produkt Manager mit dem Schwerpunkt auf kleinste embedded Geräte und deren Konnektivität.

Ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Christian Huemer ist Professor in der Business Informatics Group am Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme der TU Wien. Derzeit fungiert er als Vize-Studiendekan für Wirtschaftsinformatik. Er ist Leiter von Smart Agent Technologies der Research Studios Austria. Er bekleidet verschiedene Leitungspositionen des United Nations Centre for Trade Facilitation and e-Business (UN/CEFACT).

Dr. Silke Jandt ist seit Oktober 2015 Vertreterin des Lehrstuhls für Öffentliches Recht, Informationstechnologierecht und Rechtsinformatik an der Universität Passau. Von 2011 bis 2015 war sie Geschäftsführerin und seit 2008 wissenschaftliche Mitarbeiterin der Projektgruppe verfassungsverträgliche Technikgestaltung (provet) im Wissenschaftlichen Zentrum für Informationstechnik-Gestaltung (ITeG) an der Universität Kassel.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jasperneite leitet das Fraunhofer-Anwendungszentrum Industrial Automation (IOSB-INA) und das Institut für industrielle Informationstechnik (inIT) der Hochschule Ostwestfalen-Lippe in Lemgo. Er studierte Elektrotechnik und wurde an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg mit einer Arbeit auf dem Gebiet der Echtzeit-Kommunikation promoviert. Prof. Jasperneite ist Autor/Co-Autor von mehr als 200 Veröffentlichungen und Mitglied in zahlreichen Gremien und Programmkomitees internationaler Konferenzen. Sein Forschungsinteresse liegt im Bereich der intelligenten Automation.

Jana Jost, M. Sc. arbeitet seit 2013 im Bereich Automation und Eingebettete Systeme am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören u. a. Bildverarbeitungssysteme, Fahrerlose Transportfahrzeuge und die Entwicklung Cyber-Physischer Systeme im Zuge der Industrie 4.0. Im Forschungsprojekt SmARPro beschäftigt sie sich mit der Einbindung des Menschen in die Industrieprozesse.

Dr. Volker Jungbluth hat nach seinem Studium der Fertigungstechnik an der Universität Dortmund im Bereich Materialflusstechnik promoviert. Am Fraunhofer IML leitete er die Abteilung „Maschinen und Anlagen“, von 2004 bis 2009 war er bei der Firma Dematic Leiter der Planungsabteilung. Seit 2009 arbeitet er für die Swisslog AG, zunächst als Geschäftsführer der deutschen Niederlassung, seit 2015 als Leiter der strategischen Entwicklung.

O. Univ.-Prof. Mag. Dipl.-Ing. Dr. Gerti Kappel ist Professorin für Wirtschaftsinformatik an der TU Wien, wo sie die Business Informatics Group leitet. Sie beschäftigt sich in Forschung und Lehre mit objektorientierter Softwareentwicklung, Web Engineering, sowie Process Engineering und Model Engineering. Seit 2014 ist sie Mitglied im – von der TU Wien finanzierten – Doktoratskolleg „Cyber-Physical Production Systems“ und Kuratoriumsmitglied des Österreichischen Wissenschaftsfonds FWF.

Ao. Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Kastner ist Professor am Arbeitsbereich Automatisierungssysteme der TU Wien, den er seit 2010 leitet. Seine Forschungsinteressen liegen im Bereich Entwurf und Analyse von (eingebetteten) vernetzten Systemen mit ihren Anwendungsbereichen in der Automatisierung. Besonderer Fokus liegt auf dem Themenbereich Systemintegration der Automatisierungstechnik in das zukünftige Internet der Dinge (Industrial Internet, Dependable IoT).

Dr.-Ing. Thomas Kaufmann, Vice President bei der Infineon Technologies AG, leitet innerhalb der Automotive-Division den Bereich Operations. Von 2007 bis 2014 verantwortete er die Automatisierungstechnik und Produktions-IT im Infineon Konzern weltweit. Darüber hinaus vertritt Dr. Kaufmann das Unternehmen in der Plattform Industrie 4.0.

Dr.-Ing. Sören Kerner leitet die Abteilung Automation und eingebettete Systeme des Fraunhofer Instituts für Materialfluss und Logistik (IML) seit Anfang 2014. Er vertiefte sich bereits während des Informatikstudiums in die Anwendung der autonomen Robotik und promovierte am Institut für Roboterforschung auf diesem Gebiet. Im Anschluss arbeitete er für einige Jahre in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung von Caterpillar Global Mining HMS an Themen der Automatisierung und Sensorischen Assistenz von Großhydraulikbaggern für den Tagebau.

Hamed Khorasgani, M. Sc. ist Doktorand am Institute for Software Integrated Systems (ISIS) der Vanderbilt University in Nashville (Tennessee, USA). Seine Forschungsschwerpunkte liegen auf der Fehlerdiagnose und Prognose von komplexen und hybriden Systemen.

Dr. John S. Kinnebrew hat Computer Science an der Harvard University studiert und den Titel B. A. erlangt. Den Master und Ph. D. absolvierte er an der Vanderbilt University. Seine Arbeitsschwerpunkte sind u. a. Data Mining, maschinelles Lernen und intelligente Agenten. Aktuell arbeitet er als Forschungsmitarbeiter bei Bridj.

Thomas Kirks, M. Eng. arbeitet seit 2011 im Bereich Automation und Eingebettete Systeme am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören Mensch-Technik-Schnittstellen, Fahrerlose Transportfahrzeuge und die dezentrale Vernetzung und Integration von Cyber-Physischen Systemen. Im Projekt SmARPro befasst er sich mit dem Systemdesign von Mensch-Technik-Schnittstellen.

Christopher Kirsch, M. Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Automation und eingebettete Systeme“ am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) in Dortmund. Das Fraunhofer IML entwickelt innovative Trends und Technologien, unter anderem für einen modernen Materialfluss.

Michael Kleinemeier ist Mitglied des Vorstands der SAP SE und verantwortet den Bereich Global Service & Support. Kleinemeier ist seit vielen Jahren in leitenden Positionen bei SAP tätig, er leitete unter anderem die Region Mittel- und Osteuropa sowie die deutsche Landesgesellschaft. Neben dem Vertrieb liegt ihm die digitale Transformation am Herzen, die er in den von ihm verantworteten Märkten erfolgreich vorangetrieben hat.

Dipl.-Ing. Steffen Kleinert studierte Maschinenbau mit den Schwerpunkten Automatisierungs- und Steuerungstechnik. Derzeit ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover und Leiter der Abteilung Automatisierungstechnik. Seine Forschungsschwerpunkte sind Bildverarbeitung und Sensorsysteme für kognitive Flurförderzeuge.

Dr. Eric Klemp ist Geschäftsführer am Direct Manufacturing Research Center (DMRC) der Universität Paderborn, welches das Ziel hat, Additive Fertigungsverfahren zu echten Produktionsverfahren weiterzuentwickeln. Nach dem Studium und Promotion an der TU Clausthal war er Projektleiter bei der Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH und anschließend Produktarchitekt bei der Rational AG.

Matthias Klug begann seine Tätigkeiten für die STILL GmbH im Jahr 1992. Nach seiner federführenden Tätigkeit beim Aufbau des Vertriebsnetzwerks leitet er seit 2007 bis heute die internationale Unternehmenskommunikation der STILL GmbH und tritt in dieser Funktion als Referent für die Themenfelder Marketing und Logistik in Bezug auf die Industrie 4.0 sowie auf emotionales B2B Marketing auf.

Dr. Thomas Knoll ist Leiter Planning & Operations im HR-Bereich der Deutschen Telekom AG und verantwortet die Konzern-Personalplanung sowie den HR-Shared Service. Zuvor mitverantwortete er als CFO Digital Business Unit DTAG die Entwicklung von neuen Geschäftsmodellen und Innovationen. Von 2006 bis 2011 war er Leiter Group Audit & Risk Management der DTAG. Zuvor war er in verschiedenen Planungs- und Controllingbereichen der DTAG tätig.

Dipl.-Ing. Olga Kovalenko ist Doktorandin an der TU Wien. Sie untersucht die Anwendung von Semantic Web Technologien für die Verbesserungen von Produkten und Prozessen im multidisziplinären Engineering. Ihre Beiträge beinhalten das Erstellen von Lösungen für das Finden von Fehlern in heterogenen Engineering-Umgebungen über Disziplinen und Werkzeuge hinweg sowie die semantische Repräsentation von AutomationML Modellen.

Dr. Uwe Kubach ist in der Entwicklung bei SAP tätig und Mitglied der Arbeitsgruppe Forschung und Innovation in der Plattform Industrie 4.0. Er verfügt über mehrjährige Erfahrungen im Bereich Internet der Dinge und hat das Thema bei SAP von der Forschung bis zur Produktreife begleitet. Unter seiner Leitung entwickelte SAP die Erweiterungen ihrer Cloud-Plattform für das Internet der Dinge.

Dennis Lappe, M. Sc. leitet bei der POLIPOL beteiligungs- u. verwaltungs-gmbh die Abteilung Prozessmanagement (Technik/Produktion). Er verantwortet in der europaweit agierenden POLIPOL-Gruppe, die zu den führenden Polstermöbelherstellern in Europa gehört, die kontinuierliche Verbesserung und Standardisierung der bestehenden Produktionsabläufe.

Dr. Alexander Lautz ist Senior Vice President M2M bei der Deutschen Telekom AG. In dieser Rolle hat er die Gesamtverantwortung für das konzernweite M2M-Geschäft. Nach seiner Promotion in St. Gallen war er zuvor in mehreren Managementpositionen tätig, unter anderem bei der CNI GmbH, bei Mannesmann Arcor und als Geschäftsführer der Telekom-Tochter congstar.

Dr. Armin Lechler ist am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart geschäftsführender Oberingenieur und Mitglied der Institutsleitung. Er verantwortet dort die Forschungsaktivitäten und Industriekooperationen des Instituts. 2011 promovierte er mit Auszeichnung im Bereich der industriellen Kommunikationstechnik.

Dr.-Ing. Christian Lehmann ist seit 2010 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Automatisierungstechnik. Er promovierte 2015 in der Roboterforschung und war an mehreren nationalen Forschungsprojekten sowie als technischer Projektleiter am EU-Projekt COMET beteiligt. Derzeit arbeitet er an der Entwicklung von Roboter- und Prozessmodellen für die Offline-Kompensation von Bearbeitungsprozessen und erstellt aktuell einen Funktionsdemonstrator im Rahmen des FP7-Projektes SMErobotics.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marco Lewandowski studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Bremen und leitet das LogDynamics Lab an der Universität Bremen, welches die Einsatzmöglichkeiten neuer Schlüsseltechnologien für komplexe Abläufe in der Produktion und Logistik erforscht.

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Liggesmeyer ist seit 2015 der geschäftsführende Leiter des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern. Von 2004 bis 2014 war er der wissenschaftliche Leiter des Fraunhofer IESE. Er ist seit 2004 Inhaber des Lehrstuhls für Software Engineering: Dependability am Fachbereich Informatik der Technischen Universität Kaiserslautern und leitet seit 2014 die Geschicke der Gesellschaft für Informatik (GI e.V.) als deren Präsident.

Dr.-Ing. Matthias Loskyll ist Projektleiter in der Vorfeldentwicklung der Siemens AG in den Bereichen Automation IT, Manufacturing Execution Systems und Industrie 4.0. Zuvor war er als stellv. wissenschaftlicher Leiter des Forschungsbereichs Innovative Fabrikssysteme der DFKI GmbH und als wissenschaftlicher Koordinator der SmartFactoryKL e.V. in Kaiserslautern tätig.

Dr.-Ing. Dominik Lucke ist Projektleiter in der Gruppe Instandhaltungsmanagement am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Er studierte und promovierte im Maschinenbau an der Universität Stuttgart. Seit 2007 forscht er am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart sowie am Fraunhofer IPA in den Bereichen Digitale Fabrik, Smart Factory, Fabrikplanung und Instandhaltungsmanagement. Seine Schwerpunkte sind neben die Entwicklung von Industrie 4.0-Anwendungen, die zielgerichtete Optimierung der Anlagenverfügbarkeit und der Instandhaltung.

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Arndt Lüder studierte Mathematik an der Universität Magdeburg und arbeitete danach an den Universitäten Magdeburg und Halle an der

Untersuchung formaler Methoden zum Steuerungsentwurf. Seit 2001 ist er Mitarbeiter am Center Verteilte Systeme der Fakultät Maschinenbau der Universität Magdeburg, das er heute leitet. Er habilitierte zum Thema „Verteilte Steuerungssysteme“ und erhielt den Titel „Außerplanmäßiger Professor“ für den Bereich Fabrikautomation verliehen.

Dr. Herbert Machill ist Gründer der Aibotix GmbH und war dort bis Ende 2015 Geschäftsführer. Davor durchlief er diverse Management-Positionen bei Daimler, debis, T-Systems GmbH (Senior Executive Vice President der Industry Line Services) und Wincor Nixdorf AG (Bereichsvorstand Retail).

Kevin Marshall, LL. M. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Projektgruppe verfassungsgestaltende Technikgestaltung (provet) im Wissenschaftlichen Zentrum für Informationstechnik-Gestaltung (ITeG) der Universität Kassel bei Prof. Dr. Alexander Roßnagel. Seine Interessen- und Forschungsschwerpunkte liegen im IT- und Datenschutzrecht sowie im Wirtschaftsstrafrecht.

Dipl.-Inf. Benedikt Mättig arbeitet seit 2011 am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik im Bereich AutoID-Technologien und befasst sich in seiner Forschungsarbeit intensiv mit den Veränderungen der Industrie 4.0 und den Folgen für den Menschen. Darüber hinaus hat er innerhalb des EU-Forschungsprojektes IoT-A an der Entwicklung eines Referenzmodells für das Internet der Dinge mitgewirkt.

Dipl.-Ing. Felix Mayer studierte Maschinenwesen an der Technischen Universität München und beschäftigte sich mit modernen Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine, wie Touchinteraktion und Augmented Reality innerhalb von agentenbasierten Cyber-Physischen Produktionssystemen (CPPS).

Dr. techn. Dipl.-Ing. Alexandra Mazak ist seit September 2013 an der TU Wien als Senior Researcher in nationalen und internationalen Forschungsprojekten tätig. Zurzeit ist sie operative und wissenschaftliche Leiterin des von der FFG in der Programmlinie IKT der Zukunft geförderten Sondierungsprojektes InteGra 4.0 (Horizontal and Vertical Interface Integration 4.0).

Dipl.-Ing. Mag. Dr. techn. Richard Mordinyi ist Postdoc im Christian-Doppler-Forschungslabor „Software Engineering Integration für flexible Automatisierungssysteme“ (CDL-Flex) an der Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien. Seine Forschungsinteressen liegen im Bereich der Modell-getriebenen Konfiguration von Integrationsplattformen und Agiler Softwarearchitekturen.

Prof. Dr. Oliver Niggemann ist Professor der Informatik an der Hochschule OWL, Leiter der Forschungsgruppe „Artificial intelligence in Automation“ am Institut für industrielle Informationstechnik (inIT) und stellvertretender Leiter des Fraunhofer-Anwendungszentrums Industrial Automation. Seine Forschungsschwerpunkte sind Simulation und Diagnose technischer Systeme sowie maschinelles Lernen.



4 INDUSTRY 4.0
READY

WIR BRINGEN INDUSTRIE 4.0 AUF DEN WEG.

THIS IS **SICK**

Sensor Intelligence.

Das Informationszeitalter hat für die Industrie erst begonnen. Intelligente, robuste und zuverlässige Sensorik ist unverzichtbar für Herausforderungen wie sichere Mensch-Maschine-Interaktion, immer individuellere Kundenwünsche, hohe Varianz und die Beherrschung kurzfristiger Nachfrageschwankungen. Wir zeigen Ihnen, was heute schon möglich ist. Gehen Sie mit uns gemeinsam den Weg in eine effizientere Zukunft. www.sick.de/i40

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer studierte Elektrotechnik an der Universität Hannover und arbeitete als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Laser Zentrum Hannover e. V. (LZH). Nach seiner Promotion war er als Führungskraft im Bereich Forschung und Entwicklung im Maschinen- und Anlagenbau für die Halbleiterindustrie tätig. Seit 2002 leitet er das Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. Im Jahr 2007 übernahm er die Funktion eines geschäftsführenden Gesellschafters des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. Seit 2010 ist er zudem Mitglied des Vorstands und seit 2013 wissenschaftlich-technischer Geschäftsführer des LZH.

Dr.-Ing. Dorothea Pantförder studierte Elektrotechnik, Fachrichtung Automatisierungstechnik, an der Bergischen Universität Wuppertal und beschäftigt sich am Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme der TU München im Forschungsschwerpunkt seit vielen Jahren mit den Themen der Mensch-Maschine-Interaktion speziell im Bereich der Operatorunterstützung während der Prozessführung in industriellen Leitwarten.

Dr.-Ing. Josef Papenfort arbeitet bei Beckhoff als leitender Produktmanager TwinCAT. Nach der Promotion und einer mehrjährigen Tätigkeit bei Schneider Electric arbeitete er zunächst einige Jahre in der Software-Entwicklung bevor er in das Produktmanagement wechselte. Bei Beckhoff ist er in verschiedenen deutschen und europäischen Forschungsprojekten tätig und außerdem aktiv in der PLCopen.

Florian Podszus, M. Sc. arbeitet als Projektingenieur am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH und promoviert an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. Im Bereich der Forschung liegen seine Interessenschwerpunkte auf der Mensch-Maschine-Interaktion und der Entwicklung von mechatronischen Systemkomponenten.

Severina Popova-Dlugosch ist in der Usability und User Experience Forschung am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München tätig. Durch ihren Forschungsschwerpunkt Touchscreen-Interaktion hat sie in zahlreichen Entwicklungsprojekten bei Unternehmen in den Bereichen Automobil- und Nutzfahrzeugentwicklung, Haushaltsgeräteentwicklung und -produktion mitgewirkt. Sie ist Mitautorin der Richtlinie VDE/VDI 3850 „Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen“.

Dr. Till Potente studierte an der RWTH Aachen Maschinenbau mit der Fachrichtung Fertigungstechnik. Seit 2006 ist er Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssystematik (WZL) der RWTH Aachen und seit November 2008 hat er die Leitung der Gruppe Produktionslogistik übernommen. Von 2011 bis 2014 war er Oberingenieur für die Abteilung Produktionsmanagement. Seit 2014 ist er Manager Operational Excellence bei Hella KGaA Hueck & Co.

Dr.-Ing. Jens Pottebaum forscht und lehrt als Akademischer Oberrat in der Fakultät Maschinenbau der Universität Paderborn in der Schnittstelle von Produktentstehung und unterstützender Informationstechnologie. Dabei agiert er u. a. als Projektmanager des europäischen Verbundprojekts RepAIR, das innovative Lösungen für die Instandhaltung von Flugzeugen mittels Additive Manufacturing anstrebt.

Dr.-Ing. Giovanni Prestifilippo ist seit September 2013 Geschäftsführer der PSI Logistics GmbH, Berlin. Nach seiner Promotion 2003 arbeitete er zunächst als Gruppenleiter in der Abteilung Verkehrslogistik am Fraunhofer IML in Dortmund, wo er seit 1993 tätig war. 2008 übernahm er die Position des Bereichsleiters für Logistische Netze und die Prokura am Standort Dortmund der PSI Logistics. Er nimmt Dozenten- und Referententätigkeiten im Logistikumfeld wahr und engagiert sich in Vereinen und Arbeitsgruppen (u. a. VDI, BVL).

Daniel Regulin, M.Sc., ist seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme (AIS) der Technischen Universität München. Seine Arbeitsgebiete umfassen die modellbasierte Entwicklung von verteilten Steuerungssystemen, deren Verknüpfung sowie die Analyse der resultierenden Eigenschaften.

Dr. Christina Reuter studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit Fachrichtung Maschinenbau an der RWTH Aachen und Industrial Engineering an der Tsinghua University in Peking. Seit 2010 ist sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Produktionssystematik (WZL) der RWTH Aachen und hat seit 2012 die Leitung der Gruppe Produktionslogistik übernommen. Im Jahr 2014 wurde sie Obergeringenieurin der Abteilung Produktionsmanagement.

Dr. Matthias Riedl arbeitete nach dem Studium der Informatik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg seit 1994 am ifak Magdeburg an mehreren Forschungs- und Industrieprojekten zu den Themen Geräteintegration oder verteilte Steuerungssysteme. Insbesondere die beschreibenden Technologien, wie die Gerätebeschreibungssprache EDDL, liegen im Fokus seiner Arbeiten. 2005 promovierte er zum Thema verteilte Steuerungssysteme. Seit 2008 übernahm er innerhalb des ifak leitende Funktionen und ist momentan für das Geschäftsfeld IKT & Automation verantwortlich.

Dipl.-Ing. Susanne Rösch schloss im November 2011 ihr Diplom in Maschinenwesen an der Technischen Universität München (TUM) ab und arbeitet seit Januar 2012 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme (AIS) an der TUM. Neben der Forschung an Themen bezüglich Industrie 4.0 ist sie auf dem Gebiet der effizienten Testfallerstellung und des Testens von Steuerungssoftware in der Automatisierungstechnik tätig.

Prof. Dr. Alexander Roßnagel ist Professor für Öffentliches Recht, Leiter der Projektgruppe verfassungsverträgliche Technikgestaltung (provet) und Direktor

des Wissenschaftlichen Zentrums für Informationstechnik-Gestaltung (ITeG) der Universität Kassel. Er wurde im Jahr 2007 als erster Jurist zum Fellow der Gesellschaft für Informatik (GI) ernannt.

Dr. Marta Sabou ist Senior PostDoc an der TU Wien und international anerkannte Forscherin in den Bereichen Semantic Web, Linked Data und Human Computation. Sie wendet Semantic Web-Techniken in diversen Bereichen an, wie Administration oder Tourismus, und kürzlich in multidisziplinären industriellen Engineering-Umgebungen. Sie ist Autorin von über 70 wissenschaftlichen Publikationen sowie Track Chair für Kernkonferenzen im Bereich Semantic Web, z. B. der European Semantic Web Conference 2015.

Dipl. oec. soc. Anja Schatz ist am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA verantwortlich für den Bereich Business Development. Zuvor leitete sie die Abteilung Auftragsmanagement und Wertschöpfungsnetze. Ihre Kernbranchen sind der Maschinen- und Anlagenbau, Automotive und die Luft- und Raumfahrtindustrie.

Dr.-Ing. Jan Schlechtendahl ist am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart für die Koordination der Forschung verantwortlich. Steuerungstechnik aus der Cloud bildet dabei seit einigen Jahren einen Forschungsschwerpunkt im Themenfeld Industrie 4.0. Nebenbei promovierte er – nach dem Studium der Automatisierungstechnik – über die energieeffiziente Ansteuerung von Werkzeugmaschinen.

Dr.-Ing. Jochen Schlick leitet das Zukunftsfeld CPS bei der WITTENSTEIN AG und verantwortet die Entwicklung unternehmensweiter Digitalstrategien. Zuvor war er stellv. Forschungsbereichsleiter bei der DFKI GmbH sowie Forschungskordinator der *SmartFactory*^{KL} e.V. Nach seiner Promotion 2005 an der TU Kaiserslautern leitete er internationale Projekte bei der Robert Bosch GmbH.

Dipl.-Ing. Nicole Schmidt studierte Mechatronik an der Universität Magdeburg, wo sie 2012 ihr Diplom ablegte. Seit März 2012 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am IAF der Universität Magdeburg. Ihr Arbeitsgebiet liegt im Bereich der Fabrikautomatisierung mit Fokus auf der Optimierung von Entwurfsprozessen. Sie arbeitet außerdem in der AutomationML e.V. Geschäftsstelle an der Weiterentwicklung und Standardisierung des Datenaustauschformates AutomationML.

Dr. Harald Schöning ist Vice President Research bei der Software AG. Nach der Promotion an der Universität Kaiserslautern arbeitete er in der Software AG als Entwickler, Chefarchitekt und Projektleiter in verschiedenen Bereichen und ist derzeit für alle öffentlich geförderten Forschungsprojekte der Software AG verantwortlich. Er ist Sprecher des Software-Clusters und Vorsitzender des BITKOM-

Arbeitskreises „Industrie 4.0 – Markt und Strategie“ und Mitglied im Lenkungskreis der Plattform Industrie 4.0.

Dr. Andreas Schreiber ist bei der Phoenix Contact GmbH & Co. KG in der Support Unit Manufacturing Solutions tätig. Zunächst war er Mitarbeiter in der Fertigungstechnologie-Entwicklung und leitet heute im unternehmensinternen Sondermaschinenbau die Abteilung Industrial Automation mit den Themenfeldern Technologieentwicklung und Fertigungs-IT.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Günther Schuh studierte Maschinenbau und Betriebswirtschaftslehre an der RWTH Aachen. Er promovierte 1988 nach einer Assistentenzeit am WZL. 1993 wurde er auf den Lehrstuhl für betriebswirtschaftliches Produktionsmanagement am Institut für Technologiemanagement der Universität St. Gallen (HSG) berufen. 2002 übernahm er den Lehrstuhl für Produktionssystematik der RWTH Aachen und wurde gleichzeitig Mitglied des Direktoriums des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen und des Fraunhofer IPT in Aachen. Seit Oktober 2004 ist er ebenfalls Direktor des Forschungsinstituts für Rationalisierung e.V. (FIR) an der RWTH Aachen. Seit Januar 2015 ist er Vorsitzender des Vorstands der *e.GO Mobile AG*.

Dr.-Ing. Daniel Schütz ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter (Postdoc) am Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme (AIS) der Technischen Universität München tätig. Seine Forschungsgebiete umfassen die modellbasierte Entwicklung agentenbasierter Automatisierungssysteme im Maschinen- und Anlagenbau sowie die durchgängige Vernetzung der Feldebene innerhalb von Anwendungen der Industrie 4.0.

Dipl.-Ing. Zázilia Seibold ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Sie ist an der Entwicklung mehrerer cyber-physischer Systeme beteiligt; ihr Fokus liegt dabei auf der Gestaltung dezentraler Steuerungsalgorithmen für modulare Fördertechnik.

Dipl.-Ing. Joachim Seidelmann leitet seit 2012 am Fraunhofer IPA das Kompetenzzentrum „Digitale Werkzeuge für die Produktion“. Er beschäftigt sich intensiv mit dem Thema Industrie 4.0 und der Umsetzung und Einführung von Industriekonzepten in produzierenden Unternehmen. Nach dem Studium des Maschinenwesens an der Universität Stuttgart arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion am Fraunhofer IPA. Von 2000 bis 2011 leitete er dort die Gruppen „Logistik“ und „Produktions-IT“.

Nikita Shchekutin, M. Sc. studierte Maschinenbau mit den Schwerpunkten Robotertechnik und Steuerungstechnik an der Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Derzeit ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik der Gottfried Wilhelm Leibniz

Universität Hannover. Sein Forschungsschwerpunkt ist die dezentrale Steuerung von Materialflusssystemen.

Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Alexander Sinsel, MBA, lehrte und forschte an der Universität Heidelberg auf dem Gebiet der selbstorganisierten Steuerung komplexer Systeme. Bis heute war er bei verschiedenen Herstellern produktionsnaher IT für Produktinnovation und strategisches Produktmarketing verantwortlich. Im Forschungsprojekt SmARPro liegt sein Fokus auf der dezentralen Fertigungssteuerung.

Johann Soder verantwortet bei SEW-EURODRIVE den Bereich Technik. Die Aufgabenstellung umfasst die Führung der F&E und des Produktionsbereichs. Unter seiner Leitung wurde eine auf Wertschöpfung ausgerichtete Produktion realisiert.

Simon Sohrt, M. Sc. studierte Maschinenbau mit den Schwerpunkten Automatisierungstechnik, Produktentwicklung und Fertigungsverfahren. Derzeit ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte sind Routingalgorithmen von kognitiven Transportsystemen.

Dipl.-Ing. J. Philipp Städter ist seit 2011 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Automatisierungstechnik. Sein Promotionsvorhaben befasst sich mit sensorgestützten Handhabungssystemen unter Einsatz von Mensch-Roboter Kollaboration. Er ist an F&E-Projekten beteiligt, die sich mit den Themen Industrierobotik, flexible Produktionssysteme und visuelle Systemerfassung befassen. Hierzu gehörten u. a. die Europäischen Verbundforschungsprojekte COMET und SMERobotics.

Dr. Dieter Steegmüller studierte an der Universität Stuttgart Chemie. Nach seiner Promotion ging er zur Daimler AG. Dort ist er Centerleiter Produktions- und Werkstofftechnik. Er ist im Rahmen der Möglichkeiten, die Industrie 4.0 bietet, insbesondere an der Umsetzung von Technologien und deren konkretem wirtschaftlichen Potenzial interessiert.

Heinrich Steininger ist Geschäftsführer der logi.cals GmbH und beschäftigt sich seit mehr als dreißig Jahren praktisch und theoretisch mit SW-Werkzeugen für Automationsengineering. Im Rahmen eines von logi.cals initiierten und betriebenen Forschungslabors an der TU Wien arbeitet er seit 2009 an Methoden und Plattformen für die horizontale Integration von Engineeringprozessen im Kontext von Industrie 4.0.

Dr.-Ing. Peter Stephan ist Projektleiter im Zukunftsfeld CPS der WITTENSTEIN AG, verantwortet die Umsetzung von Industrie 4.0 in der „Schaufensterfabrik“ der WITTENSTEIN bastian GmbH und entwickelt digitale Geschäftsmodelle für netzwerkfähige Produkte. Er promovierte 2012 am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz und war Projektkoordinator der *SmartFactory*^{KL} e.V.

Dr.-Ing. Heiko Stichweh studierte Energiesystemtechnik an der TU Clausthal-Zellerfeld und war dort bis zu seiner Promotion wissenschaftlicher Mitarbeiter. Seit 2011 leitet er die Abteilung Innovation der Lenze SE.

Dr. Thomas Tauchnitz ist bei der Sanofi-Aventis Deutschland GmbH tätig als Technology Transfer Manager in der Injectables Platform. Er ist Mitglied des NAMUR-Vorstands und Leiter des GMA-Fachausschusses 6.16. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Prozess- und Betriebsleitebene sowie Engineering-Systeme.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Michael Teucke hat Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Magdeburg studiert und arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen, wo er sich mit dem Einsatz Auto-ID-Technik und Wearable Computing in Produktions- und Logistikprozessen befasst.

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Thoben leitet das Fachgebiet Integrierte Produktentwicklung an der Universität Bremen und ist Leiter des Forschungsbereichs Informations- und kommunikationstechnische Anwendungen in der Produktion (IKAP) des Bremer Instituts für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen (BIBA).

Dipl.-Ing. Mario Thron studierte Elektrotechnik an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg. Danach arbeitete er im Fördertechnik-Anlagenbau und war für die Projektierung und Inbetriebnahme diverser Automatisierungstechnischer Anlagen verantwortlich, bevor er seine Forschungstätigkeit am Institut für Automation und Kommunikation (ifak) e.V. in Magdeburg aufnahm. Dort ist er heute als Senior-Engineer im Geschäftsfeld IKT & Automation in den Themengebieten System Engineering, Virtuelle Inbetriebnahme und Systemintegration tätig.

Dr. Karl Tragl übernahm im Juli 2010 den Vorsitz des Vorstands der Bosch Rexroth AG. Seit dem 1. Januar 2015 ist zudem verantwortlich für die Entwicklung bei Bosch Rexroth. Der promovierte Ingenieur gehört dem Vorstand der Bosch Rexroth AG bereits seit 2008 an und prägte die Neuausrichtung des Unternehmens mit Fokus auf Märkte und Branchen.

Dr. Mario Trapp promovierte an der TU Kaiserslautern zu sicherheitskritischen adaptiven Systemen und ist anschließend an das Fraunhofer Institut für Experimentelles Software Engineering gewechselt. Dort arbeitete er zunächst als Abteilungsleiter für den Bereich sicherheitskritische Systeme und leitet heute die Hauptabteilung „Embedded Systems“.

Dr.-Ing. Thies Uwe Trapp studierte Maschinenbau an der TU Clausthal und promovierte über Fertigungsverfahren der Hybridelektronik. Er ist Referent für Industrie 4.0 im Werk Homburg der Robert Bosch GmbH (Geschäftsbereich Diesel

Systems) und beschäftigt sich dort in verschiedenen Fach- und Führungsaufgaben mit Prozess- und Prozesskettenentwicklung sowie mit Fertigung.

Dipl.-Inform. Andreas Trenkle ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Er leitet die Arbeitsgruppe für Robotik und Assistenzsysteme im Materialfluss. Seine Forschungsschwerpunkte sind Mensch-Maschine-Interaktion und Sicherheitstechnik für dezentral gesteuerte Fahrerlose Transportsysteme.

Dr.-Ing. Tobias Voigt forscht und habilitiert sich als Leiter der Arbeitsgruppe Anlagentechnik und Informationstechnologie am Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik der TU München zur Abfüll- und Verpackungstechnik, der nachhaltigen industriellen Lebensmittelproduktion sowie deren informationstechnischer Unterstützung. Zudem ist er Geschäftsführer der Industrievereinigung für Lebensmitteltechnologie und Verpackung e. V.

Sören Volgmann, M. Sc. studierte Information Technology im internationalen Studiengang der HS-OWL. Im Anschluss arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe Intelligente Automation am Fraunhofer Anwendungszentrum IOSB-INA. Seit Ende 2015 ist er für die Firma Phoenix Contact in der Abteilung Digital Value Chain tätig.

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wegener ist bei der Siemens AG tätig. Nach Forschungstätigkeit beim DLR und mehrjähriger Beratertätigkeit bei McKinsey&Co. übernahm er die Leitung der Gasturbinenentwicklung bei Siemens. Danach war er CTO des Bereiches Industry Solutions sowie Leiter der Vorfeldentwicklung von Siemens Industry. Heute ist er Sprecher des „ZVEI-Führungskreises Industrie 4.0“ sowie Sprecher des „DKE-Beraterkreises Technologie“.

Dr. Götz Wehberg ist Berater und Autor. Er verfügt über knapp zwanzig Jahre Erfahrung in der Transformation und Effizienzsteigerung großer und mittelständischer Unternehmen. In dieser Zeit war er u. a. zwei Jahre in Lateinamerika und vier Jahre im Mittleren Osten tätig. Sein Tätigkeitsschwerpunkt liegt insbesondere im Logistik- und Energiemanagement.

Dipl.-Ing. Benedikt Weißenberger studierte Mechatronik und Informationstechnik an der Technischen Universität München (TUM). Er ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme (AIS) der TUM mit dem Forschungsschwerpunkt Modellierung von Manufacturing Execution Systems.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dirk Werthmann studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Bremen und ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen. Seine

Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Prozessoptimierung mit Hilfe von Auto-ID-Technik und dem damit verbundenen Informationsaustausch in Produktionsnetzwerken.

Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich ist Ingenieurwissenschaftler und Universitätsprofessor. Seit 2013 leitet er das Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS) an der Universität Stuttgart. Zuvor bekleidete er vier Jahre einen Universitäts-Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung in Nordrhein-Westfalen und war in seiner Industrietätigkeit 10 Jahre bei Siemens und Daimler in verantwortungsvoller Position tätig.

Univ.-Ass. Mag. Manuel Wimmer ist in der Business Informatics Group am Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme der TU Wien als Senior Researcher tätig. Er beschäftigt sich mit den Grundlagen und Anwendungen der modellgetriebenen Entwicklung, z. B. in den Bereichen Interoperabilität und Modernisierung von Softwarewerkzeugen, Evolution und Versionierung von Modellen, sowie Softwaregenerierung und Softwareanalyse.

Dipl.-Ing. Dietmar Winkler ist Projektassistent an der Technischen Universität Wien am Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme und Key Researcher für Qualitätsmanagement und Engineering-Prozessverbesserung im Christian Doppler Labor „Software Engineering Integration für flexible Automatisierungssysteme“.

Dipl.-Inform. Oliver Wolf studierte nach der Ausbildung zum Industriekaufmann bei Siemens Nixdorf Informationssysteme AG Wirtschaftsinformatik in Paderborn und Dortmund. Nach Stationen in der Wirtschaft wechselte er 1996 zum Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML), wo er die Internationale Marktstudie Warehouse Management Systeme aufbaute. Seit 2010 leitet er die Abteilung Software Engineering, die die Softwareentwicklungskompetenzen des Fraunhofer IML bündelt. Außerdem ist er Manager des Fraunhofer-Innovationsclusters „Cloud Computing für Logistik“.

Dr. Christian Wurll ist Bereichsleiter des Robogistics Technologie Zentrum der Swisslog Automation GmbH. Er promovierte im Jahr 2000 in Informatik an der Universität Karlsruhe und veröffentlichte über 40 Beiträge in den Bereichen Robotik, Vision und Suchalgorithmen. Im April 2000 begann er seine Karriere in der KUKA-Gruppe in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung, danach übernahm er die Aufgabe als Chief Technology Officer (CTO) der Business Unit General Industry der Grenzebach Automation GmbH.

Helmut Zaiser, M.A. ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IAO mit den Arbeitsschwerpunkten Früherkennung von Kompetenz- und Qualifikationsanforde-

rungen, Forschungs- und Innovationspolitik sowie Analyse der Wirkungen technisch-organisatorischer Veränderungen auf Qualifikationsentwicklungen.

Dr.-Ing. Michael Zürn studierte Verfahrenstechnik an der Universität Stuttgart, wo er auch promovierte. Nach seiner Tätigkeit bei der Fraunhofer-Gesellschaft ging er zur Daimler AG. Dort leitet er die Werkstoff- und Fertigungstechnik.

LET'S TALK ABOUT FLEXIBILITY

This is a FM Blank Page



Und darüber, wie modulare Fördertechnik
zusammen mit Ihren Anforderungen wächst.

Sprechen Sie mit uns über SLM, die SSI Schäfer Logistik Module. Smarte Behälter- und Palettenfördertechnik für Ihre großen und kleinen Projekte. Mit einzeln verfügbaren Komponenten oder als ganzheitliche Lösung vom marktführenden Komplettanbieter aus einer Hand. Nach dem Baukastenprinzip perfekt passend auf Ihre Anforderungen und, wenn nötig, dynamisch erweiterbar. Abgerundet durch ein modulares Servicepaket.

Damit Sie wettbewerbsfähig bleiben und für weiteres Wachstum gerüstet sind – egal, was kommt.
LET'S TALK.

Inhaltsverzeichnis

Teil I Industrie-4.0-Anwendungsszenarien	1
Use Case Production	3
Johann Soder	
Wandlungsfähige Produktionssysteme für den Automobilbau der Zukunft	27
Dieter Steegmüller und Michael Zürn	
Teil II Cyber-physische Produktionssysteme (CPPS)	45
iBin – Anthropomatik schafft revolutionäre Logistiklösungen	47
Franz-Josef Hoffmann	
Steuerung aus der Cloud	61
Armin Lechler und Jan Schlechtendahl	
Cyberphysische Systeme für die prädiktive Instandhaltung	75
Dominik Lucke, Marcus Defranceski und Thomas Adolf	
Teil III Vertikale und horizontale Integration der Wertschöpfungskette	93
Horizontale Integration der Wertschöpfungskette in der Halbleiterindustrie	95
Thomas Kaufmann und Lisa Forstner	
Teil IV Sozio-technische Systeme in der Industrie 4.0	105
Safety in der Industrie 4.0	107
Peter Liggesmeyer und Mario Trapp	
Weiterbildung und Kompetenzentwicklung für die Industrie 4.0	125
Wilhelm Bauer, Bernd Dworschak und Helmut Zaiser	

Verkürzte Entscheidungsfindung in der Produktion	139
Marcus Defranceski	
Der Mensch in der Industrie – Innovative Unterstützung durch Augmented Reality	153
Jana Jost, Thomas Kirks, Benedikt Mättig, Alexander Sinsel und Thies Uwe Trapp	
Teil V Plattformen für Industrie 4.0 und IT-Sicherheit	175
Sichere Industrie-4.0-Plattformen auf Basis von Community-Clouds	177
Johannes Diemer	
Teil VI Einführungsszenarien zur Industrie-4.0-Fertigung	205
SPS-Automatisierung mit den Technologien der IT-Welt verbinden	207
Thomas Bürger und Karl Tragl	
Von der Automatisierungspyramide zu Unternehmenssteuerungsnetzwerken	219
Michael Kleinemeier	
Migration zur Industrie- 4.0-Fertigung	227
Andreas Bildstein und Joachim Seidelmann	
Teil VII Digitalisierung der Wertschöpfung	243
Geschäftsmodell-Innovationen	245
Anja Schatz und Thomas Bauernhansl	
Sachverzeichnis	261

INDUSTRIE 4.0

MIGRATIONSSZENARIOEN

PROZESSOPTIMIERUNG

GESCHÄFTSMODELLE



Potenziale erkennen und umsetzen

Die Zukunftsoffensive Industrie 4.0 – auch als vierte industrielle Revolution bekannt – eröffnet Produktionsunternehmen vielfältige Möglichkeiten für neue Produktionsabläufe, Geschäftsmodelle und Dienstleistungen. Die Stuttgarter Produktionsakademie hat in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPA eine eigene Seminarreihe zum Thema Industrie 4.0 entwickelt, in der die Teilnehmer lernen, Industrie 4.0 Schritt für Schritt im eigenen Unternehmen umzusetzen.



www.stuttgarter-produktionsakademie.de

WEITERBILDUNGSBEDARF

● Besuchen Sie unsere Seminare und bringen Sie Ihr Wissen auf den neuesten Stand.

Mitarbeiterverzeichnis

Thomas Adolf Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland

Wilhelm Bauer Fraunhofer IAO, Stuttgart, Deutschland

Thomas Bauernhansl Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland

Andreas Bildstein Kompetenzzentrum Digitale Werkzeuge in der Produktion, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland

Thomas Bürger Bosch Rexroth AG, Lohr am Main, Deutschland

Marcus Defranceski Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland

Johannes Diemer Hewlett-Packard GmbH, Berlin, Deutschland

Bernd Dworschak Fraunhofer IAO, Stuttgart, Deutschland

Lisa Forstner Infineon Technicumologies AG, Neubiberg, Deutschland

Franz-Josef Hoffmann Wurth Electronics ICS, Inc., Dayton, OH, USA

Jana Jost Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund, Deutschland

Thomas Kaufmann Infineon Technicumologies AG, Neubiberg, Deutschland

Thomas Kirks Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund, Deutschland

Michael Kleinemeier SAP SE, SAP Service & Support, Walldorf, Deutschland

Armin Lechler Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Peter Liggesmeyer Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, Kaiserslautern, Deutschland

Dominik Lucke Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland

Benedikt Mättig Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund, Deutschland

Anja Schatz Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland

Jan Schlechtendahl Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Joachim Seidelmann Kompetenzzentrum Digitale Werkzeuge in der Produktion, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland

Alexander Sinsel Product Management, FORCAM GmbH, Ravensburg, Deutschland

Johann Soder SEW-EURODRIVE GmbH & CO KG, Bruchsal, Deutschland

Dieter Steegmüller Daimler AG, Sindelfingen, Deutschland

Karl Tragl Bosch Rexroth AG, Lohr am Main, Deutschland

Thies Uwe Trapp Diesel Systems, Plant Homburg, PJ-I4.0, Robert Bosch GmbH, Homburg, Deutschland

Mario Trapp Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, Kaiserslautern, Deutschland

Helmut Zaiser Fraunhofer IAO, Stuttgart, Deutschland

Michael Zürn Daimler AG, Sindelfingen, Deutschland



ERGREIFEN SIE NEUE GESCHÄFTSCHANCEN

Gestalten Sie erfolgreiche Industrie 4.0 Geschäftsmodelle! Wir unterstützen Sie dabei, Ihre Geschäftsideen in konkrete Geschäftsmodelle umzuwandeln und diese erfolgreich zu realisieren.



Erfahren Sie mehr:
www.unity.de/industrie-4-0/geschaeftsmodelle

UNITY
CONSULTING & INNOVATION

Teil I

Industrie-4.0-Anwendungsszenarien

Use Case Production

Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0

Johann Soder

Zusammenfassung

Die wachsende Innovationsgeschwindigkeit hat den Druck auf die Unternehmen erhöht. Künftig werden reale und virtuelle Welt miteinander verschmelzen und ganzheitlich miteinander vernetzt sein. Wie in der Vergangenheit braucht ein Unternehmen auch in der Zukunft ein stabiles Fundament. Tatsächlich realisierbar sind die Ansätze von Industrie 4.0 nur dann, wenn eine fehler- und störungsfreie Automatisierung in allen Prozessen und dadurch eine hohe Verfügbarkeit erreicht wird. Die Herausforderung, die es dabei zu meistern gilt: Mensch, Technik und IT im Arbeitsprozess intelligent miteinander kombinieren (vergl. Soder 2015).

1 Einleitung

Mit zunehmender Globalisierung und Vernetzung erhöhen sich die Prozessgeschwindigkeiten dieser Welt immer mehr. Der wachsende internationale Wettbewerb führt zu einer stark schwankenden Nachfrage an Produkten mit teils hoher Varianz bei gleichzeitig enormem Kostendruck. Für die meisten Unternehmen ist das Handlungsfeld dadurch dynamischer, unvorhersehbarer und turbulenter geworden. Industriezweige verschmelzen, Kunden denken und gestalten aktiv mit, Wettbewerber greifen an. Verkürzte Produktlebenszyklen führen zu vermehrten Technologie- und Produktneuerungen. Eine konventionelle Fabrikgestaltung mit Anlagenamortisationszeiten von mehreren Jahren kann diesen Anforderungen nicht mehr gerecht werden. Die Welt der Fabriken und Produktion steht an der Schwelle zur vierten industriellen Revolution, die auch unter dem Begriff Integrated Industry diskutiert wird.

J. Soder (✉)

SEW-EURODRIVE GmbH & CO KG, Bruchsal, Deutschland

E-Mail: johann.soder@sew-eurodrive.de

Der folgende Beitrag beschreibt die Entwicklung im Hause SEW-EURODRIVE von den 80er-Jahren bis heute auf dem Weg zur wertschöpfungsorientierten Unternehmensgestaltung, die nach dem Credo „Höchstleistung ist das Ergebnis aus Leidenschaft, Intelligenz und dem Streben nach Perfektion“ systematisch vorangetrieben wurde.

In der heutigen Zeit rücken Innovationsfähigkeit und die Beherrschung moderner Technologien in den Vordergrund. Das Bestreben von SEW-EURODRIVE ist es, Bewährtes ständig zu überprüfen, zu perfektionieren und mit neuen Ansätzen, wie es sie aktuell im Zusammenhang mit Industrie 4.0 gibt, intelligent zu kombinieren.

2 Computer Integrated Manufacturing (CIM)

Die Grundidee, die Produktion IT-technisch zu vernetzen ist nicht neu. Bereits in den 80er-Jahren wurde der Gedanke des Computer Integrated Manufacturing (CIM) verfolgt. CIM zu Deutsch „computerintegrierte Produktion“ bzw. „computerintegrierte Fertigung“ ist ein Sammelbegriff für verschiedene Tätigkeiten, die in einem Unternehmen durch IT-Systeme unterstützt werden, unter „CAx“ zusammengefasst (computer-aided . . . oder computer-assisted . . .). Die Vision hinter CIM ist die ganzheitliche Betrachtung der Leistungserstellung eines Unternehmens, unterstützt durch integrierte IT-Systeme.

Bei SEW-EURODRIVE wurden zunächst Module wie PPS (Produktionsplanungs- und Steuerungssystem), CAD (computer-aided design), CNC (computerized numerical control), CAQ (computer-aided quality) und BDE (Betriebsdatenerfassung) auf Mainframe-Rechnern integriert. Weitere automatisierte Prozesse wurden mit der ersten Generalbebauung des Werkes Graben-Neudorf 1986/1987 eingeführt. Sie basierten auf einer hierarchischen IT-Struktur von Mainframe-Rechnern (Host) über einen Werksleitrechner zu SPS-gesteuerten Prozessen.

Die CIM-Philosophie beinhaltete die Vollautomatisierung – von der Planung bis zur Fertigung sollte alles von Rechnern gesteuert werden. Der Faktor Mensch geriet hierbei teilweise in Vergessenheit. CIM scheiterte, weil die erforderlichen Daten-systeme, Sensorik und Datenübertragungstechnik zum damaligen Zeitpunkt nicht vorhanden oder zu vernünftigen Preisen noch nicht leistungsfähig genug waren. Man schuf eine überzüchtete, teure Produktion, die nur noch schwer beherrschbar war (vergl. Gausemeier et al. 2006) (vergl. Scheer 1990).

Insbesondere in der Montage war bei SEW-EURODRIVE ein Projekt zur „teilautomatisierten Linienmontage für alle Getriebetypen“ (siehe Abb. 1) durch Probleme mit der Komplexität und aufgrund mangelnder Wirtschaftlichkeit nicht erfolgreich. Die teilautomatisierte, IT-technisch durchgesteuerte Montage und Auftragsdurchläufe wurden nach einem Zeitraum von ca. zwei Jahren wieder auf das Produktionskonzept der starren Linienfertigung mit einer hoher Arbeitsteilung bei der kundenspezifischen Getriebemontage zurückgebaut.



Abb. 1 SEW-Getriebemontagelinie nach dem CIM-Konzept im Jahre 1985

3 Lean Production

Im Laufe der 90er-Jahre erfasst die Lean-Philosophie aus Japan deutsche Produktionshallen, mit dem Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit im Hochlohnland Deutschland zu sichern. Wichtige Schlagworte waren zum Beispiel Gruppenarbeit, kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP), Just-in-Time-Prinzip, ziehende Fertigung, etc. Mit dem Ziel einer wertschöpfungskettenorientierten Unternehmensgestaltung wurden diese Ansätze im Produktionsbereich der SEW-EURODRIVE angewandt. Schnell erkannte man, dass die Umsetzung von Einzelmaßnahmen nicht zum gewünschten Ergebnis führte. So wurden im Laufe der Jahre, im Rahmen von mehreren Wellen der „kreativen Zerstörung“ zunächst die vor- und nachgelagerten Prozesse und schließlich das gesamte Unternehmen betrachtet und optimiert (siehe Abb. 2).

3.1 Beseitigung der Grundverschwendung in der Produktion

Auch im Hause SEW-EURODRIVE wurden die neuen Ansätze und Methoden aus Japan implementiert. Im Zeitraum von 1995 bis 1998 lag der Hauptfokus darauf, die Grundverschwendung im Bereich der Produktion zu eliminieren. Beschreiben lässt sich diese Phase der Wertschöpfungsorientierung mit folgenden Schlagworten: aufräumen, sauber halten, Transporte reduzieren, Bestände senken,

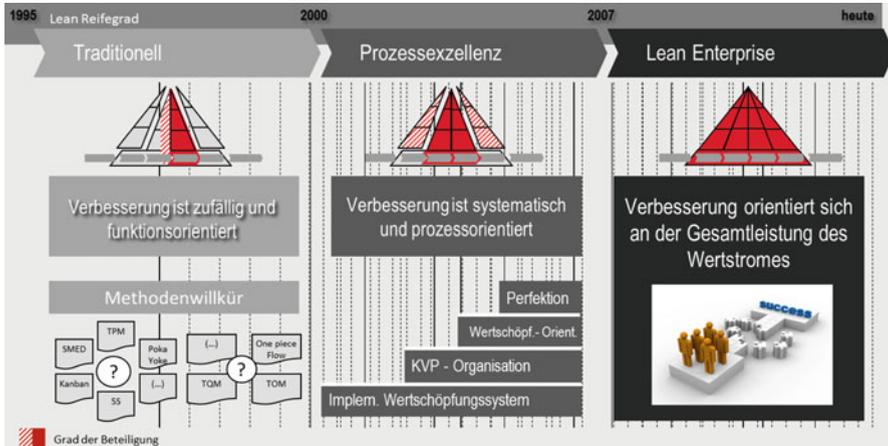


Abb. 2 Der Weg zu Lean Enterprise im Unternehmen SEW-EURODRIVE

Überproduktion vermeiden, Fehler reduzieren, Arbeitsabläufe optimieren, Materialbereitstellung verbessern.

Die ersten Schritte hinsichtlich Prozess- und Arbeitsplatzoptimierung machte man in der Elektronikfertigung in Bruchsal. Die traditionelle Werkstattfertigung wurde auf eine flexible Fließfertigung mit einer Kanban-Versorgung nach dem Pull-Prinzip umgestellt. Bei der Gestaltung des Arbeitsumfelds galt das Motto „nicht härter, sondern intelligenter arbeiten.“ Jeder Handgriff sollte zur Erhöhung des Wertes beitragen, ohne den Mitarbeiter dabei unnötig zu belasten. Durch eine Arbeitsplatzgestaltung nach ergonomischen und bewegungstechnischen Gesichtspunkten mit einer zugriffsoptimierten Anordnung von Material und Werkzeug sowie der Vermeidung von unnötigen Bewegungen, gelang eine Produktivitätssteigerung und das, ohne an Flexibilität zu verlieren. Abb. 3 zeigt einen solchen optimierten Arbeitsplatz in der Elektronikfertigung Bruchsal.

3.2 Perfekte fließende Prozesse, standardisierte Arbeitsabläufe

In einer zweiten Welle von 1998 bis 2000 wurde die wertschöpfungsorientierte Gestaltung auf weitere Fertigungs- und Montagestandorte der SEW ausgeweitet und der Fokus auf perfekt fließende Prozesse und standardisierte Arbeitsabläufe intensiviert.

Mit dem Grundgedanken einer rhythmischen und verschwendungsfreien Produktion wurde in den Fabriken zusammen mit den Mitarbeitern die flexible Fließfertigung (siehe Abb. 4) mit folgenden Gestaltungsgrundlagen umgesetzt:

- Gerichteter Materialfluss nach Arbeitsgangfolge
- Synchronisierung aller Prozesse auf Grundlage des Just-In-Time-Gedankens



Abb. 3 Bestücktisch in der Elektronikfertigung Bruchsal nach dem Best-Point-Prinzip

- Realisierung des One-Piece-Flow
- Vermeidung von Liegezeiten
- Transparenz im Materialfluss
- Produkt- und bedarfsabhängige Gestaltung
- Wertschöpfungsorientierte Anordnung
- Atmende, der Auslastung angepasste Beschäftigungskonzepte
- Minimierung der Arbeitsbelastungen
- Verlagerung von Tätigkeiten in die Nebenzeit
- Unterstützung der Tätigkeit durch einfache, intelligente und robuste Betriebsmittel
- Verkettung von Maschinenlösungen für ein durchgängiges Fertigungslayout und Vermeidung von Verschwendung, wie in Abb. 5 aufgezeigt
- Standardisierte Kanban-Materialbereitstellung durch Logistiker

Als weiteres Ziel galt es, ein durchgängiges Informationsmanagement zu implementieren. Dabei ging es darum, durch die Visualisierung von Prozessen und Abläufen, verständliche Arbeitsanweisungen und eindeutige Kennzeichnung von Materialien, Mitarbeiter mit Informationen in die Lage zu versetzen, eigenverantwortlich zu handeln.

Das Streben nach Perfektion wurde mit der Auszeichnung des Elektronikwerks in Bruchsal mit dem „Industrial Excellence Award 2000 – Die Beste Fabrik“ sowie des „TOP-Ehrenpreise[s] des Bundeswirtschaftsministeriums 2004“ belohnt.



Abb. 4 Flussorientierte Arbeitsinsel in der Motorenfertigung in Haguenau/Frankreich



Abb. 5 Verkettung von Maschinenlösungen in der Fertigung in Graben-Neudorf

3.3 Definition und Einführung des SEW-Wertschöpfungs-systems

Im Laufe der 90er-Jahre setzten die produzierenden Unternehmen unter dem Titel „Lean Production“ eine Vielzahl innovativer Lösungen um. Die meisten Aktivitäten, die in den letzten Jahren in vielen Unternehmen „Thema“ waren, basieren immer

wieder auf den gleichen grundlegenden Methoden und Werkzeugen. Ziel war es, höchste Qualität bei gleichzeitig höchster Produktivität in den Prozessen zu erreichen.

Dieses Ziel wurde häufig verfehlt. Einzellösungen wurden getrennt voneinander in verschiedenen Unternehmenszweigen durchgeführt oder passten aufgrund divergierender Zielsetzungen nicht zusammen. Implementierungsprozesse verliefen im Sand oder wurden vom Management nicht unterstützt und von den Mitarbeitern nicht angenommen. Optimierungseffekte wurden, völlig losgelöst vom Gesamtsystem und unabhängig von der übergeordneten Unternehmensstrategie, letztlich nur erreicht, indem man sich auf eine Methode konzentrierte.

Mit diesem Bewusstsein entwickelte man im Hause SEW-EURODRIVE, abgeleitet aus dem von Taiichi Ohno und Shigeo Shingo begründeten Toyota-Produktionssystem (TPS), das in Abb. 6 aufgeführte SEW-Wertschöpfungssystem, welches die Methoden bis heute ganzheitlich unter einem Dach bündelt.

Ziel des Wertschöpfungssystems ist die Gestaltung einer durchgängigen Arbeits- und Geschäftsprozess-Exzellenz über die gesamte Wertschöpfungskette im Unternehmen sowie die Entwicklung innovativer Konzepte zur Erreichung von Wettbewerbsvorteilen. Dadurch wird der Belegschaft Orientierung gegeben, werden die Fähigkeiten jedes Einzelnen verbessert sowie die Bereitschaft zur Umsetzung gestärkt.

Das Wertschöpfungssystem baut auf den folgenden fünf Gestaltungsprinzipien auf:

- Ordnung, Sauberkeit, Ergonomie und Sicherheit
- Optimierung der Abläufe in den Geschäftsprozessen
- Visuelles Management und Kommunikation
- Ständige Verbesserung der betrieblichen Leistung
- Arbeitsorganisation, Führung und Motivation



Abb. 6 Das SEW-Wertschöpfungssystem

3.3.1 Gestaltungsprinzip 1: Ordnung, Sauberkeit, Ergonomie und Sicherheit

Ein perfekt gestaltetes Arbeitsumfeld nach den Prinzipien Ordnung, Sauberkeit, Arbeitssicherheit, Arbeitsplatzergonomie, Umweltschutz und Informationsverfügbarkeit ist im ersten Gestaltungsprinzip „Ordnung, Sauberkeit, Ergonomie und Sicherheit“ formalisiert. Die Mitarbeiter in den Prozessen setzen sich täglich dafür ein und tragen Sorge, dass der Bereich, in dem der Prozess abläuft, sauber und aufgeräumt, gefährdungsarm und leistungsfördernd gestaltet ist. Das Gestaltungsprinzip schafft die Grundlage für die standardisierte Arbeit in den Prozessen. Das erste Gestaltungsprinzip umfasst fünf Zielbeiträge, die für die Umsetzung des Gesamtkonzepts als Wertschöpfungssystem notwendig sind:

- Arbeitsplätze effizient gestalten: Ordnung, Sauberkeit und Sicherheit herstellen und dauerhaft sichern, indem unnötige Teile aussortiert, verbliebene Teile ergonomisch angeordnet und eine Grundsauberkeit sichergestellt sowie standardisiert wird.
- Standards schaffen und dokumentieren: Standardprozesse leben und weiterentwickeln, dadurch werden Abweichungen schneller erkennbar.
- Wertschöpfungsorientierung: Verschwenderische Bewegungen in wertschöpfende Arbeit durch verbesserte Arbeitssicherheit, Arbeitsplatz- und Bewegungsablaufgestaltung mit Hilfe von Arbeitsphysiologie umwandeln.
- Best-Point-Prinzipien: Material und Werkzeuge an die Bewegungsabläufe anpassen, indem erstens die erforderlichen Betriebsmittel ausgewählt, zweitens der Bewegungsablauf definiert, drittens Materialien und Betriebsmittel optimal platziert und viertens der Zugriff beurteilt wird.
- Audits und Gefährdungsanalysen: Sicher, gesund und wettbewerbsfähig produzieren, indem Selbstaudits eingeführt, Null-Linien festgelegt, potenzielle Gefahrenquellen beseitigt und kreative Lösungen mit den Mitarbeitern entwickelt werden.

3.3.2 Gestaltungsprinzip 2: Optimierung der Abläufe in den Geschäftsprozessen

Verschwendungsfreie Geschäftsprozesse, effiziente Abläufe, kurze Durchlaufzeiten und multifunktionale Mitarbeiter, bedarfsorientierte Produktion nach dem Ziehprinzip sind im zweiten Gestaltungsprinzip „Optimierung der Abläufe in den Geschäftsprozessen“ formalisiert. Der Materialfluss soll aufgenommen, intelligent analysiert und der gesamte Ablauf, inklusive der Arbeitsplätze, flussorientiert neu gestaltet werden. Ein One-Piece-Flow in kleinen Losen ermöglicht eine hohe Flexibilität ohne hohe Bestände. Das Gestaltungsprinzip schafft die Grundlage für eine hohe Produktivität, Qualität und Flexibilität. Die Zielbeiträge sind für dieses Gestaltungsprinzip wie folgt definiert.

- Flussorientierung: Abläufe beschleunigen und deren Effizienz permanent steigern durch wertschöpfendes, flussorientiertes Arbeiten. Produzieren nach dem durch Kundenaufträge festgelegtem Pull-Prinzip und Realisierung kleiner Lose mit schnellen Rüstwechseln.
- Prozessorientierung: Abläufe beschleunigen und deren Effizienz permanent steigern durch Einführung von unabhängigen Fertigungszellen (Small Factory Units), Gestaltung des optimalen Zusammenspiels zwischen Mensch und Technik, Förderung multifunktionaler, eigenverantwortlich agierender Mitarbeiter sowie Synchronisierung aller Teilprozesse nach dem Just-inTime-Konzept.
- Professionelles Arbeiten: Überführen von unnötigen Improvisationen in Routineabläufe und Standardprozesse, indem Abläufe standardisiert, Prozesse festgeschrieben, Methoden und Spielregeln eingesetzt sowie Zuständigkeiten festgelegt werden.
- Logistikorientierung: Rohmaterial, Teil- und Fertigerzeugnisse ins Laufen bringen durch Umsetzung von Material-Kanban-Systemen, Einrichtung prozessnaher „Warenhäuser“ und eines innerbetrieblichen Routenverkehrs, Realisierung eines durchgehenden Pull-Systems und Aufrechterhalten eines stetigen Materialflusses.

3.3.3 Gestaltungsprinzip 3: Visuelles Management und Kommunikation

Informationen in modernen flexiblen Arbeitssystemen müssen schnell und verständlich für alle Beteiligten verfügbar sein. Die optimale Visualisierung der Geschäftsprozesse ist im dritten Gestaltungsprinzip „Visuelles Management und Kommunikation“ verankert. Materialkennzeichnungen, Arbeitsanweisungen, Prozessabläufe und Ergebnisse sind so darzustellen, dass es den Betrachter anspricht und ihm die notwendigen, aktuellen Informationen schnell und effizient vermittelt. Das Gestaltungsprinzip verschafft mit den fünf Zielbeiträgen die Grundlage für eine hohe Transparenz in den Geschäftsprozessen.

- Visualisierung und Kommunikation: Informationen transparent, verständlich und leicht zur Verfügung stellen. Probleme, wie z. B. Anlagenstillstände müssen sichtbar gemacht und Gesamtabläufe übersichtlich dargestellt werden. Diagramme, Fotos und Piktogramme erleichtern die Kommunikation. Mitarbeiter müssen beteiligt werden.
- Kennzahlen-Systeme: Einrichtung von Informationsterminals, Aufbereitung von relevanten Zahlen, Daten und Fakten sowie Aufbau eines umfassenden Informationsmanagements.
- Projekttafeln: Standardisierte, informative und aktuelle Aufbereitung von Informationen mit Hilfe von Visualisierungsboards. Komplexe Zusammenhänge in den Abläufen müssen für jeden Mitarbeiter transparent dargestellt werden.

3.3.4 Gestaltungsprinzip 4: Ständige Verbesserung der betrieblichen Leistung

Der Wertschöpfungsprozess ist exzellent bei minimalem Ressourcenverbrauch, optimaler Durchlaufzeit und höchster Qualität zu gestalten. Der schlanke, leistungsfähige, prozessorientierte Aufbau unserer Geschäftsprozesse wird im vierten Gestaltungsprinzip „Ständige Verbesserung der betrieblichen Leistung“ formuliert. Hohe Anlagenverfügbarkeit, ein intelligentes Störungsmanagement, kurze Rüstzeiten und eine wandlungsfähige Produktionsgestaltung sind umzusetzen. Das Gestaltungsprinzip schafft die Basis für ein gutes betriebswirtschaftliches Ergebnis. Als Zielbeiträge fungieren fünf wichtige Aspekte:

- Angemessene Technologieunterstützung: Die Technik auf den Prüfstand stellen. Der Technologiegrad muss den Anforderungen permanent angepasst und Technologiepotenziale analysiert werden. Die Ressource Mensch muss intelligenter eingesetzt und über die Technik gestellt werden. Ein geringer Technologiegrad ermöglicht Veränderungs- und Optimierungsmöglichkeiten.
- Produktivitätsvorteil durch Einfachautomatisierung: Wettbewerbsvorteile schwer imitierbar machen, indem eigenes Know-how aufgebaut und unternehmensintern genutzt wird. Raffinierte maßgeschneiderte Lösungen werden mit den Mitarbeitern entwickelt. Nebenzeiten müssen intelligent durch Trennung von manuellen und maschinellen Tätigkeiten genutzt werden.
- Flexible Schnelligkeit und Wandlungsfähigkeit: Denken und arbeiten in Prozessen. Ausbau von flussorientierten Insellösungen und Minimierung von Schnittstellen im Prozess. Der Vorgesetzte muss als Coach fungieren, sein Personal entwickeln und miteinbeziehen. Verantwortung muss an den Ort des Geschehens übertragen werden.
- Rüstzeiten mit der Methode SMED (Single Minute Exchange of Die) optimieren: Kleine Lose wirtschaftlich fertigen und lange Rüstzeiten vermeiden. Verringern von Kapitalbindung durch hohe Lagerbestände. Rüstfreundliche Maschinen schaffen durch Trennung in interne und externe Rüstvorgänge und Bildung von Rüstteams.
- Intelligente Produktion: Intelligentes Produzieren setzt Kräfte frei. Prozesse, Mitarbeiter und Technologien auf die Kundenanforderungen ausrichten, Einzigartigkeit in der Technologie- und Prozessgestaltung anstreben. Mensch und Maschine intelligent miteinander kombinieren. Produktionssysteme ganzheitlich verketteten, dadurch besser, schneller und innovativer als der Wettbewerb sein.

3.3.5 Gestaltungsprinzip 5: Arbeitsorganisation, Führung und Motivation

Wertschätzung durch die aktive Einbeziehung in Prozessverbesserungsaktivitäten, konsequente Nutzung der Wissensressourcen, Kreativität und Innovationskraft der Mitarbeiter werden durch das fünfte Gestaltungsprinzip ausgedrückt. Eine verbesserte Kommunikation und Kooperation sowie der gezielte Aufbau von Qualifikationen führt zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. Die erzielten Ergebnisse

schlagen sich in der Zufriedenheit der Mitarbeiter und damit auch im Unternehmensergebnis nieder. Als Zielbeiträge zur Erreichung der Wertschöpfungsexzellenz lassen sich nennen:

- Den Wandel mit den Mitarbeitern gestalten: Vom einsamen Entscheider zur „Intelligenz des Schwarms“. Um Exzellenz zu erreichen, müssen Potenziale erkannt, Begeisterung bei den Mitarbeitern geschaffen und Innovationen umgesetzt werden. Wichtig ist die Beteiligung der Mitarbeiter in Veränderungsprozessen und deren Einbeziehung in Entscheidungsprozessen.
- Internes Coaching von Mitarbeitern: Menschen zusammenführen und Veränderung durch Leistung, Leidenschaft und Teamarbeit ermöglichen. Geplante Veränderungen aktiv treiben, Verbindlichkeit vorleben, methodisch arbeiten, Know-how bündeln und pragmatische Lösungen finden.
- Erfolgreich führen: Den Fokus auf das Geschehen an der Basis legen. Kreativität und Dynamik entfalten, Lösungen gemeinsam erarbeiten und Bereitschaft zur Kritik und Selbstkritik üben. Führungskräfte müssen Leuchttürme sein, die Verantwortung übernehmen, begeisternd und visionär führen und Orientierung geben.
- Management-Audit und Zielvereinbarung: Kompetenzen auf dem Prüfstand – Performance und Potenziale im Fokus. Leistungsträger identifizieren, Management-Kompetenzen überprüfen und Management-Anforderungen in Personal-Portfolios übersetzen.

3.4 Ausbau zur Wertschöpfungs- und Prozessorientierung

In der Zeit von 2000 bis 2007 kann man bei SEW-EURODRIVE von einer Phase des „Ausbaus zur Wertschöpfungs- und Prozessorientierung“ sprechen. Mit dem Ziel, die Veränderungen und den Wandel systematisch zu gestalten wurde im Jahr 2000 die interne Beratungsabteilung der SEW-EURODRIVE WIEPROconsulting („WIEPRO“: Wissen entwickeln – Prozesse optimieren) gegründet mit dem Auftrag, die Rahmenbedingungen zu schaffen, mit denen ein funktionierendes Innovations- und Veränderungsmanagement aufgebaut und dauerhaft etabliert werden kann. Zusammen mit den betroffenen Mitarbeitern setzte WIEPROconsulting im Rahmen von Workshops eine systematische, konsequente und ständige Verbesserung aller Unternehmensbereiche nach dem SEW-Wertschöpfungssystem um. Gemäß dem Leitmotiv „Nicht härter, sondern intelligenter und produktiver arbeiten!“. Von großer Bedeutung war die Erkenntnis, dass für eine dauerhafte Leistungssteigerung im Unternehmen die Einbeziehung der Mitarbeiter in den Prozess des kreativen Zerstörens entscheidend ist. Mit diesem Ansatz gelang es, das SEW-Wertschöpfungssystem in die weltweiten Firmenstandorte zu tragen und die nachhaltige Einführung der Inhalte weltweit sicherzustellen.

Neben der Optimierung des Produktionsbereichs wurden ergänzend die vor- und nachgelagerten Prozesse in die Betrachtung miteinbezogen. Die Lean-Welle erfasste zum ersten Mal die Büros. Es galt, die Wertschöpfungskonzepte auf die

Unternehmensbereiche Entwicklung, Beschaffung, Vertrieb, Finanzen, IT und Personal zu übertragen. Die Erfolgsfaktoren waren hierbei die Generierung von transparenten und vereinfachten Arbeitsabläufen durch Schaffung von Ordnung und Standards. Ziele und Kennzahlen fördern die Mitarbeiterselbststeuerung und Eigenverantwortung, so dass sich Arbeitskräfte aktiv an der Verbesserung von Prozessen und Abläufen beteiligen können.

3.5 Prozess- und wertstromorientierte Unternehmensgestaltung

Durch Implementierung und Anwendung bekannter Lean-Prinzipien und -Methoden, des SEW-unternehmensspezifischen Wertschöpfungs-systems und der weltweiten Optimierung durch WIEPRO wurden in einzelnen Bereichen der Wertschöpfungskette signifikante Verbesserungen erreicht. Es stellte sich jedoch die Frage „Wie schaffen wir die letzte Meile zur überlegenen Wettbewerbsfähigkeit in der globalisierten Welt?“ Die letzte Meile konsequent gehen heißt: Zusammengesetzte Geschäftsprozesse etablieren, die von der Entwicklung über die Produktion bis zum Absatz reichen. Dies bedeutet: Das Gesamtsystem Unternehmen intelligent gestalten, von der Aufgabenorientierung einzelner Funktionen hin zu einer verstärkten Kundenorientierung, vom Suboptima einzelner Teile mit Systembrüchen zu einem Gesamt-optimum eines durchgängigen Prozesses sowie von Task-Force-orientierten Einzelverbesserungen zu nachhaltigen stabilen Standards. Im Jahr 2007 begann man daher den Lean-Gedanken konsequent auf das Gesamtunternehmen und die komplette Prozesskette zu übertragen. Wichtige Eckpfeiler waren hierbei:

- Verzahnung der Kern-, Management- und Unterstützungsprozesse
- Funktionsübergreifende, ganzheitliche Optimierung der Wertschöpfungskette
- Wertschöpfungs- und Leistungsorientierung in allen Geschäftsprozessen
- Minimierung organisatorischer Brüche und Zusammenfassung von Aufgaben
- Bereichsübergreifende, interdisziplinäre Zusammenarbeit

Der in Kap. ► [iBin – Anthropomatik schafft revolutionäre Logistklösungen](#), Abschn. 5 beschriebene Gedanke geht weit über die ursprüngliche Lean-Philosophie hinaus. Die beschriebenen Elemente Verzahnung, Transparenz und Durchgängigkeit der Prozesse bilden die Grundvoraussetzung für die gewinnbringende Verknüpfung von Mensch und Technik und eine intelligente Automatisierung, wie sie SEW-EURODRIVE in Industrie 4.0 sieht.

4 Industrie 4.0

Der gesamte industrielle Sektor steht vor einem massiven Umbruch, der durch eine zunehmende Vernetzung und das Internet geprägt ist. Diese Entwicklung ist derart gravierend und fundamental, dass viele Experten von einer vierten

industriellen Revolution „Industrie 4.0“ sprechen. Dieser Grundgedanke geht auf eine Entwicklung zurück, die Ende des 18. Jahrhunderts in Europa und insbesondere in England begann. Hier wichen die kleinen, mit Wasserkraft angetriebenen Webstühle in den Arbeiterwohnungen ersten mechanischen Webstühlen. Dampfmaschinen trieben diese Webstühle in den ersten industriellen Produktionsanlagen an (1. Revolution). Dieses Modell war rund hundert Jahre lang erfolgreich und bescherte den Industrieländern einen immensen wirtschaftlichen Aufschwung. Bald darauf erfolgte die durchgehende Elektrifizierung und damit auch die Produktion über Fließbänder. Die Arbeit in dieser zweiten Stufe der industriellen Revolution war geprägt von monotoner Massenproduktion, mit der die Unternehmen erhebliche Skaleneffekte erzielen konnten. Die dritte Stufe der industriellen Revolution begann vor rund vier Jahrzehnten mit elektronischen und programmierbaren Komponenten. Nun war es möglich, einzelne Prozessschritte oder etwa Qualitätskontrollen zu automatisieren (vergl. Henning et al. 2012).

Bei dieser Produktionsphilosophie nach Industrie 4.0 verschmelzen künftig die reale und virtuelle Welt miteinander. Auf diese Weise sind ganz neue Produktionsmethoden und -prozesse denkbar. Neu ist in diesem Ansatz, dass nicht nur Maschinen und integrierte Systeme untereinander kommunizieren, sondern im Rahmen von Industrie 4.0 alle Systeme untereinander intelligent vernetzt sind und sich mit den zu fertigenden Produkten echtzeitnah Informationen austauschen. Die Maschine denkt mit und bemerkt selbständig, wenn bei bestimmten Produktionsgütern Nachschub benötigt wird. Den Bedarf meldet sie selbstständig an weitere Systeme, die dann automatisiert die Bestellung auslösen. Das Prinzip einer zunehmenden intelligenten Vernetzung bringt erhebliche Kosten-, Zeit und Effizienzvorteile für die Unternehmen, die diesen Weg konsequent verfolgen. Die Schätzungen gehen davon aus, dass hier bis zu dreißig Prozent (vergl. Brill 2013) gegenüber heutigen Produktionsmethoden eingespart werden.

Die Umsetzung von Integrated Industry ermöglicht einen Paradigmenwechsel im Management der Produktentstehungs- und Wertschöpfungskette. Starre Produktionsstrukturen werden in den Fabriken aufgelöst und zu aktiven, autonomen und sich selbstorganisierenden Produktionseinheiten entwickelt. Dafür werden z. B. mobile Assistenzsysteme erforderlich. Die mobilen Assistenzsysteme sollen Stetigfördersysteme dort ersetzen, wo ein hohes Maß an Flexibilität und Wandelbarkeit gefragt ist. Im Gegensatz zur traditionellen Stetigfördertechnik transportieren nun eine Vielzahl kleiner, baugleicher und kostengünstiger autonomer Transportfahrzeuge die Kleinladungsträger. Typische Anwendungsgebiete sind kleinere und mittlere Distributionszentren oder Produktionsbetriebe. Interessant für den Anwender ist das System insbesondere dann, wenn die Verknüpfung von Transportquellen und -senken flexibel gestaltet werden soll, die Transportleistung an stark schwankende Bedarfe angepasst werden muss, oder wenn die Fläche zwischen Lager und Bedarfsort nicht dauerhaft durch Stetigfördertechnik verbaut werden soll.

4.1 Smart Factory nach Industrie 4.0 – Visionslayout

Von der starren Linienfertigung der 70er-Jahre mit ihrer Wertschöpfung durch hochgradige Arbeitsteilung und Spezialisierung über die Welt des Computer Integrated Manufacturing (CIM) der 80er-Jahre und des Lean Management, der schlanken Produktion, bei dem man sich von der klassischen Linienfertigung verabschiedet hat, bis zur dezentralen Eigenverantwortung der Bereiche. In der fraktalen Fabrik sind mehrere Fertigungszellen in kleinen „Fabriken in der Fabrik“, sogenannten Small Factory Units, zusammengefasst. Industrie 4.0 ist die Fortschreibung dieses fraktalen Ansatzes. Zum einen wird die nach Lean-Prinzipien aufgestellte Fertigung mit intelligenter Automatisierung angereichert. So erreicht man ein optimales Zusammenspiel von Mensch und Technik.

Die Vision: Nach Eingang eines Auftrags gelangt dieser automatisiert und verschwendungsfrei direkt in die Fabrik und steuert dann seine Fertigung bis zur Auslieferung selbst – exakt nach Kundenwunsch.

Der Montageauftrag für ein Getriebe synchronisiert seine Daten mit dem Montageassistenten und bestimmt so den Montageablauf. Die Montageassistenten fahren automatisch jede Montageposition und -höhe an, so dass eine fehlerfreie und optimale Ausführung der Montageschritte garantiert ist. Über Identifikations- und Leitsysteme bekommt der Werker visualisiert, welche Teile einzubauen sind.

Nach Abschluss des Montagevorgangs übernehmen Logistikassistenten das Getriebe und bringen es zu den nächsten Bearbeitungszentren. Hier werden Motoren angebaut, mit Öl befüllt, Antriebe geprüft und zur Lackieranlage transportiert. Der durchgängige Materialfluss reicht bis zur Auslieferung im Versand – verknüpft über Informations- und Kommunikationstechnologien.

Die Materialversorgung innerhalb der Fabrik erfolgt über smarte, zellulare Transportsysteme – direkt aus dem Lager ohne Zwischenkommissionierung. Ein Schwarm von Fahrzeugen kommuniziert und organisiert sich – so dass die benötigten Teile zum richtigen Zeitpunkt an der richtigen Stelle zur Verfügung stehen.

4.2 Technologiebaukasten für die Umsetzung von Industrie 4.0

Bei SEW-EURODRIVE arbeitet man im Bereich der Innovation seit einigen Jahren an diesem neuen Technologiebaukasten, der intelligente, innovative und kostenoptimale Applikationslösungen ermöglicht. Vor allem Neuerungen in den Bereichen induktive und optische Spurführung, berührungslose Energieübertragung und Energiespeicherung, Sicherheitstechnik, Funk und Navigation, Sensorik, Antriebstechnik und parametrierbare Steuerungssysteme schaffen neue technische Möglichkeiten in der Transportlogistik bis hin zu robotischen Assistenzsystemen (vgl. Soder 2015). Auf Basis einer Plattform können je nach Einsatzgebiet und Anwendungsfall Montageassistenten, Handlingsassistenten oder Logistikassistenten generiert werden.

Der Aufbau der mobilen Assistenzsysteme selbst ist komplex. Bei der Umsetzung sind vielschichtige Aspekte zu berücksichtigen:

- Gestaltung und Konstruktion der Fahrzeuggeometrie und des Gesamtsystems
- Integration Navigationsrechner und Sicherheitssteuerung
- Kontaktlose Energieversorgung
- Einsatz von Kurzzeitenergiespeichern für autonomes Fahren
- Realisierung einer kompakten und leistungsfähigen Lastaufnahmevorrichtung
- Integration eines spezifischen Antriebssystems mit Steuerelektronik
- Einbindung unterschiedlicher Referenzierungssysteme, autonom umschaltbar, je nach aktuellen Umgebungsbedingungen
- Verbesserung der Arbeitsergonomie durch Wegfall/Teilautomatisierung von Montagetätigkeiten mit hoher körperlicher Belastung

Wichtig für den Betrieb und den Einsatz dieser Fahrzeuge sind die kompakte Bauweise und die abgestimmte Kommunikation der Komponenten untereinander. Besonders hervorzuheben ist die hybride Energieversorgung des Fahrzeugs. Die duale Energieversorgungslösung beruht dabei auf folgenden Konzepten:

- Kontaktlose Energieübertragung auf Basis der berührungslosen Energieübertragung auf den Hauptstrecken. Diese Technologie wird unter dem Produktnamen MOVITRANS seit den 90er-Jahren entwickelt und kontinuierlich an die neuen Marktanforderungen angepasst. MOVITRANS besteht aus stationären und mobilen Komponenten zur kontaktlosen Energieversorgung beweglicher elektrischer Verbraucher. Die benötigte Energie wird dabei über elektromagnetische Felder (kontaktlos) von einer Spule oder isolierten stationären Leitern über einen Luftspalt auf die mobilen Verbraucher (Fahrzeuge) punktuell oder auch entlang einer Strecke übertragen.
- SEW-Kurzzeit-Energiespeichersystem für flexible Fahrspuren: Um elektrische Energie speichern zu können, wird der Gleichspannungsspeicher in Form von elektrischen Kondensatoren oder Batterien des elektrischen Antriebssystems erweitert. Dies erfolgt mit Hilfe von Energiespeichermodulen, die aus neuartigen Doppelschichtkondensatoren aufgebaut sind. Mit Hilfe eines Gleichspannungswandlers, der zwischen Netzanbindung und Speichermodulen geschaltet wird, ist es möglich, die gespeicherte Energie individuell zu regeln. Der Speicher wird aktiv geladen und die gespeicherte Energie gezielt dem Verbraucher zur Verfügung gestellt.

Gegenüber der klassischen Energieübertragung, z. B. mittels Schleifleitungen oder Ladestationen, ist das MOVITRANS-System besonders verschleißarm und damit wartungsfrei. Darüber hinaus ist das System gegen Verschmutzung, Feuchtigkeit und Temperatur geschützt und besitzt keine Einschränkungen in der industriellen Verfügbarkeit. Durch Einsatz der berührungslosen Energieübertragung entfällt das Mitführen einer schweren Batterie, was sich nachhaltig auf das Design des Assistenzsystems auswirkt. Die auf den Hauptstrecken verlegten Linienleiter versorgen die Fahrzeuge beim Überfahren mit Energie. Das Aufladen einer Batterie entfällt. Die Fahrzeuge sind somit im 3-Schicht-Betrieb einsetzbar, da eine Ladepause zum Aufladen der Batterie nicht benötigt wird. Gleichzeitig

reduziert sich die Anzahl der benötigten Fahrzeuge gegenüber batteriebetriebenen Fahrzeugen. Ressourcen werden dadurch geschont, was auch den unvermeidbaren Batteriewechsel bei batteriebetriebenen Fahrzeugen betrifft.

Durch den Einsatz des SEW-Kurzzeitspeichersystems lassen sich applikationsbedingte Netzunterbrechungen überbrücken und damit moderne und hochflexible Fabrikkonzepte verwirklichen. Im Hinblick auf die digitale Fabrik und die Bedeutung der Schwarmtechnologie spielt dieser Sachverhalt eine wichtige Rolle. Die Fahrzeuge sind in der Lage, innerhalb definierter Ladestationen in kürzester Zeit Energie aufzunehmen und anschließend frei durch den Raum zu navigieren – eine Technologie, die den Gedanken der wandlungs- und wettbewerbsfähigen Fabrik unterstützt.

Zusammen mit den umfangreichen sicherheitstechnischen Komponenten bietet der Einsatz des Kurzzeitenergiespeichersystems Sicherheit bei einem Netzausfall oder einer Netzunterbrechung. Liegt ein Netzausfall vor, kann das Fahrzeug mit der gespeicherten Energie in einen sicheren Zustand gebracht werden, um Personengefährdung auszuschließen und den Prozess wieder definiert aufzunehmen. Bei einer kurzzeitigen Netzunterbrechung kann die gespeicherte Energie zur Überbrückung genutzt werden, Prozessstörungen werden auf diese Weise vermieden. Durch die Egalisierung des benötigten elektrischen Energieflusses wird die logistische Aufgabe optimiert. Entnahme von Spitzenleistung aus dem öffentlichen Netz wird vermieden und der energetische Wirkungsgrad signifikant erhöht. Hierdurch werden Kosten bei der Installationstechnik und beim Ausbau der öffentlichen Netze eingespart.

Durch die Ausstattung mit Energiespeicher kann sich das Assistenzsystem von den Hauptverkehrsstrecken lösen und Behälter und Transportgüter direkt und flexibel vor Ort in den Produktionsbereich oder Montagebereich transportieren. Dabei sind auch Serviceaufgaben wie z. B. Umsetzungsvorgänge möglich – sie können autonom oder auf Anforderung durch das Betriebspersonal erfolgen. Das komplett wartungs- und verschleißarme System lässt sich dabei leicht skalieren. Ein oder mehrere Fahrzeuge lassen sich leicht unterschiedlichen Montageinseln zuordnen. Sich verändernde Streckenverläufe und Quelle-Ziel-Koordinaten lassen sich einfach per „Drag and Drop“ mit der im Hause SEW-EURODRIVE entwickelten Softwareplattform „MOVIVISION“ umbauen. Durch die Einbindung einer virtuellen Spurführung wird im System zusätzliche Redundanz erzeugt, was die Verfügbarkeit des Systems nachhaltig erhöht. Eine Systemprogrammierung muss nicht erfolgen – lediglich eine Parametrierung.

4.3 SEW-Schaufenster Industrie 4.0 in Graben-Neudorf

Unter Berücksichtigung der Wertschöpfungsprinzipien One-Piece-Flow und Small-Factory-Unit hat SEW-EURODRIVE begonnen die Vision von Industrie 4.0 im unternehmenseigenen Werk in Graben-Neudorf umzusetzen und Konzepte für Aufgaben in der Logistik, Montage und Fertigung entwickelt.

4.3.1 Industrie 4.0 – Praktische Anwendung in der Logistik

Im Bereich der Getriebemontage in Graben-Neudorf hat SEW-EURODRIVE bereits ein Konzept mit mobilen Logistik- und Montageassistenten implementiert. Autonome, intelligente, selbstorganisierende Logistikassistenten, wie in Abb. 7, übernehmen die logistische Andienung von Material für die Arbeitsplätze Just-in-Time. Auf diese Weise erfolgt die Verkettung der Small-Factory-Units, der Fabriken in der Fabrik.

Durch die beschriebenen Strukturen wird ein Maximum an Flexibilität generiert. Logistikassistenten lassen sich für die entsprechenden Aufgaben leicht skalieren. Sequenzielle Abläufe werden durch parallele Abläufe ersetzt. Durch die parallelen Strukturen wird die Verfügbarkeit des Gesamtsystems nachhaltig erhöht. Fällt bei Anlagen mit festen Strukturen z. B. ein vorgeschalteter Rollenförderer aus, kommt die komplette Produktion zum Stillstand. Bei Ausfall eines mobilen Logistikassistenten wird der Prozess einfach durch ein anderes Fahrzeug im Schwarm übernommen und weitergeführt. Der Warentransport wird kompakter gestaltet und kann flexibel an die Auslastung des Werkes angepasst werden. Diese Gestaltungsphilosophie kommt dem Gedanken der Industrie 4.0 sehr nah, in dem Produkte intelligent werden und mittels mobiler Systeme ihren Weg durch die Wertschöpfungskette finden.

4.3.2 Industrie 4.0 – Praktische Anwendung in der Montage

Kernbereiche der Montage sind modular aufgebaute U-förmige Montagezellen. Dadurch werden flexible Strukturen aufgebaut, auch was die Nachfrage nach neuen Produkten betrifft, gleichzeitig können veränderte Prozesse zeitnah angepasst werden. Hier teilen sich heute schon Werker und Montageassistenten ihren Arbeitsplatz. Mit Hilfe von mobilen Montageassistenten werden bereits Getriebe montiert, Motoren angebaut, mit Öl befüllt, Antriebe geprüft und zur Lackieranlage transportiert. Abb. 8 zeigt eine solche Montageinsel.

Innerhalb modular aufgebauter Montageinseln fungieren sie, wie in Abb. 9 gezeigt, als mobile Werkbank, welche die einzelnen Arbeitsstationen anfährt und sich dabei auf die ideale Arbeitshöhe einstellt. Der Montageassistent wird zum Cyber-Physical System. Mit dem Auftrag verheiratet, führt dies alle Auftragsdaten mit sich, unterstützt den Montierer bei seiner Tätigkeit und übermittelt ihm wichtige Informationen zu jeder Montagesequenz. Durch die Kollaboration Mensch-Assistent lassen sich völlig neue Produktionskonzepte realisieren. Ca. 30 % gegenüber den konventionellen Produktionsmethoden werden eingespart. Produkte und Assistenzsysteme diesen als Cyber-Physical Systems und führen auftragsrelevante Daten mit sich, wodurch Fehler reduziert werden können.

Die Basis sind Lean-Prinzipien – perfekt gestaltete, störungs- und fehlerfreie Prozesse; Handlings-, Bewegungs- und ergonomieoptimierte Material- und Werkzeugbereitstellung. Erst dann ist eine gewinnbringende Verknüpfung von Mensch und Technik im gesamten Montageablauf möglich.



Abb. 7 Materialbereitstellung mit autonom agierenden Logistikassistenten



Abb. 8 Optimierte Montageinsel in der Getriebemontage in Graben-Neudorf nach den Gestaltungsprinzipien Lean und Industrie 4.0



Abb. 9 Montageassistent als mobile Werkbank in der Getriebemontage

4.3.3 Industrie 4.0 – Praktische Anwendung in der zerspanenden Fertigung

Im Bereich der zerspanenden Fertigung ist bei SEW-EURODRIVE heute ein intelligent verkettetes Fertigungssystem mit geschlossenen Qualitätsregelkreisen implementiert. Kurze Auftragsdurchlaufzeiten werden infolge von Komplettbearbeitung ermöglicht, was eine hohe Produktivität bei gleichzeitig hoher Flexibilität sicherstellt. Um den Mitarbeiter zu entlasten werden mobile Handlingassistenten eingesetzt, welche die Bestückung und die Werkstückentnahme übernehmen. Im Bereich der Schneckenfertigung in Abb. 10 übernimmt ein eigens entwickelter mobiler Handlingsassistent mit Magnetgreifer den „Griff in die Kiste“ – das Aufnehmen von unsortierten Rohteilen aus Schäferkisten und Ablegen auf Zuführband. Nach der zerspanenden Bearbeitung nimmt der Handlingsassistent die Fertigteile vom Abführband auf und setzt diese in ein Wabengestell für den Härtevorgang. Es geht dabei nicht darum, künftig die Menschen in den Fabriken verschwinden zu lassen. Die Vision: Der mobile Handlingsroboter unterstützt den Menschen, indem er schwere Teile bewegt und sie in die richtige Position bringt, sodass der Mitarbeiter belastungsfrei arbeiten kann.

4.4 Industrie 4.0 und die Rolle des Menschen

Automatisierung um die Flexibilität und Produktivität zu erhöhen und im globalen Wettbewerb zu bestehen. Auch wenn durch neue Technologien neue Möglichkeiten



Abb. 10 Mobiler Handlingsassistent in der zerspanenden Fertigung

eröffnet werden, besteht die Gefahr, dass hoch automatisierte Systeme, gerade was Flexibilität und Beherrschbarkeit angeht an ihre Grenzen stoßen. Ein hoher Automatisierungsgrad ist mit entsprechenden Investitionen verbunden und eine Wirtschaftlichkeit nur bei technischer Verfügbarkeit und Auslastung gegeben. Es geht also nicht darum, „auf Teufel komm raus“ zu automatisieren, sondern exzellente Prozesse in der Fabrik zu schaffen und diese durch eine intelligente Automation zu unterstützen. Es gilt das richtige Maß zu finden und abzuwägen, wo Automatisierung lohnt und in welchem Umfang. Für viele Produktionen wird sich kaum eine Automatisierung ohne intensive Einbindung der Mitarbeiter realisieren lassen. Insbesondere bei geringen Stückzahlen oder Losgröße Eins und kurzen Produktlebenszyklen wären Installations- und Rüstaufwände sehr hoch. Neben den motorischen Fähigkeiten, ist der Mensch in der Lage selbständig zu denken und zu entscheiden. Mitarbeiter schließen die Lücke, die immer bestehen wird, im Hinblick auf assoziative, sensorische und taktile Fähigkeiten. Die Zukunft gehört flexiblen Gesamtsystemen, bei denen der Mensch eine zentrale Größe darstellt – auch vor dem Hinblick kürzerer Produktlebenszyklen und einem schnellen time-to-market. Mitarbeiter sind der Lage auf die neuen Aufgaben kurzfristig zu reagieren und sich die notwendigen Fertigkeiten anzueignen. Der Mensch wird auch in einer durchgängig virtualisierten Fabrik weiterhin im Mittelpunkt stehen (vergl. Schließmann 2014).

Im Hinblick auf den demographischen Wandel und eine alternde Gesellschaft ist daher die Optimierung der Arbeitsplatzbedingungen zum Erhalt der Gesundheit und Arbeitsfähigkeit enorm wichtig. Das Cyber-Physical System unterstützt den

Menschen in der Leistungserbringung durch eine Handlings-, Bewegungs- und ergonomioptimierte Material- und Werkzeugbereitstellung, sowie eine permanente Informationsunterstützung mit Auftrags- und Prozessdaten. Ziel ist der Erhalt des Mitarbeiters und seiner langjährigen Erfahrung an seinem Arbeitsplatz.

Damit sich durch die perfekte Symbiose „Mensch und Technik“ Quantensprünge in der Leistungserbringung erzielen lassen, arbeitet man bei SEW-EURODRIVE im Bereich Forschung und Entwicklung unter Hochdruck an innovativen Technologien und neuen Produkte. Wie beispielsweise den Einsatz von Gestensteuerung. Mensch und Roboter arbeiten Hand in Hand. Ihre Zusammenarbeit wird immer kooperativer. Immer stärker verschmelzen beide zu einem Team. Durch Gestensteuerung ergeben sich bei der Mensch-Roboter-Kollaboration völlig neue Möglichkeiten der intuitiven Bedienerführung: Dabei kann der Mensch durch einfache Gesten den Ablauf eines Prozesses situationsbedingt beeinflussen. So lässt sich durch Berührung, Druck oder Bewegung der Programmablauf des Roboters durch reine Gestensteuerung beeinflussen. Der Bediener kann verschiedene Teile anfordern, die ihm der Roboter aus mehreren Werkstücklagern holt und verbaut. Somit lassen sich im Sinne der Mensch-Roboter-Kollaboration Aufgaben zwischen Mensch und Maschine sinnvoll teilen, indem der Mensch die Aufgaben übernimmt, bei denen kognitive Fähigkeiten gefragt sind. Der Roboter kann so zum Beispiel dem Werker in der Fabrik Teile für eine Qualitätsprüfung in verschiedenen Ausrichtungen ergonomisch optimal anreichen.

Er fungiert zunehmend als Dirigent der Wertschöpfung in der Fabrik, nicht als „Materialbeweger“. Beschäftigte werden als kreative Entscheider und Problemlöser gefragt sein, um einen reibungslosen Ablauf in der vernetzten Fabrik sicher zu stellen. In dieser Perspektive eröffnet Industrie 4.0 neue, interessante Arbeitszusammenhänge, die mit wachsender Eigenverantwortung, vielfältigen Entfaltungsmöglichkeiten für kreatives Arbeitshandeln und einer Steigerung der Arbeits-, Kooperations- und Beteiligungsqualität einhergehen. Das Ziel heißt: Weg von monotonen, körperlich anstrengenden Tätigkeiten.

Industrie 4.0 beinhaltet eine starke Vernetzung über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg. Dies erfordert eine andere Denk- und Handlungsweise – weg von einer funktionsorientierten hin zu einer wertstromorientierten Denk- und Handlungsweise. Vom Mitarbeiter erfordert dies Prozessverständnis. Auch soziale Kompetenzen erlangen einen höheren Stellenwert, da mit der Verzahnung der Bedarf an Kommunikation und interdisziplinärer Zusammenarbeit zunimmt. In fachlicher Hinsicht werden verstärkt interdisziplinäre Kompetenzen gefordert sein. Aufgaben traditioneller Produktions- und Entwicklungsmitarbeiter wachsen weiter zusammen.

Durch die hohe Technisierung und den rasanten technologischen Wandel werden sich mit Industrie 4.0 die Anforderungen an lebenslanges Lernen noch einmal deutlich erhöhen.

Diese Veränderungen erfordern auch einen neuen Typus Führungskraft. Operative Führungskräfte auf dem Shopfloor müssen ihre Mitarbeiter auf den anstehenden Wandel vorbereiten, sie in die neuen Prozesse miteinbinden. Die soziale Kompetenz wird deshalb in Zukunft eine noch größere Rolle einnehmen. Auch

die Fähigkeit, innerhalb des Verantwortungsbereiches einen größeren Teamgeist aufzubauen, im Hinblick auf die Vernetzung der Bereiche. Führungskräfte werden zu Personalentwicklern, zu Mentoren, die sich intensiv um junge Talente kümmern, sie auf ihrem Weg begleiten, sie entwickeln. Führung ist ein zentraler Aspekt der Arbeit, der Motivation, der Unternehmenskultur. Die wichtigste Aufgabe unserer Führungskräfte ist es, jeden einzelnen Mitarbeiter erfolgreich zu machen, für seine Weiterqualifizierung zu sorgen.

5 Zusammenfassung

Fertigungs- und Montagewerke sind in der heutigen Zeit immer noch stark geprägt durch starre Strukturen. Maschinen- und Montagebereiche sind durch fest verbundene Fördertechnikelemente, wie z. B. Rollenbahnen, Kettenförderer oder andere Transporteinrichtungen miteinander vernetzt. Dies erfordert bereits in der Planungsphase einen hohen Aufwand an Koordination, um das optimale Zusammenspiel dieser Maschinenelemente zu gewährleisten. Die Strukturen sind somit vorgegeben, wenig flexibel aber in der Anschaffung kostengünstig. Auf sich verändernde Rahmenbedingungen im laufenden Produktionsbetrieb kann hier nur sehr schwer Einfluss genommen werden. Gleichzeitig sind solche Systeme wenig skalierbar und werden meist auf den maximal zu erwartenden Durchsatz der zu produzierenden Produkte ausgelegt. Bei reduzierter Auslastung werden die zur Verfügung gestellten Ressourcen so nicht vollständig genutzt. Der Markt bestimmt, was, wann und wie produziert wird. Die Herausforderung, die es dabei zu meistern gilt, ist: perfekt umgesetzte Lean-Prinzipien und Technologieansätze aus Industrie 4.0 zu realisieren und damit Fabriken nach der Erfolgsphilosophie „Mensch und Technik im Arbeitsprozess intelligent miteinander kombiniert“ zu schaffen. Das bedeutet, wertschöpfungsorientierte, verschwendungsfreie, flexible und motivierende Arbeitsabläufe zu gestalten und diese mit eingebetteten intelligenten Automatisierungslösungen bereichsübergreifend zu unterstützen. Nach der Lean-Philosophie gilt es, Wertschöpfung und beispielweise die Logistik als nicht wertschöpfender Prozessschritt strikt voneinander zu trennen. Unter den Gesichtspunkten der Industrie 4.0 werden bisher getrennte Funktionen wie Fertigung, Montage und Logistik intelligent miteinander verzahnt und verschmelzen so zu einem Gesamtsystem.

Literatur

- Brill S (2013) eurodriver weltweit – Das Mitarbeitermagazin von SEW-EURODRIVE/Ausgabe 95: Integrated Industries
- Gausemeier J, Hahn A, Kespohl HD, Seifert L (2006) Vernetzte Produktentwicklung: Der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Networking. Carl Hanser Verlag, München
- Henning K, Wahlster W, Hellbig J (2012) Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern: Umsetzungsempfehlung für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0

-
- Scheer A-W (1990) Computer integrated manufacturing. Springer, Berlin
- Schließmann A (2014) iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory.
In: Vogel-Heuser B (Hrsg) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer, Wiesbaden, S 453–455
- Soder J (2015) Fabrik der Zukunft – perfekte Kombination von Mensch, Technik und IT. Industrielle Revolution 4.0: 9

Wandlungsfähige Produktionssysteme für den Automobilbau der Zukunft

Dieter Steegmüller und Michael Zürn

Zusammenfassung

Es werden nach einer Motivation und einer begrifflichen Einordnung zunächst wandlungsfähige Produktionslösungen der laufenden Produktion vorgesehlt, darunter kooperierende Roboter, skalierbare Produktionssysteme und Montagemodule zur Automatisierung in Fließbetrieb. Besonderes Augenmerk wird auf die sensitive Robotik gelegt mit Schilderung der weltweit ersten Serienlösung sowie umfassender Mensch-Roboter-Kooperationslösungen. Schließlich werden die Inhalte der Arena2036 zur ganzheitlichen Abstimmung von Produkt, Wertschöpfungsketten, Betriebsmitteln sowie der notwendigen Organisation vorgestellt.

1 Motivation wandlungsfähige Produktionssysteme

Schneller, flexibler, nachhaltiger – das sind die Herausforderungen für den Produktionsstandort Deutschland. Dynamische Märkte erfordern eine schnellere Marktreife von Produkten, kürzere Produktlebenszyklen und mehr Produktvarianten. Dadurch stehen die deutschen Automobilhersteller vor der Herausforderung, individualisierte Fahrzeuge wirtschaftlich zu produzieren. Zudem müssen sie die Risiken volatiler Märkte wettbewerbsfähig am Produktionsstandort Deutschland bewältigen. Vor diesem Hintergrund wird Wandlungsfähigkeit zu einem entscheidenden Erfolgsfaktor von Produktionssystemen.

Die Industrie 4.0 kann hierbei zu einem bedeutenden Wandlungsbefähiger in der Automobilproduktion werden. Jedoch hat sie noch keinen flächendeckenden Einzug in diese komplexe, hochspezialisierte und sehr standardisierte Welt gehalten.

Es werden deshalb im Folgenden nach einer begrifflichen Einordnung zunächst wandlungsfähige Produktionslösungen der laufenden Produktion vorgestellt, um

D. Steegmüller (✉) • M. Zürn
Daimler AG, Sindelfingen, Deutschland
E-Mail: dieter.steegmueller@daimler.com; michael.zuern@daimler.com

anschließend das besondere Potenzial der sensitiven Robotik als Wandlungsbefähiger aufzuzeigen: beginnend mit der weltweit ersten Serienlösung mit sensitiven Leichtbaurobotern bis hin zu neuen, umfassenden Mensch-Roboter-Kooperationslösungen.

Optimale Ergebnisse im Sinne einer wandlungsfähigen Produktion, auch als Anwendung der Industrie 4.0, sind nur durch ganzheitliche Abstimmung von Produkt, Wertschöpfungsketten, Betriebsmittel sowie Organisation zu erzielen. Dies sind Neuerungen, die insgesamt nur schwierig in die laufende Produktion zu integrieren sind. Deshalb engagiert sich Mercedes-Benz zunächst bei dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungscampus ARENA2036. Die Forschungsinhalte von ARENA2036 werden am Ende dieses Beitrages mit dem Fokus auf die angestrebten Lösungen des Themenfelds Industrie 4.0 vorgestellt.

2 Flexibilität versus Wandlungsfähigkeit

Noch werden marktbedingte Absatz- und Variantenschwankungen meist mit einem Ressourcenvorhalt in den Produktionsanlagen berücksichtigt, der später eine hohe Flexibilität gewährleisten soll. In der Planungsphase festgelegte Produktvarianten und Stückzahlen können dann sehr schnell innerhalb der Anlage ohne Mehraufwand hergestellt werden. Die Flexibilität einer Anlage beschreibt also diejenigen Änderungsmöglichkeiten, die eine Anlage von sich aus mitbringt, um auf Änderungen zu reagieren, die zum jeweiligen Planungszeitpunkt bereits bekannt sind. Innerhalb vereinbarter Grenzen kann die flexible Anlage mit geringem Aufwand und in kürzester Zeit auf die vorhergesehenen Randbedingungen angepasst werden. Es müssen jedoch Ressourcen vorgehalten werden, um auf die Änderungen reagieren zu können.

Für eine Zukunft mit volatilen Märkten reicht ein Flexibilitätsvorhalt jedoch nicht mehr aus. Zu dynamisch sind die Bedürfnisse des beliebig schwankenden Marktes, sodass der erforderliche Flexibilitätsvorhalt nicht wirtschaftlich wäre.

Auf unvorhersehbare Änderungen muss eine Produktionsanlage nicht flexibel, sondern wandlungsfähig reagieren können, um wirtschaftlich am Markt zu bestehen. Die Wandlungsfähigkeit einer Anlage beschreibt dabei das Vermögen und das Potenzial, mit minimalem Aufwand beliebig umgestaltet zu werden. Ziel ist es, mit nur geringem finanziellen Aufwand zwischen verschiedenen Zuständen zu wechseln. Im Gegensatz zur Flexibilität kommt die Wandlungsfähigkeit also ohne einzuplanenden Ressourcenvorhalt aus.

Sind als Wandlungstreiber Markteinflüsse wie veränderte Nachfrage von Produkten in Art und Stückzahl zu nennen, so lassen sich, wie in Abb. 1 dargestellt, als Wandlungsbefähiger die Disziplinen Skalierbarkeit, Mobilität, Modularität, Universalität, Kompatibilität und Neutralität nennen. Sie definieren den Lösungsraum für Wandlungsfähigkeit. Eine diesen Kriterien genügende Produktion lässt sich folglich ohne Vorhalt mit nur geringem Aufwand durch Anpassung, Rekonfiguration, Reuse oder Verlagerung immer im optimalen Betriebspunkt betreiben.

Der Bedarf an Wandlungsfähigkeit wurde von Mercedes-Benz schon vor Jahren erkannt und führte an verschiedenen Stellen in der Produktion zu hocheffizienten

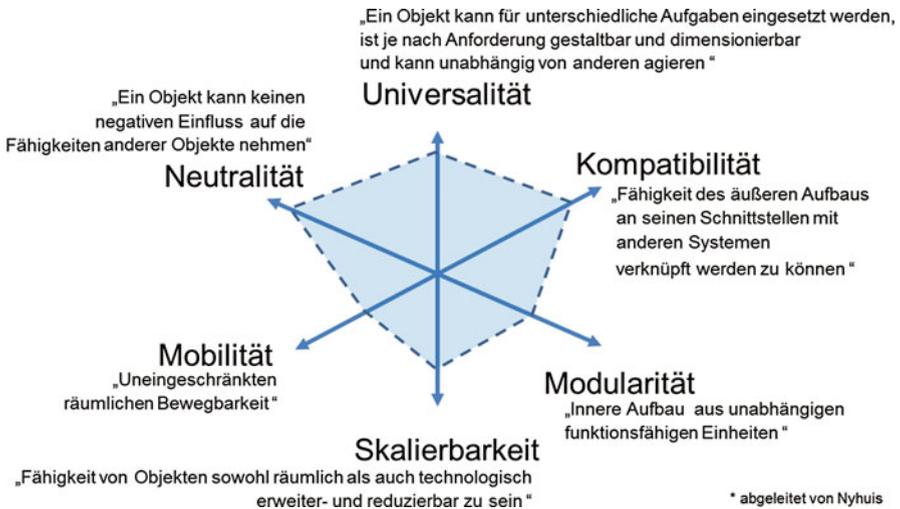


Abb. 1 Wandlungsbefähiger nach Nyhuis (vergl. Nyhuis et al. 2008)

und neuartigen Montagesystemen, die schon entsprechende Gene der Wandlungsfähigkeit enthielten.

3 Innovative Automatisierungslösungen in der Mercedes-Benz-Produktion

3.1 Neuartiges Anlagen- und Montagekonzept zur Hinterachsmontage der C-Klasse durch kooperierende Roboterteams

Ausgehend vom bisherigen Stand der Technik wurde im Rahmen des Entwicklungsprojekts Montage 21 in Zusammenarbeit mit der Fa. Kuka Roboter GmbH ein neues, ganzheitliches Montagekonzept entwickelt.

Es galt hierbei, einerseits neue Lösungen für die manuellen und damit zeitintensiven Montagestationen zu finden, welche die vorhandenen Mechanisierungen in ihrem Takt bestimmten. Andererseits sollten schlankere Lösungen für den Werkstücktransport gefunden werden, als feste Materialbänder mit einer Vielzahl von Werkstückträgern. Eine Übersicht über die ehemalige Hinterachsmontage mit den Bereichen manueller und automatisierter Montage sowie der Logistik- und Materialbereitstellung zeigt Abb. 2 und 3.

Im Ergebnis wurde ein komplett neues Anlagen- und Technologiekonzept zur Hinterachsmontage auf zwei identischen Anlagen am Standort Stuttgart/Untertürkheim und am Standort Hamburg aufgesetzt, bei welchem insbesondere die Automation der Montage durch Industrieroboter und eine klare Trennung von wertschöpfenden Montageinhalten

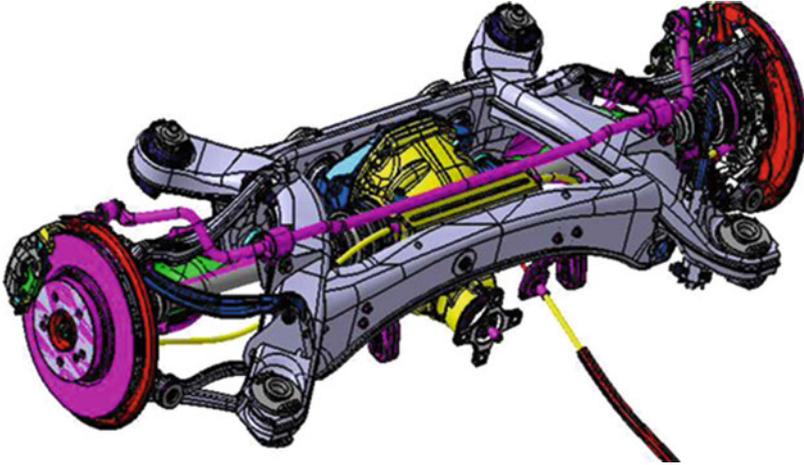


Abb. 2 Hinterachse der C-Klasse

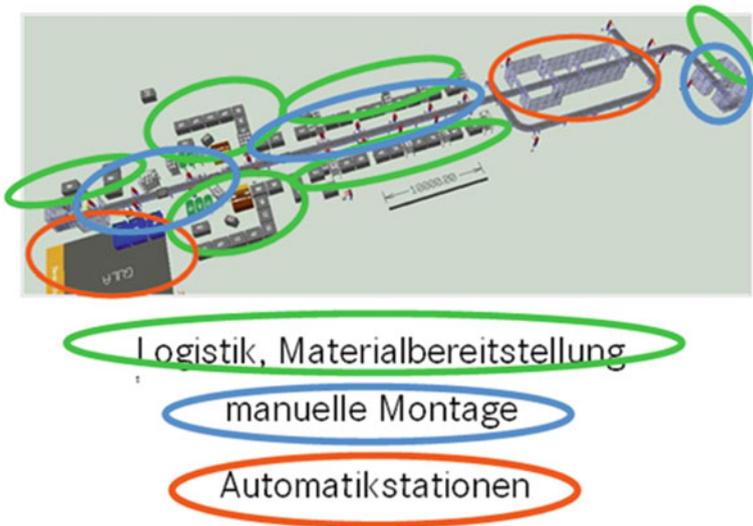


Abb. 3 Ehemalige manuelle Hinterachsmontagelinie

und nichtwertschöpfenden Logistik- und Materialbereitstellungstätigkeiten im Fokus standen.

Die technischen Herausforderungen bei der Umsetzung dieses innovativen, ganzheitlichen Montagesystems waren anspruchsvoll. Das Ergebnis sind Roboterapplikationen, die schon 2007 die Grenzen der technischen Machbarkeit für eine effizientere Produktion deutlich erweitert haben.

Zur Maximierung des wirtschaftlichen Potenzials war es notwendig, sich auf die wertschöpfenden Elemente zu konzentrieren und möglichst die nichtwertschöpfenden Elemente vollständig zu entfernen. Hierbei hat sich der Einsatz einer grenzwertorientierten Zielspinne, wie in Abb. 4 dargestellt, bei der Lösungsfindung und Lösungsbewertung als methodische Unterstützung bewährt.

Wie Abb. 5 zeigt, erinnert heute nichts mehr an die früheren Montageabläufe. Transportband und Werkstückträger fehlen, teure und werkstückspezifische Spann-, Dreh-, und Kippvorrichtungen konnten durch die Übertragung der Werkstückposition von Roboter zu Roboter entfallen. Aufreihende, doppelte Materialbereitstellung gibt es nicht mehr, die noch vorhandenen Logistik- und Materialbereitstellungsumfänge sind klar getrennt von den wertschöpfenden Montagetätigkeiten.

Im Ergebnis wird die komplette Hinterachse heute mit über 45 kooperierenden KUKA-Robotern, das heißt miteinander vernetzten und Hand in Hand arbeitenden Systemen, montiert. Erst zum Schluss wird die Achse, zur Komplettierung mit variantenreichen Anbauteilen, an eine kontinuierlich laufende Drehscheibe mit zwölf manuellen Arbeitsplätzen übergeben. Auf diesem neuartigen Drehscheibenkonzept sind alle manuellen Tätigkeiten zusammengefasst und erlauben eine hohe Stückzahlflexibilität ohne Änderung der Taktung oder Arbeitsinhalte.

Bis zu sechs Roboter arbeiten in einem Roboterverbund und zeigen den großen Nutzen der kooperativen Fähigkeiten: auch ein in der Bewegung befindliches Werkstück kann bearbeitet werden. Während so die Werkstücke in fliegendem Wechsel von einer Zelle zur nächsten wandern, entfallen praktisch die Totzeiten des Werkstücktransfers. Ausbringungstakt und Wertschöpfung steigen in der Folge.

Die Materialbereitstellung erfolgt über einen Supermarkt mit getaktetem Routenverkehr. Die Bestände innerhalb der Montagelinie und damit auch die Durchlaufzeit wurden auf ein Minimum reduziert. Über integrierte Prüfaufgaben und -zyklen werden die anspruchsvollen Qualitätsanforderungen in den Montagezellen perfekt eingehalten. Die kompletten Montagedaten werden für jede einzelne Achse in einer Qualitätsdatenbank gespeichert, um eine lückenlose Dokumentation und Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten.

Tatsächlich konnten während der Laufzeit der Anlage neue Varianten zeitnah und kostengünstig integriert werden. Die kurzen Reaktionszeiten auf nicht vorhersehbare Produktänderungen und -varianten bestätigten die verbesserte Wandlungsfähigkeit der Anlage.

3.2 Montage Zylinderkopf Diesel-Vierzylinder

2009 konnte dann für den neuen Vierzylinder-Dieselmotor der Nachweis erbracht werden, dass über belastbare kennwert- und grenzwertorientierte Methoden herkömmliche Denkmuster aufgebrochen werden können. Ziel war es neben der maximierten Wertschöpfung relevante Wandelbarkeitsförderer zum Beispiel Modularität oder Nutzungsneutralität in Form einfachster Werkzeuge etc. zu entwickeln und zu integrieren (Abb. 4).

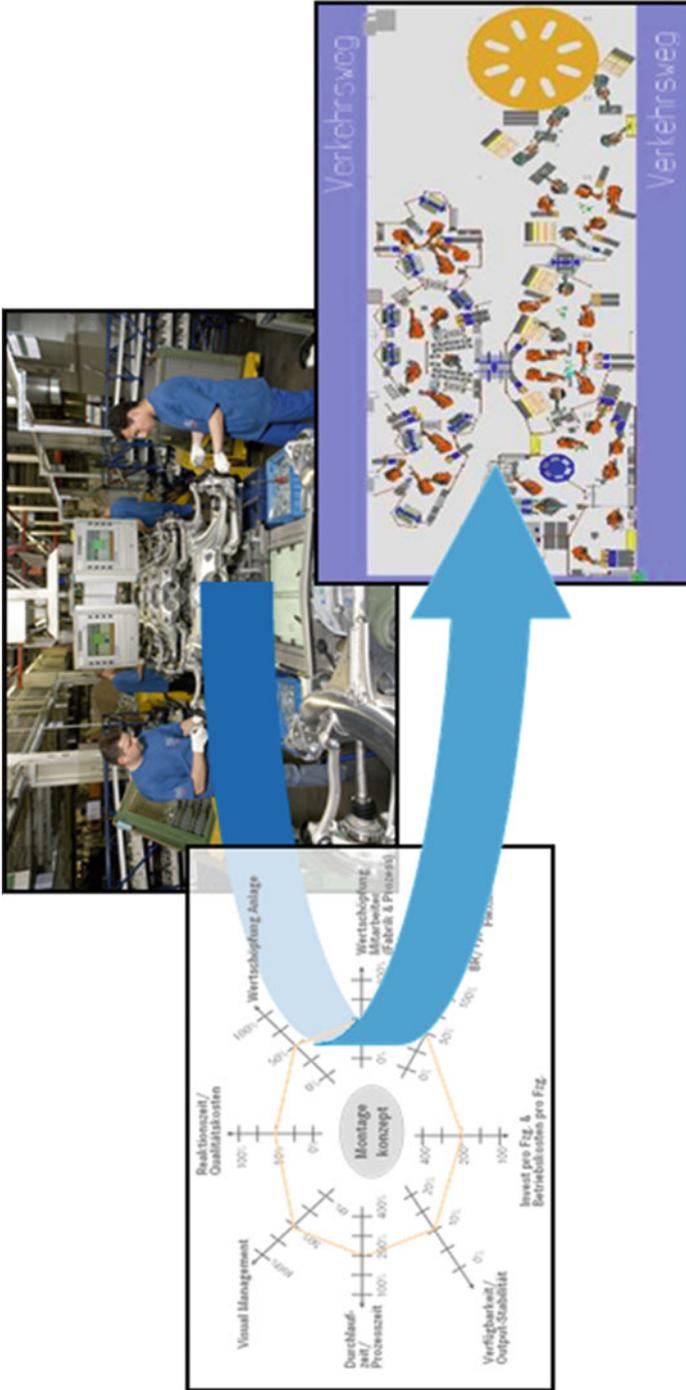


Abb. 4 Methodische Konzeptentwicklung mit Zielparametern

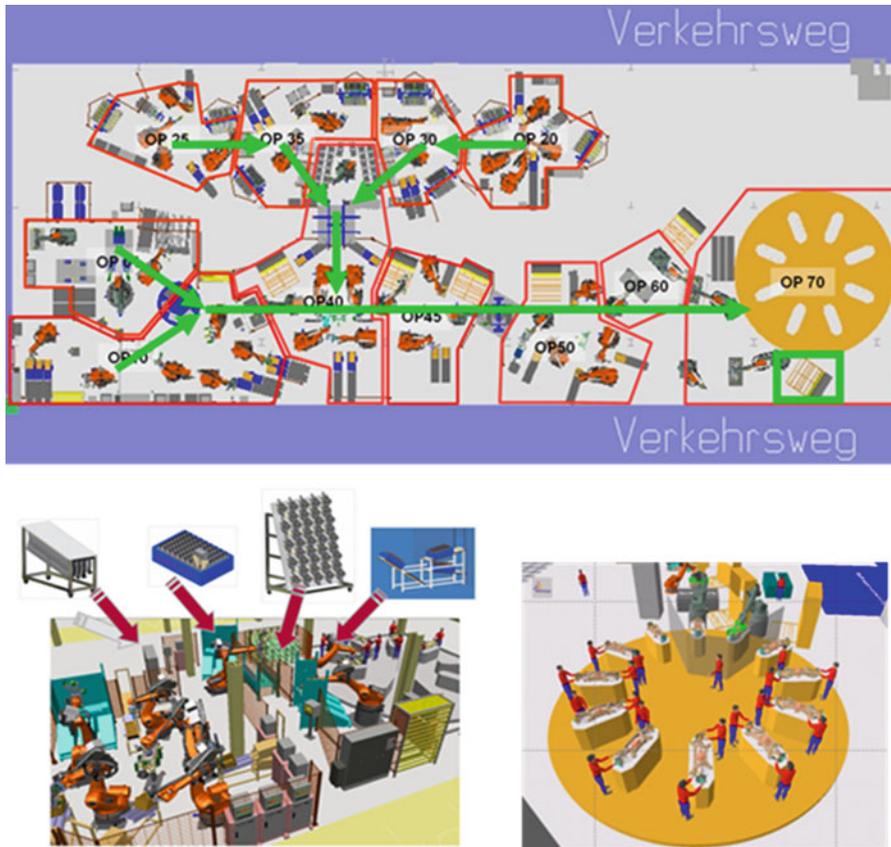


Abb. 5 Wandlungsfähiges Montagekonzept für die Hinterachse

Für die prognostizierte Stückzahl wurde das Konzept der modularen Stückzahl-sprungflexibilität entwickelt. Bei vergleichbarer Stückzahl war das Invest sogar kleiner im Vergleich zu einer Großanlage bei gleichzeitiger Flächeneinsparung von mehr als 30 Prozent. Durch die Modulstrategie konnten die erforderlichen Investitionen zeitnah am Marktbedarf nacheinander getätigt werden. Via Copy und Paste konnte nach dem ersten Modul die wirtschaftlich interessante Stückzahl-sprungflexibilität dargestellt werden.

Anstatt auf bisher übliche Mehrfachgreifer wird konsequent auf Hochgeschwindigkeitsmontagen mit Einfachgreifern gesetzt. Über den neuen Methodenansatz wurde der Fokus nun auf die Kernelemente kurze Fahrwege der Roboter, simple und universelle Werkstückablagen und einfachste Greifer gelegt (Abb. 5 und 6).

Durch die oben genannten Wandelbarkeitsförderer können zeitnah am Markt und seinen Bedürfnissen die Ausbringung skaliert und neue Varianten bzw. Baureihen integriert werden. Sowohl technologisch als auch konzeptionell wurden völlig neue Wege beschritten und ein weiteres Tor zur wirtschaftlichen Wandelbarkeit aufgestoßen.

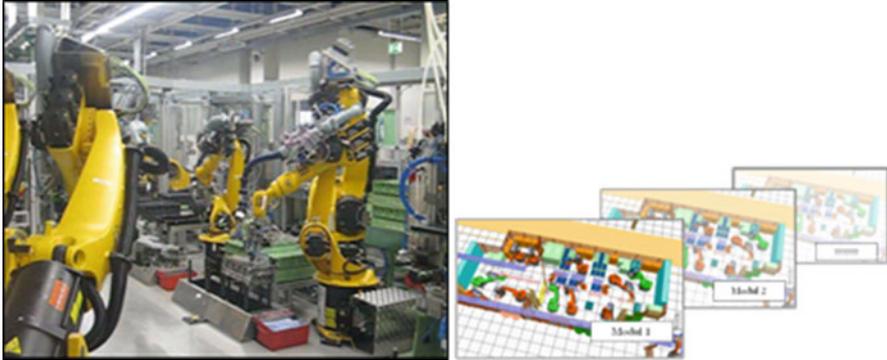


Abb. 6 Wandlungsfähige Zylinderkopfmontage

3.3 Objektgekoppeltes Mechanisierungs-System (OGMS)

Automatisierte Prozesse in Fließmontagen mit objektberührenden Prozessen, stellen durch die zeitgleiche Überlagerung von Prozess und bewegtem Objekt eine generelle Herausforderung dar. Vor allem in der Aufbaumontage existieren aus technisch wirtschaftlichen Gründen in der Regel keine getakteten Bandabschnitte, die eine stationäre, automatisierte Montage zulassen.

Voraussetzung für die Integration von Automatikstationen ist deshalb die Fähigkeit, bei kontinuierlicher Fließfertigung Fügeaufgaben zu übernehmen. Vorbild ist ein Mitarbeiter, der im Fließbetrieb auf einer Plattform oder auf dem Band mitbewegt wird.

Das gleiche Prinzip nutzt das objektgekoppelte Mechanisierungs-System (kurz OGMS), das ebenfalls auf einer Plattform über einen Ankoppelmechanismus mitbewegt wird. Idealerweise befindet sich diese Ankoppelstelle in der Nähe der Fahrzeugfügestelle, da so störende Toleranzketten verkleinert werden. Die technische Herausforderung besteht darin, dass im Arbeitshub der Schleppprozess annähernd kraftfrei ist. Der Rückhub erfolgt im abgekoppelten Zustand aus Taktzeitgründen sehr schnell und gefahrlos.

Die durchzuführenden Prozesse auf der autonomen Plattform werden außerhalb der Montagelinie aufgebaut, in Betrieb genommen und optimiert. Ohne Unterbrechung der Fließfertigung ist eine Integration der Plattform und damit der automatisierten Prozesse möglich. Die enthaltenen Faktoren der Prozessverlagerung entlang der Fertigungslinie und die Integration bisher nicht bekannter Prozesse enthalten deutliche Gene der Wandelbarkeit (Abb. 7).

4 Wandlungsfähigkeit durch sensitive Robotik

Bisher mussten Unternehmen sich entscheiden zwischen flexiblen, manuellen Produktionsabläufen einerseits oder hochproduktiver, repetitiver Automatisierung mit geringer Flexibilität andererseits. Es galt der Grundsatz: Automatisierte Pro-



Abb. 7 Fügen Windschutzscheibe mit OGMS



Abb. 8 Sensitiver Leichtbauroboter Kuka LBR iiwa

Produktionssysteme sind hoch produktiv, aber starr und kapitalintensiv. Manuelle Produktionssysteme sind flexibel, aber wenig produktiv. Diesen unvereinbaren Gegensatz hilft nun eine neuartige Generation von Leichtbaurobotern aufzuheben.

Diese neuen Leichtbauroboter sind klein, leicht und teils mit Sensoren ausgestattet, die es ihnen ermöglichen, sehr feinfühlig auf ihre Umwelt zu reagieren. Sie können nahezu jede Montagetätigkeit ausführen und dank ihrer Sensorik darüber hinaus bei voller Arbeitssicherheit ohne Schutzzäune mit Menschen an einer Station zusammenarbeiten.

Der LBR iiwa, dargestellt in Abb. 8 ist beispielsweise ein Vertreter dieser neuen Roboter-Klasse. Er hat ein Lastgewicht von 7 bzw. 14 kg und verfügt über redundante 7-Achskinematik mit Gelenkmomentenregelung.

4.1 Potenziale Leichtbauroboter und Sensitivität

Sensitive Leichtbauroboter unterscheiden sich von bisherigen Roboterkonzepten vor allem durch ihre „Feinfühligkeit“, also ihre Fähigkeit, die Kräfte und Momente, die in der Interaktion mit Gegenständen oder Menschen auftreten, mit integrierten Sensoren sehr präzise zu messen. Solche Leichtbauroboter können aber die Kräfte nicht nur messen, sondern auch situationsentsprechend reagieren. Wie genau reagiert wird – ob der Roboter bei einer Berührung beispielsweise zurückweicht oder nur innehält – ist programmierbar. So kann der neue Leichtbauroboter LBR iiwa beispielsweise in der Getriebemontage von Mercedes-Benz ein Zahnrad greifen, die Position des damit zu bestückenden Gehäuses ertasten und das Zahnrad in die nur wenig größere Öffnung „einrütteln“. Diese Aufgabe wäre für herkömmliche Industrieroboter nur mit großem Aufwand für Positionierhilfen und Sensorik am Werkzeug lösbar.

Durch diese Eigenschaften können sensitive Leichtbauroboter Montagevorgänge auch in nur teilweise bekannten Umgebungen präzise und zuverlässig ausführen. Dies ist ein radikaler Paradigmenwechsel in der Automatisierung. Ein solcher Ansatz funktioniert viel zuverlässiger als das „blinde“ Anfahren über programmierte Bahnen.

Der Paradigmenwechsel hin zu leichten, feinfühligem, interaktiven Robotern wurde im Wesentlichen durch folgende wegweisende Forschungsneuheiten ermöglicht:

Extremer Leichtbau basierend auf ganzheitlichem mechatronischen Entwurf

Neuentwickelte Hochleistungsmotoren, hochintegrierte Elektronik mit neuartigen Drehmoment-Sensoren in jedem Gelenk und konsequente Leichtbaukonstruktion haben beispielsweise beim LBR iiwa zu einem Roboterarm geführt, der bei gleicher Traglast um den Faktor 10–20 leichter ist als klassische Industrieroboter.

Neuartige Regelalgorithmen mit einzigartiger Drehmomentsensorik

Der Durchbruch gelang erst mit diesen Neuerungen. Sie erlauben, Schwingungen der sehr leichten Struktur aktiv zu dämpfen, ein frei einstellbares elastisches Verhalten situationsbedingt einzuprägen, Reibung und Gleichlaufschwankungen zu kompensieren und auch bei maximaler Geschwindigkeit noch externe Berührungen mit Menschen und der Umgebung zu detektieren.

Intuitive Programmier- und Bedienkonzepte

Die Nachgiebigkeit dieser neuen Robotergeneration eröffnet den Raum für neue, interaktive Roboter-Programmierverfahren. Zukünftig lassen sich die Roboter durch intuitives „An-der-Hand-Führen“, d. h. über haptische Gesten, einfach programmieren.

Vorteile bieten die neuen Leichtbauroboter auch durch geringen Investitionsbedarf in die Arbeitsumgebung. Sie können dieselben Werkzeuge bedienen wie ein Mensch. Zudem sind sie klein, leicht und entsprechend mobil. Ohne aufwendige Vorbereitungen können sie an eine andere Arbeitsstation gebracht werden und sind dort rasch einsatzbereit. So kann ein und dieselbe Station mit einem Mitarbeiter oder mit einem Roboter – oder beiden – besetzt werden, je nachdem welche Stückzahlen oder Varianten vom Kunden nachgefragt werden.

4.2 Weltweit erste Serienproduktion mit sensitivem Roboter: Mercedes-Benz Hinterachsgetriebemontage

Für die erste praktische Umsetzung einer Montageapplikation mit Leichtbauroboter wählte Daimler eine der anspruchsvollsten und ergonomisch schwierigsten Montageaufgaben aus dem Bereich der Hinterachsgetriebemontage von Mercedes-Benz (Abb. 9).

Hierzu wurde für den Einsatz eines Kuka-Leichtbauroboters iiwa ein völlig neues Produktionssystem mit Werkzeugen, Programmen und Abläufen entwickelt, um die sehr hohen Anforderungen an die sensitiven Fähigkeiten des Ausführenden und an die geforderte Produktqualität sicherzustellen. Es galt, das Ausgleichsgetriebe in das Hinterachsgetriebe vorsichtig einzuschwenken, ohne anzustoßen oder zu verkanten und Lagerschalen zu fügen, die sich je nach Getriebevariante unterscheiden. Beides konnte bisher nur mit einem sehr hohen technischen, nicht immer wirtschaftlichen Aufwand automatisiert werden. Der Leichtbauroboter brachte den Durchbruch in Kombination mit der Entwicklung einfachster universeller Greifwerkzeuge. Da am Roboter die Kraftsensoren bereits integriert sind, kann auf alle sonst üblichen Sensoren an den Greifwerkzeugen verzichtet werden. Das reduziert massiv die Komplexität der automatisierten Lösung und vermeidet einen Großteil von sonst üblichen Störungen in toleranzbehafteten Prozessen. Im März 2009 ging die Anlage in Betrieb. Ende 2010 konnte sie bereits den Mehrschichtbetrieb aufnehmen. Seit Beginn des Betriebsversuchs haben die Leichtbauroboter-Prototypen bei Mercedes-Benz bisher 500.000 Hinterachsgetriebe montiert.



Abb. 9 Hinterachsgetriebemontage mit sensitivem LBR iiwa

4.3 Robot Farming: von sensibler Automatisierung zur umfassenden Mensch-Roboter-Kooperation

Wie ein Farmer seine Tiere und Maschinen auf verschiedenen Äckern und zu unterschiedlichen Zwecken einsetzt, nutzt beim sog. „Robot Farming“ der Mitarbeiter Roboter an verschiedenen Orten für unterschiedliche Aufgaben: Je nach geforderten Stückzahlen und Fertigungsumfängen nimmt er einen oder mehrere Roboter hinzu, setzt sie mal an der einen, mal an der anderen Station ein oder arbeitet sogar ohne Schutzzäune mit ihnen in einem Arbeitsbereich zusammen.

Es werden die kognitiven und physischen Fähigkeiten des Menschen mit der Wiederholgenauigkeit, Präzision und Ausdauer der Roboter kombiniert. Das macht die Produktion so wandlungsfähig wie noch nie.

Erfahrungen haben gezeigt, dass bei der Optimierung von Montageanlagen die größte Hebelwirkung nicht über Einzelapplikationen zu erzielen ist. Um das volle wirtschaftliche Potenzial des Robot Farming auszuschöpfen, muss also die gesamte Prozesskette von der Materialbereitstellung bis zum eigentlichen Montagevorgang eingebunden werden. Menschen und Roboter arbeiten in allen Phasen des Produktionsprozesses zusammen. Hierzu eignen sich die sensiblen Leichtbauroboter besonders: Anders als in bisherigen Automatisierungen sind beim Robot Farming mit Leichtbauroboter (LBR) keine Sonderwerkzeuge oder speziellen Vorrichtungen mehr nötig. Das reduziert die Investitionskosten bei gesteigerter Produktivität.

In der Summe trägt das Robot Farming mit LBR so zu Produktivitätssteigerungen bei, die weit über das Potenzial bisheriger Automatisierung hinausgehen. Durch die Nutzung des universellen Roboters als Assistent des Menschen lässt sich die Wertschöpfung des Mitarbeiters potenzieren. Auch ergibt sich enormes Potenzial in der Prozessstabilität und beim Flächengewinn gegenüber heutigen Automatisierungslösungen. Bei steigendem Durchschnittsalter der Belegschaft lässt sich die Produktivität halten oder sogar steigern. Bisher rein manuelle Arbeiten können so nachhaltig wirtschaftlich gestaltet werden; einer Verlagerung ins Ausland wird vorgebeugt. So trägt das Robot Farming entscheidend zur Sicherung von Wettbewerbsfähigkeit und Wohlstand des Produktionsstandorts Deutschland bei.

5 Forschungsfabrik ARENA2036 Wandlungsfähigkeit durch integrierte Produkt- und Produktionsgestaltung für die nächste Generation von (Leichtbau-) Automobilen

5.1 Motivation

Wandlungsbefähiger von Produktionssystemen sind die Universalität von Betriebsmitteln (Aufbau, Geometrie oder Prozessrandbedingungen von Werkstücken erfordern keine Umrüstung), ihre Skalierbarkeit, Modularität, Kompatibilität und Vernetzbarkeit (Mobilität). Jedoch wird die Wandlungsfähigkeit u. a. durch produkt-, prozessspezifische und organisatorische Anforderungen beschränkt.

Optimale Ergebnisse im Sinne einer wandlungsfähigen Produktion umfassen die ganzheitliche Abstimmung von Produkt, Wertschöpfungsketten, Betriebsmittel und Organisation in Bezug auf die neuartigen, durch den Leichtbau induzierten Prozesse und Wertschöpfungsketten.

Hiervon sind die heutigen Automobile und ihre Produktionswerke tatsächlich noch ein Stück entfernt. Sie sind noch auf bestimmte Modelle spezialisiert und auf fest geplante Stückzahlen ausgelegt. Nahe dem optimalen Betriebspunkt produzieren sie hoch wirtschaftlich.

Jedoch sind die Prozesse in Presswerk, Karosseriebau und insbesondere in der Lackierung im Wesentlichen auf Aluminium und Stahl abgestimmt. Neue Materialien, Prozesse und Bauweisen sind im sogenannten „Brownfield“, bei laufender Produktion einer bestehenden Fabrik, nur schlecht einzuführen. Auch die in der Logistik genutzte Fördertechnik zum Karosserietransport beschränkt die notwendige Flexibilität mit fester Verkettung und Installation. Angesichts der Zunahme von Modellen und Varianten kommen die bestehenden Fabriken in Bezug auf Fläche an ihre Grenzen. Insbesondere in den heutigen Montagehallen ist verfügbarer Platz entlang der Materialbereitstellungszonen ein besonderer Engpass.

Bezüglich Wandlungsfähigkeit stellen sich aus Sicht des Automobilbaus ganz konkrete Fragestellungen:

- *Produkt*: Wie sollen die heutigen Produktionshallen organisiert werden, wenn morgen die Varianz der Produkte, z. B. durch Diversifikation von Antriebstechnologie steigt und somit die Modellvielfalt zusätzlich von Antriebsvarianz überlagert wird? Wie sollen die Fahrzeuge gestaltet werden, um die Einflüsse auf die Produktion und Unterschiede möglichst gering zu halten? Mercedes steht mit seinen Assistenzsystemen in der Fahrsicherheit an der Spitze. Doch wie werden Verbau und Inbetriebnahme dieser in der Anzahl weiter zunehmenden Systeme in die Produktionsanlagen integriert?
- *Ganzheitlichkeit*: Mit welchen ganzheitlichen Konzepten lässt sich die Komplexität am besten beherrschen? Wie passt sich die Produktion schnell einer geänderten Nachfrage an? Wie lässt sich das zu jeder Stückzahl kostenminimal darstellen?
- *Wirtschaftlichkeit*: Wie gestaltet man wandlungsfähige Produktionsanlagen ohne einen Mehrpreis zu zahlen?
- *Bewertung*: Wie bewertet man Wandlungsfähigkeit wirtschaftlich? Welches sind die Auswirkungen auf Fläche und Zeit?
- *Risiko*: Welche Risiken bergen die technischen Lösungen der Wandlungsfähigkeit? Welche Rückfalllösungen bestehen? Wie kann die Verfügbarkeit der Produktion zu jedem Zeitpunkt aufrechterhalten werden?

Um für diese komplexen Fragen konkrete Antworten und tragfähige Lösungen zu erhalten, engagiert sich Mercedes-Benz bei dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungscampus ARENA2036 in Kooperation mit weiteren Partnern aus Forschung und Wirtschaft.

5.2 Forschungscampus ARENA2036 – Partner, Ziele

Der Forschungscampus ARENA2036 ist der Gewinner der Förderinitiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung „Forschungscampus: öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen“, welche zum Ziel hat, Herausforderungen der Zukunft zu meistern, indem Wissenschaft und Wirtschaft mit mittel- bis langfristigen Fokus unter einem Dach kooperieren (Abb. 10).

Die „ARENA2036“ fokussiert mit ihrer Forschungsstrategie auf multifunktionale Verbundwerkstoffe und dabei insbesondere auf die Integration zusätzlicher Funktionen sowie schließlich auf die wandlungsfähige Fahrzeugproduktion.

Das Teilprojekt „Forschungsfabrik“, bei dem die Daimler AG mit den wissenschaftlichen Instituten der Universität Stuttgart und der Fraunhofer-Gesellschaft sowie den Wirtschaftspartnern Bosch und Bär Automation zusammenarbeitet, hat die wandlungsfähige Fabrik im Fokus.

Die Teilprojekte „Leichtbau und Formintegration“ sowie „Digitaler Prototyp“ entwickeln hierzu aus innovativen Leichtbauwerkstoffen wie z. B. CFK, geeignete funktionsintegrierte Montagemodule und Werkzeuge, um deren Herstellung zu simulieren (Abb. 11).

5.3 Forschungsinhalte

Ein Merkmal der angestrebten Zukunftsfabrik ist, dass in dieser wandlungsfähigen Fahrzeugproduktion die starre sequentielle Linienfertigung aufgebrochen wird und entsprechend den Fertigungsanforderungen einzelner Varianten spezifische Prozessmodule dynamisch angefahren werden.

Active Research Environment for the Next Generation of Automobiles

Active Research Environment

Forschungscampus ARENA2036:
Wissenschaft und Wirtschaft unter einem Dach

- Wandlungsfähige Produktion
- Materials & Design
- Simulation und digitaler Prototyp

Next Generation Automobiles

Mitgestaltung zukünftiger Fahrzeug- und Produktionskonzepte durch:

- Konzentration von Kapazität und Kompetenz
- Forschungsfabrik als Integrationsplattform
- Multidisziplinäre Forschung
- Kontinuierlicher Innovationstransfer
- Ausbildung und Training

■ Stärkung Innovationskraft und Wettbewerbsstärke

Partners: BASF, BOSCH, DAIMLER, DYNIA, Universität Stuttgart, Fraunhofer, DLR

ARENA2036

Partner aus Baden-Württemberg*

* Weitere mögliche Partner: Eisenmann, Festo, Trumpf, Dürr etc.

FORSCHUNGS CAMPUS
öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen

Bundesministerium für Bildung und Forschung

PTKA Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie

Abb. 10 Forschungscampus ARENA2036, Partner und Inhalte

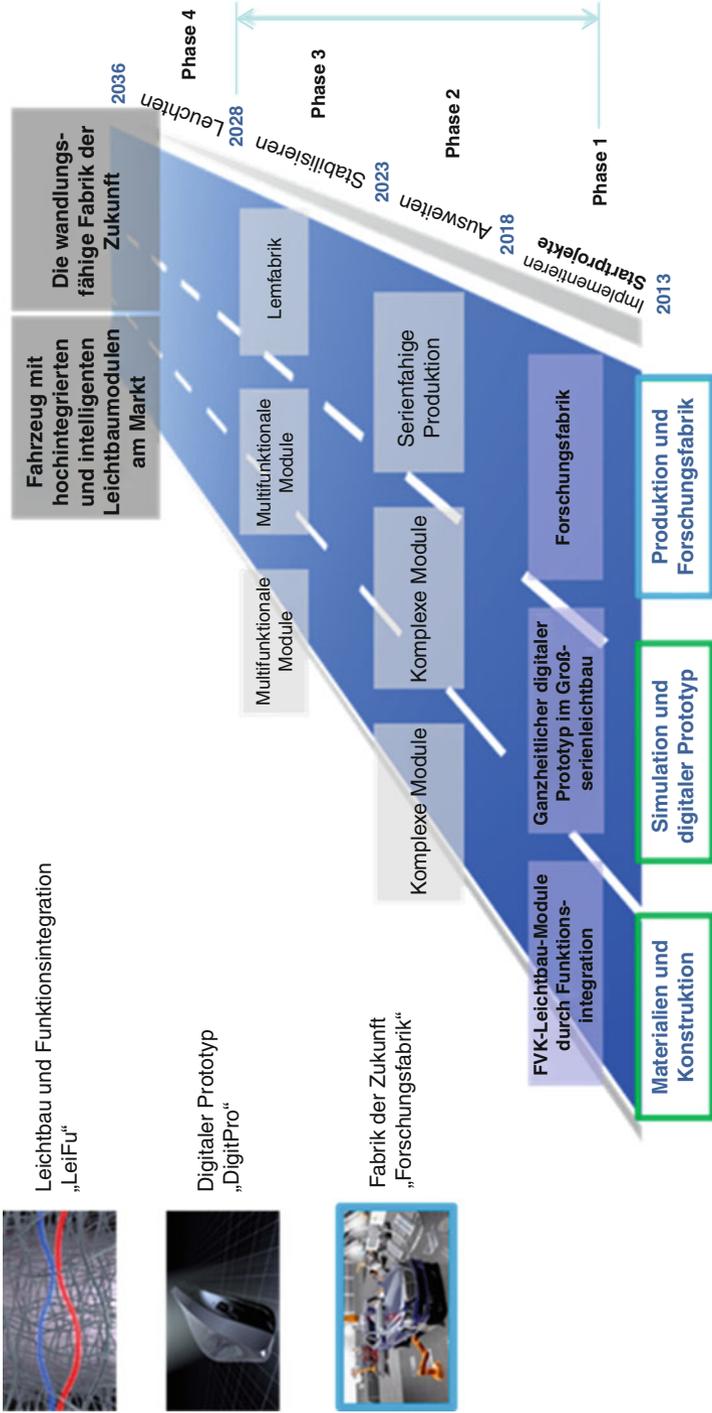


Abb. 11 Teilprojekte der ARENA2036

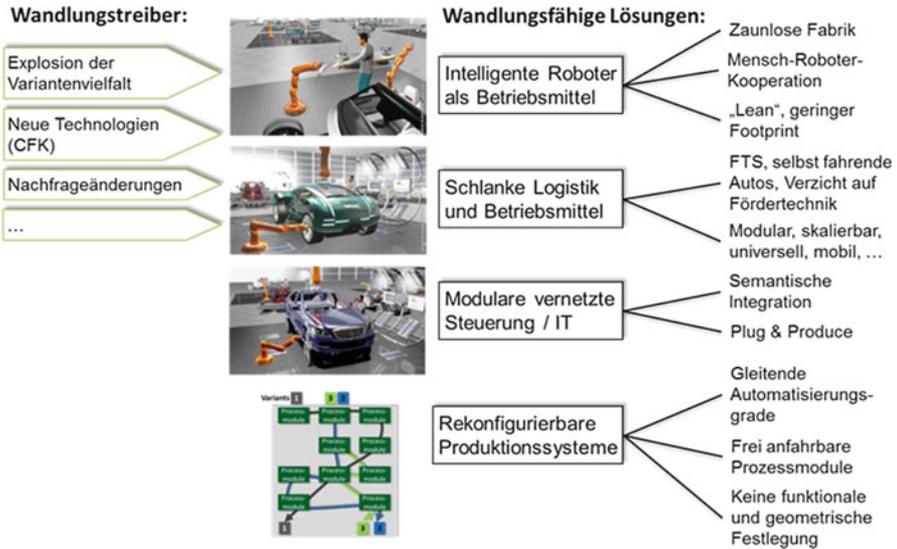


Abb. 12 Anforderungen an künftige Fahrzeugproduktionen und technische Stellhebel

Im Unterschied zur typischen Fertigungslinie wird ein Basislayout gewählt, das Prozessmodule ohne fest installierte Fördertechnik in einer Matrixform anordnet, um Modalität, Skalierbarkeit, Flexibilität in Bezug auf die eingesetzten Betriebsmittel und eine lose Verkettung der Fertigungsschritte zu ermöglichen. Dabei durchlaufen verschiedene Fahrzeugvarianten die Produktion auf verschiedenen Wegen. Sie werden somit zu cyber-physischen Systemen (CPS), d. h. die verschiedenen Modelle können sich, wie in Abb. 12 dargestellt, selbstständig und flexibel ihren Weg durch die Prozessmodule suchen und via Cloud den Zeitpunkt ihrer Bearbeitung verhandeln.

Des Weiteren sind modulare, „schlanke“ Betriebsmittel und die Logistik im Fokus von ARENA2036. Denn Wandlungsfähigkeit impliziert die Konzentration auf wertschöpfende Prozesse und Verschlankeung der Produktionssysteme. Hierbei darf „schlank“ nicht mit „low cost“ und „billig“ verwechselt werden. Vielmehr soll Technologie intelligenter und zielgerichtet eingesetzt werden, um heute geforderte Funktionen und Bauteile morgen weglassen zu können.

Neu zu realisierende Produktionskonzepte (Funktionsintegration: passive und aktive Funktionen in den Komponenten; Schnittstellengestaltung der Betriebsmittel: universelle Antriebs- und Funktionschnittstellen; hardwareneutrale Variantengenerierung: Funktionsaktivierung in der Endmontage) wirken der Komplexitätssteigerung durch die Fahrzeugvielfalt überproportional entgegen und ermöglichen den Aufbau extrem schlanker Produktionsstrukturen und -betriebsmittel. In diesem Sinne soll z. B. auf Aufnahme- und Aufspannfunktionen im Produktionsfluss

weitgehend verzichtet werden bzw. diese nach Maßgabe größter Universalität, Skalierbarkeit und Modularität ausgeführt werden. Minimale Logistik ohne feste Verkettungen lassen sich in der Fahrzeugproduktion realisieren, indem Komponenten/Baugruppen mittels universell verwendbaren fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTS) zwischen Prozessmodulen transportiert werden oder das Fahrzeug sogar selbst (anstatt eines Fließförderers) zwischen Montagemodulen bewegt wird. Prinzipiell soll in der wandlungsfähigen Produktion eine Loslösung vom Fertigungstakt hin zum Fertigungsfluss mit minimalem Umlaufbestand erfolgen.

Intelligente Roboter nehmen als vielseitig einsetzbare Betriebsmittel zur Prozessführung, insbesondere für neue Leichtbauprozesse, im Materialfluss und in der Prüftechnik eine zentrale Stellung ein. Hierbei sind die Möglichkeiten künftiger Mensch-Roboter-Kooperation für „gleitende“ Automatisierungsgrade von „manuell“ über „assistierend“ (Mensch-Roboter-Interaktion) bis zu „vollautomatisch“ auszunutzen. Die sichere Mensch-Roboter-Interaktion ohne trennende Schutzeinrichtungen („zaunlose Fabrik“) ermöglicht schlanke, dynamisch veränderbare Produktionslayouts. Prozess- und Prüfmodule sind so auszuführen, dass sie mit minimalem Umrüstaufwand sowohl durch Roboter als auch von Hand betrieben werden können. Durch die gezielte Nutzung der jeweiligen Stärken von Mensch (Flexibilität, Sensorik, Intelligenz) und Maschine (Einsatzmöglichkeit bei stark ermüdenden, kurzzyklischen und unergonomischen Tätigkeiten) steigt im Zusammenspiel letztlich sogar die Produktivität des einzelnen.

Auch die Steuerungstechnik muss den Anforderungen der wandelbaren Produktion genügen. Angestrebt werden „Plug&Produce“-Technologien in Bezug auf geometrische, elektrische und steuerungstechnische Schnittstellen für die schnelle Rekonfiguration von Betriebsmitteln. Die Nutzung semantischer Modelle zur effizienten Repräsentation von Wissen (Produkt- und Prozesswissen, Ressourcen) soll eine interpretierbare Repräsentation und Nutzung von Wissen für Menschen und Maschinen erlauben. Darüber hinaus sind Methoden zur intuitiven Bedienung bei der Inbetriebnahme, aber auch der Produktion mit „gleitenden“ Automatisierungsgraden zu schaffen. Generell werden für eine robuste und wandelbare Steuerung weitere Methoden, wie z. B. Service Oriented Architecture (SOA), Frameworks, semantische Netze, Modularisierung und Softwaretests, aus der Standard-IT in die industrielle Steuerungstechnik überführt und adaptiert. Die Steuerungsarchitektur muss von der bisherigen Top-Down-Struktur (von Leit- über Zellen- bis zu Maschinensteuerungen) bei der Beauftragung zu einer vom Produkt ausgehenden Beauftragung gestaltet werden.

Prozessmodule müssen über einfache mechatronische Schnittstellen verfügen. Diese erlauben einen schnellen Tausch vorhandener oder Integration neuer Module als wertschöpfender Bestandteil in die Produktion. Hierzu sind neben der Flexibilität des Roboters und der Selbstkonfiguration der Steuerung Methoden zur einfachen und schnellen Kalibrierung zu entwerfen, so dass sofort nach einer Rekonfiguration die geforderte Qualität erreicht und Kosten eingespart werden können.

Literatur

Nyhuis P, Heinen T, Reinhart G, Rimpau C, Abele E, Wörn A (2008) Wandlungsfähige Produktionssysteme: Theoretischer Hintergrund zur Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. *wt Werkstatttechnik online* 98(1/2):85–91

Teil II

Cyber-physische Produktionssysteme (CPPS)

iBin – Anthropomatik schafft revolutionäre Logistiklösungen

Franz-Josef Hoffmann

Zusammenfassung

Der Beitrag setzt sich mit dem Paradigmenwechsel im Kontext von Industrie 4.0 auseinander. Im Zeitalter der Informationsvernetzung greifen neue Mechanismen zur Steigerung der Wertschöpfungseffektivität und -effizienz: nicht tiefes Expertenwissen ist der entscheidende Wettbewerbsfaktor, sondern intelligentes Vernetzen vorhandener Informationsbausteine, welches neue Synergieebenen schafft. Am Beispiel des neuartigen Logistiksystems iBin wird dargelegt, wie durch die Vernetzung von Logistikprozessen und die Einbindung von Kontextwissen eine neue Wertschöpfungsebene erreicht wird.

1 Motivation

Mit dem Geschäftsfeld Würth Industrie Services (WIS) ist die Würth-Gruppe einer der führenden C-Teile-Lieferanten weltweit und im direkten Wettbewerb mit anderen global agierenden Unternehmen wie Fastenal und Grainger. Hinsichtlich einer vom Kunden wahrnehmbaren Differenzierung im Markt liegt der Schwerpunkt vor allem im Servicebereich. Insofern ist eine Marketingstrategie dann erfolgreich, wenn sie die folgende simple Kundenerwartung besser als der Wettbewerb erfüllen kann:

Kunden den Mehrwert, den sie wollen, mit neuen, innovativen Methoden bieten

F.-J. Hoffmann (✉)
Würth Electronics ICS, Inc., Dayton, OH, USA
E-Mail: franz.hoffmann@we-ics.com

Real geschaffener Mehrwert ist die Basis für Wohlstand. In ihrem Buch „Revolutionary Wealth“ (vergl. Toffler und Toffler 2006) legten Alvin und Heidi Toffler eindrucksvoll dar, dass die 3. Wohlstandswelle vor allem auf „Wissen, Denken und Erfahren“ basieren wird. Sie prägten erstmals den Begriff „Prosumer“ als ein Konstrukt aus proaktivem Consumer. In anderen Worten, wir erleben eine Verschiebung im Waren- Transaktionsprozess vom aktiven Verkäufer zum aktiven, immer besser informierten und den Transaktionsablauf bestimmenden Käufer. Darüber hinaus sagten sie die Veränderung der drei wichtigsten Fundamente der Wohlstandserzeugung voraus:

1. Arbeit: mehr Menschen arbeiten in immer weniger konventionellen Berufen,
2. Ort: bei der globalen Wohlstandserzeugung fällt die westliche Welt zurück,
3. Zeit: größerer Druck als je zuvor liegt auf der Beschleunigung operativer Prozesse.

Wir alle haben inzwischen den Einzug der Smartphone-Technologie und das erstaunliche Wirtschaftswachstum Chinas erlebt. Es ist heute eine Tatsache, dass der durchschnittliche amerikanische Mitarbeiter jeden Tag allein zweieinhalb Stunden mit seinem Smartphone für ‚nicht Telefongespräch bezogene Aktivitäten‘ verbringt (vergl. [Flurry Blog](#)) – den Großteil während der Arbeitszeit. Für Unternehmen stellt sich daher nicht mehr die Frage, ob diese neuen Technologien für die Wohlstandsschaffung Nutzen haben könnten. Die Aufgabe ist vielmehr, diese Technologien und die bereits komplett damit synchronisierten Mitarbeiter für die Unternehmensziele zu rekrutieren. Ähnliches gilt für viele andere Bereiche der neuen „Connected World“.

Eine etwas generalisierte Betrachtung der Mehrwerterzeugung aus Unternehmensperspektive zeigt [Abb. 1](#).

Jeder Mitarbeiter besetzt eine individuelle Bandbreite an Fähigkeiten und Aktivitäten im Unternehmen, was sich in einem individuellen Beitrag zur Wertschöpfung widerspiegelt. Klar ist auch, dass die Wertschöpfung typischerweise mit der Qualifikation zunehmen sollte und dass dabei der Schwerpunkt zunehmend von physischer zu geistiger Arbeit verschoben wird. Insbesondere kämpfen alle Unternehmen mit der anwachsenden Profitabilitätsgrenze, die sich fast wie ein Naturgesetz ständig nach oben bewegt. Der wohlpraktizierte Ausweg ist Outsourcing in Billigländer.

Aus [Abb. 1](#) folgt die ebenso triviale Tatsache, dass Wohlstandsschaffung eine Erhöhung des individuellen Aktivitätswertes erfordert. Dies wiederum erfordert, dass wir uns als Unternehmer ausführlich mit neuen und innovativen Management-Methoden befassen. Was heißt das konkret?

Hier ein Beispiel aus der Vergangenheit: Als Henry Ford anfang, Autos zu bauen, war die Situation nicht sehr viel anders als heute. Jeder gut ausgebildete, erfahrene Ingenieur weltweit konnte ein Auto bauen. Insbesondere galt:

- Die Produktionskosten für Autos waren hoch.
- Es gab fast so viele Wettbewerber wie potenzielle Kunden.
- Es dauerte sehr lange, ein komplettes Automobil zu bauen.

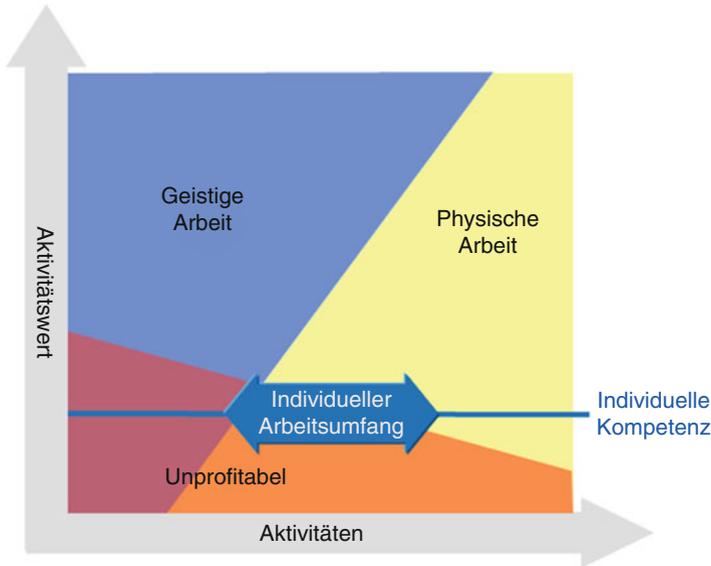


Abb. 1 Individueller Mitarbeiterbeitrag zur Wertschöpfung im Unternehmen

- Qualitätsprobleme gab es zuhauf.
- Hochausgebildete, erfahrene Ingenieure bauten Autos, da spezielles Know-how nötig war.
- Diese Fachleute behielten alle ihre Produktionsgeheimnisse für sich.
- Jedes Auto war ein Unikat.

Aber anstelle seine Ingenieure zu noch schnellerer und härterer Arbeit anzutreiben, ging Henry Ford einen komplett anderen Weg: **neue und innovative Methoden**.

Ford wird gemeinhin als der Erfinder des Produktionsfließbandes gesehen. Was er aber tatsächlich schaffte, war die Definition und Implementierung eines komplett neuen Managementsystems durch die gezielte Verknüpfung und Verstärkung (Leveraging) der Technologie-Mensch-Beziehung. In Ermangelung kybernetischer Systeme, die 1912 praktisch noch nicht existierten, nutzte er mechanische Systeme. Ansonsten stehen seine Systeme unseren modernen cyber-physischen Systemen in nichts nach: Sie stellten sicher, dass der in der Konstruktion von Autos unerfahrene Mitarbeiter stets das richtige Bauteil zur richtigen Zeit an der richtigen Stelle am Fahrzeug montierte. Das notwendige Wissen stand dem Mitarbeiter in Form systemimmanenter Intelligenz in Echtzeit zur Verfügung. Er musste es weder lernen noch sich daran erinnern, er musste nur noch ausführen. Damit war erstmals eine Art „kybernetische Ektosymbiose“ zwischen Mensch und Maschine entstanden, was u. a. sehr treffend von Charly Chaplin im Film „Modern Times“ (vergl. [YouTube](#)) parodiert wurde.

Quasi über Nacht stellte Ford damit alles bisher Bekannte auf den Kopf. Er ersetzte die Spezialisten in der Fertigung durch ungelernete, billige Arbeitskräfte und baute jetzt Autos schneller, billiger und besser als jeder Wettbewerber. Sein Fließbandsystem „wusste“ genau, welches Teil wann zu welchem Arbeiter kommen musste und stellte damit ein mechanisch realisiertes Cyber-System dar, ähnlich den ersten mechanischen Rechenmaschinen.

Ford erreichte eine bisher für unmöglich gehaltene Wertschöpfungssteigerung, indem er mittels „Systemintelligenz“ ungelernete Arbeitskräfte mit einer Aktivitäts- und Fähigkeitsbandbreite versah, die kurz zuvor nur hochbezahlte Ingenieure erreichen konnten.

Durch Integration der ungelerneten Mitarbeiter in eine „Künstliche-Intelligenz-Umgebung“ kam es ihm weniger auf mentale Kompetenzerhöhung mittels Ausbildung an, als auf die gezielte Erweiterung ihrer für den Wertschöpfungsprozess notwendigen, physischen Aktivitäten.

Die mechanischen Regeln, die Struktur und die Bewegungsabläufe des Fließbandes stellten in diesem Zusammenhang eine erste, einfachste Form „virtueller Realität“ dar. Der Effekt ist in Abb. 2 verdeutlicht.

Ford machte darüber hinaus einen zweiten wichtigen Schritt: Er nahm die kompetenten, teuren Ingenieure „vom Fließband“ und gab ihnen neue, höherwertige Aufgaben, nämlich Autos und Fließbänder zu konstruieren. Auf diese Weise bewegten sich auch die Ingenieure im Wertschöpfungsprozess nach oben, etwas womit wir uns heute im Zeitalter der softwarebasierten „Ingenieurswerkzeuge“ für Routineaufgaben durchaus auseinandersetzen sollten. Die Frage ist nun, was dies alles mit der neuen iBin-Technologie von Würth zu tun hat.

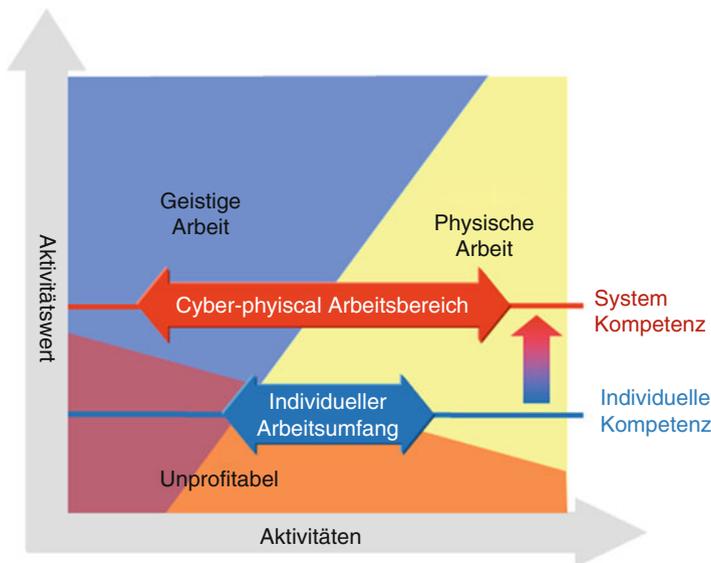


Abb. 2 Cyber-physischer Systembeitrag zur Wertschöpfung im Unternehmen

2 Systembeschreibung iBin

Im Spätherbst 2012 wurde das neue iBin-System von Würth Elektronik erstmals dem deutschen Industriepublikum vorgestellt. Hintergrund war das Bestreben, die bisher durch Würth-Außendienstmitarbeiter physisch durchgeführte Bestandsaufnahme individueller Lagerbehälter beim Kunden durch eine Technologie zu ersetzen, die eine kontinuierliche, automatische Bestandserfassung beim Kunden erlaubt und im geeigneten Moment selbständig eine Neulieferung auslöst. Gleichzeitig sollten die Kundenerwartungen in Bezug auf kürzere Reaktionszeiten, geringere Kosten und höherem Servicegrad erfüllt werden. Das neue iBin-System besteht prinzipiell aus drei unterschiedlichen Systemkomponenten:

1. Kameramodul im Behälter (Abb. 3): Smart 868 MHz Wireless IR-Kamera mit berührungslosem Aktivierungsschalter, welcher zur manuellen Bestellauslösung verwendet werden kann.
2. Wireless Access Point Modul (Abb. 4): Smart 868 MHz Repeater mit limitierten Management-Services für angeschlossene iBin-Module.

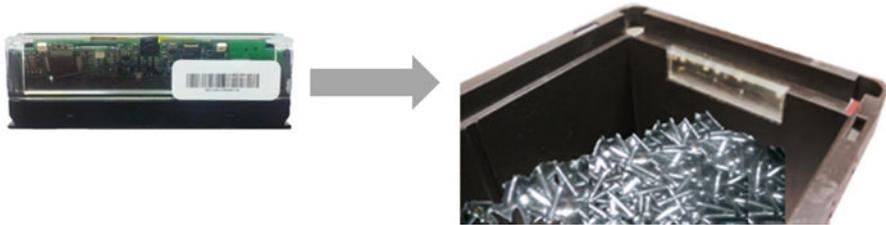


Abb. 3 iBin Modul (links) und Würth WKLT Lagerbehälter mit integriertem iBin



Abb. 4 Smart Access Point für die drahtlose Anbindung der iBin-Module und Smart Logistics Management (Cloud) Server

3. SLM Cloud Server: Datenbank, Custom Applikationssoftware, Machine Vision und Logistikmanagement Software für alle Access Points bei Kunden einschließlich WCF Services.

Das im Lagerbehälter integrierte Infrarot-Kamera-Modul sendet in konfigurierbaren Zeitabständen Infrarotbilder des Behälterinneren über den lokal installierten Access Point an den als Cloud Server fungierenden Smart Logistics Management Server. Letzterer kann sowohl vor Ort als auch über Ethernet verbunden im Würth-Logistikzentrum installiert sein. In größeren Anwendungen werden typischerweise mehrere Access Points installiert um zum einen die Übertragungsstrecken für Kameramodule kurz zu halten und zum anderen die Anzahl der pro Access Point verwalteten Kameramodule (= iBins) in einem vernünftigen Rahmen zu halten. In dieser Konfiguration besitzen die Access Points jeweils unterschiedliche Kanäle und vermeiden dadurch Übertragungskollisionen.

Die Besonderheit des Systems besteht darin, dass speziell entwickelte Software im Cloud Server es ermöglicht, den Inhalt aller so ausgestatteten Lagerbehälter mehrmals täglich automatisch zu überprüfen und Lieferungen ebenfalls automatisch auszulösen. Insbesondere gilt, dass es:

- die Infrarotbilder der einzelnen Lagerbehälter bezüglich ihres Füllstandes auswertet,
- den Füllstand der einzelnen Lagerbehälter als Funktion der Zeit, des Lagerortes und des Lagergutes überwacht und diese Daten einschließlich Bilder in einer Datenbank abspeichert,
- automatisch eine oder mehrere Aktionen bei Erreichen des definierten Füllstands-Minimums auslöst. Hierzu gehören u. a. die Auslösung einer Bestellung, eine Nachricht an den Kunden, eine Nachricht an das Distributionszentrum bzw. eine Nachricht an den zuständigen Servicemitarbeiter.
- eine manuell ausgelöste Bestellung durch den Kunden (mittels Aktivierung des berührungslosen Schalters am iBin selbst) automatisch erledigen kann,
- den virtuellen Zugriff in jeden Lagerbehälter bei jedem Kunden erlaubt.

Mit dem iBin-System entfällt nun die bisher physisch durchzuführende, manuelle Vor-Ort-Inventur für den tatsächlich benötigten Warennachschub beim Kunden durch einen Würth-Industrie-Service-Spezialisten. All dies wird jetzt durch das kybernetische iBin-System erledigt. Die physische Aktivität des Mitarbeiters kann auf die Auslieferung der Ware reduziert werden.

Das neue iBin-System (Abb. 5) schafft es damit, den gesamten Prozess hinsichtlich der Kunden, Produkte, Informationen und Menschen in Realzeit zu synchronisieren, den gesamten Prozess transparent zu machen, die Geschwindigkeit und Qualität von Entscheidungen drastisch zu erhöhen und gleichzeitig die Logistikkosten für die Bereitstellung der vom Kunden benötigten Ware deutlich zu reduzieren.

Darüber hinaus können die als Funktion der Zeit gespeicherten Bilder, Produkt-, Kunden- und Mitarbeiteraktivitätsdaten problemlos und zu jeder Zeit ausgewertet

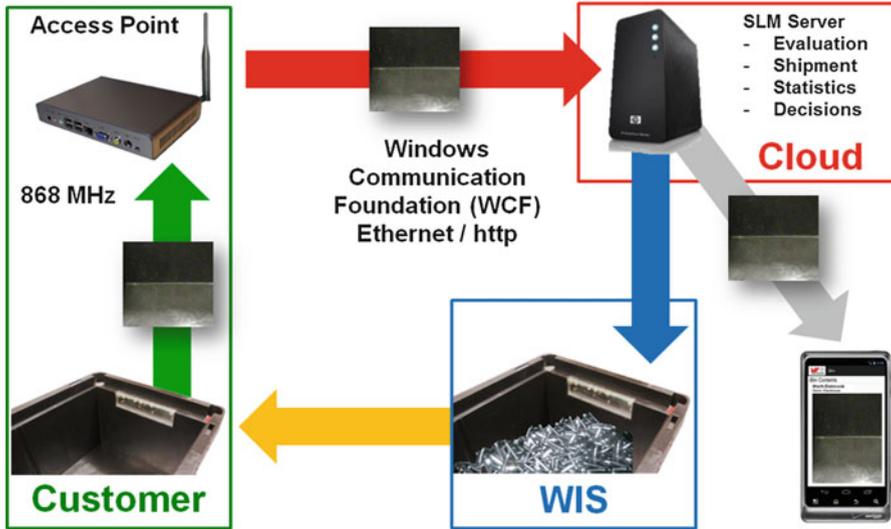


Abb. 5 iBin-Logistiksystem einschließlich B3B Informationsfluss

werden und die modernen WCF-Services¹ (vergl. [Microsoft Developer Net](#)) bieten sowohl dem Würth Industrie Services Management, den Außendienstmitarbeitern als auch den Kunden selbst gezielt geschaffene Cloud-Computing-Möglichkeiten für die verschiedenen Bedürfnisse. Hierzu zählen u. a. Smart Apps mit deren Hilfe z. B. ein Fertigungsleiter über sein Smartphone den aktuellen Lagerort und Bestand einer bestimmten Schraube in seinem Lager verifizieren kann, während er selbst auf Dienstreise ist. Er kann sich darüber hinaus rückversichern, dass dies wirklich die Schrauben sind, über die man sich aktuell unterhält. Die Möglichkeiten gehen soweit, dass man sogar nachprüfen kann, ob die für einen speziellen Fertigungsprozess bestimmten Komponenten tatsächlich verwendet werden, wie schnell sie abfließen und ob sich Fremdmaterialien in den betroffenen Lagerbehältern befinden.

Die Mission „**Kunden den Mehrwert den sie wollen mit neuen, innovativen Methoden zu bieten**“ wurde somit realisiert. Außerdem konnte der cyber-physische Aktivitätsbereich im Unternehmen enorm verbreitert und gleichzeitig die interne Wertschöpfung drastisch erhöht werden.

In etwas abstrahierter Form (Abb. 6) haben wir uns also von solchen Aktivitäten verabschiedet, welche für unsere Kunden keinen erkennbaren Nutzen bieten, nämlich das Fahren zum Kunden und das Zählen unserer Ware in seinem Lager. Parallel dazu haben wir alle Prozesse so optimiert, dass sie für unsere Kunden sehr viel mehr Wert schaffen (schneller, transparenter, genauer, pünktlicher), unsere eigenen Kompetenzen erhöhen und dabei unsere Prozesskosten drastisch senken.

¹Windows Communication Foundation, eine dienstorientierte Kommunikationsplattform für verteilte Anwendungen in Microsoft Windows.

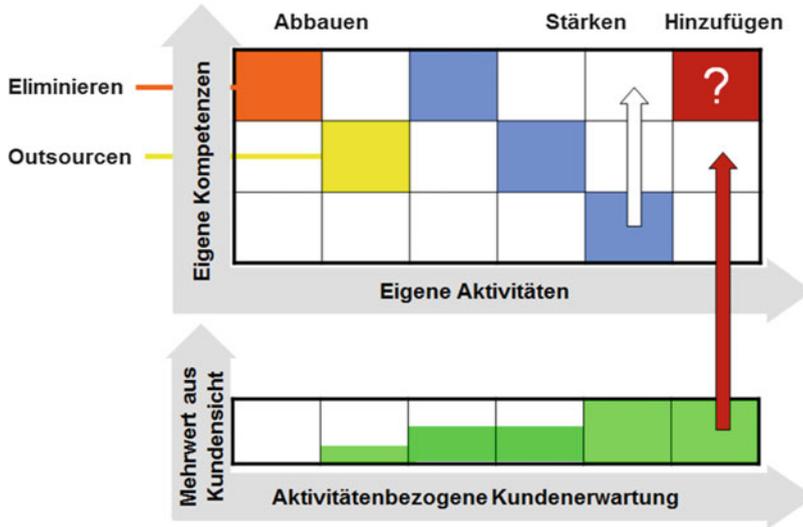


Abb. 6 Bewertung der Unternehmenskompetenzen aus Kundenperspektive

3 Ausblick

An diesem Punkt stellt sich berechtigterweise die Frage, wie es weitergeht und wie zusätzlich Wertschöpfungspotenziale identifiziert und genutzt werden können.

Begriffe wie Industrie 4.0, Produktionsautomatisierung, cybernetische Systeme usw. sind ein Indiz dafür, dass sich unsere Strategien zur Erhöhung der Produktivität vornehmlich mit der Integration und Innovation von Technologien befassen. Wie aber das Beispiel von Henry Ford sehr eindrucksvoll zeigt, sind innovative Wege zur Integration der Menschen in unserer neuen Industrie 4.0 für den Erfolg und die Wertschöpfungssteigerung ein ebenso entscheidender Faktor. In diesem Zusammenhang zeigen die Historie und viele aktuelle Artikel vor allem im europäischen Raum, dass Wissen im Zusammenhang mit kontinuierlichem Mitarbeitertraining als eine notwendige Randbedingung betrachtet wird. Dies muss nicht unbedingt der Fall sein.

Interessanterweise müssen wir alle täglich und in zunehmendem Maße feststellen, dass immer mehr Wissen ein immer kürzeres Haltbarkeitsdatum besitzt und dass es immer schwieriger wird, die qualifizierten Mitarbeiter zu finden und zu bezahlen. Was heißt das konkret? Grundsätzlich gibt es verschiedene Formen von Wissen:

1. gesichertes Wissen mit sehr langer Gültigkeit (z. B. Naturgesetze),
2. Wissen mit kurzfristiger Gültigkeit (z. B. der Preis für einen Liter Benzin),
3. Wissen, dessen Unkenntnis drastische Konsequenzen hat (z. B. toxische Flüssigkeiten),
4. Wissen, dessen Unkenntnis kaum Konsequenzen hat (z. B. Eingabe des falschen Passwortes).

Wir wissen alle sehr wohl, dass es heute weitaus effizienter ist, Google oder Wikipedia zu befragen, als ein Fachbuch, sich selbst oder einen hochgebildeten Kollegen. Ein Software-Ingenieur ist heute nicht dann gut, wenn er in langer, harter Arbeit hochkreativen Code generiert, sondern wenn er schnell und gewitzt aus den verschiedenen Online-Quellen kopiert und adaptiert.

In den letzten Jahren hat sich zudem ein erstaunliches Phänomen gezeigt. Das Internet, Computer und Smartphones sind immer komplexer und technisch raffinierter geworden, wahre Wunderwerke der Technik. Und trotzdem schafft es heute bereits ein durchschnittlich begabter Achtjähriger in wenigen Tagen und ohne Bedienungsanleitung sowohl das Internet als auch das Smartphone virtuos zu kommandieren.

Hierzu ist eine kleine Exkursion in menschliche Verhaltensweisen sowie die spezielle Natur der Beziehungen zwischen Mensch, Realität und virtueller Realität hilfreich. Als intelligente Wesen besitzen wir alle das gleiche, durch die Evolution optimierte Superorgan, unser Gehirn. Obwohl wir uns dessen nicht immer bewusst sind, versetzt es uns in die Lage, die um uns herum existierende reale Welt in Form virtueller Realität zu erleben. Diese Transformation funktioniert mittels vielfältiger Sensorik, kybernetischen Konstrukten, Interpolationen und Assoziationen. Mit anderen Worten: nichts ist wirklich real, sondern im Gegenteil „cogito ergo sum“ wie der Philosoph René Descartes bereits im Jahr 1637 so treffend sagte (vergl. [Encyclopaedia Britannica](#)).

Dies hat eine Reihe von wichtigen Konsequenzen. Wir können ohne virtuelle Realität kaum überleben. Seit Tausenden von Jahren bereits sind Religionen praktizierte virtuelle Realität. Mathematik, Geschichten, Bücher, Kino, Fernsehen usw. folgten später. Ja selbst im Schlaf, wenn unsere Gehirne sich erholen, kommen wir nicht ohne virtuelle Realität aus, wir träumen.

Viel wichtiger ist daher die grundlegende Erkenntnis, dass die heute erfolgreichsten, sehr komplizierten Technologien alle gemeinsam haben, dass sie diese einmalige menschliche Fähigkeit zur genetisch veranlagten Adaption virtueller Realität in subtilster Weise einsetzen. All diese Technologien nutzen eine vereinfachte virtuelle Realitätsebene als Interface, um mit unseren Gehirnen unmittelbar und sehr effizient in Wechselwirkung zu treten und werden auf diese Weise nahezu intuitiv verstanden. Aktuelle Artikel wie der von Ingrid Einsiedler „Industrie setzt auf das intuitive Smartphone-Gefühl“ (vergl. [Elektronikpraxis](#)) zeigen, dass man die Symptome qualitativ erkannt hat, aber die tatsächlichen Gründe dafür noch nicht so ganz versteht.

Industrie 4.0 muss diesem Aspekt Rechnung tragen, falls sie erfolgreich sein will und den Menschen ohne großes „Techniktraining“ integrieren. In den Worten von Alvin und Heidi Toffler (vergl. [Chiefexecutiveboards](#)) ausgedrückt, müssen wir Systeme schaffen, die „Wissen, Denken und Erfahren“ zu einem nahezu „natürlichen“ Kollaborationsprozess zwischen realer und virtueller Welt machen. Falls wir das schaffen, werden wir einen echten Wettbewerbsvorteil erzeugen.

Erfolgreiche Systeme werden eine Reihe von Eigenschaften besitzen, die unsere heutigen Prioritäten bei der Mitarbeiterqualifikation umsortieren werden. Plötzlich wird nicht mehr das Wissen des Mitarbeiters Priorität sein, sondern das weitaus

größere Wissen der „Cyber-Mitarbeiter“- Gesamtheit. Infolge der Erweiterung durch virtuelle Intelligenz und virtuelle Werkzeuge wird diese Gesamtheit die Mehrzahl anstehender Entscheidungen besser, schneller, gezielter, transparenter und kostengünstiger treffen als hochqualifizierte und ständig weitergebildete Mitarbeiter. Wissen passt sich nun dynamisch und in Echtzeit ohne langes Training an, Prozessabläufe können ohne Schulung und ohne Zeitverlust dynamisch geändert werden, da die Cyberwelt ein Multiversum von parallelen Lösungen zulässt, deren Implementierung in der cyber-physischen Welt eines jeden Mitarbeiters als ganz natürlich empfunden wird.

Wer dies nicht glaubt, muss nur einmal beobachten, wie ein Führerscheinneuling in einer fremden Stadt in komplettem Vertrauen auf Smartphone und Google Maps meisterhaft sein Ziel findet und dabei erwartungsfroh jeder Aufforderung der Cyberstimme folgt, die Richtung zu ändern. Die gemeinsamen Entscheidungen sind schneller, besser, zielorientierter und transparenter und der Führerscheinneuling muss nicht eine Sekunde geschult werden, um sich in der fremden Stadt zurecht zu finden. Genau das Gleiche wird auch von zukünftigen cyber-physischen Lösungen in der Industrie 4.0 geleistet werden müssen.

Wiederum abstrahiert ist das Denken und die Entscheidungsbandbreite von Mitarbeitern in einem Unternehmen – wie in Abb. 7 – darstellbar:

Hieraus ist leicht nachvollziehbar, wie Henry Ford gestartet ist: in Abb. 7 auf der ganz linken Seite. Sein Fließband basierte auf Gleichungen, welche mittels mechanischer Mittel in starre Ausführungsregeln umgesetzt wurden. Unsere heutigen softwarebasierten Systeme haben sich inzwischen weiter zur Mitte hin bewegt und Implementierungen werden gemeinhin als Expertensysteme bezeichnet. Hierzu gehören viele Softwarelösungen, die erfolgreich im Bereich des Ingenieurwesens und anderen Fachdisziplinen eingesetzt werden. Mehr und mehr Anwendungen

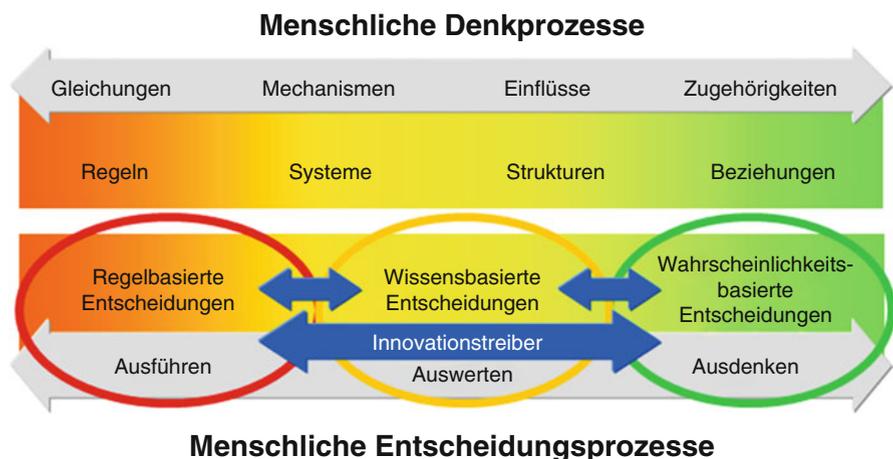


Abb. 7 Interaktion menschlicher Denk- und Entscheidungsprozesse

kommen inzwischen auch in den Produkten unseres Alltags zum Einsatz: Autos unterstützen uns beim Einparken und bremsen selbständig vor Hindernissen. Komplizierter wird es im ganz rechten Bereich: Wenn Mitarbeiter unsicher sind und nicht so genau wissen, was sie tun sollen, passiert in der Regel nichts oder nicht das Richtige. Deshalb werden derartige Entscheidungen meist „nach oben delegiert“ – nicht unbedingt weil man dort mehr weiß, sondern weil mögliche negative Folgen dort besser verantwortet werden können.

Industrie 4.0 wird auch diese Hürde nehmen. Der Cyber-Mitarbeiter wird zuversichtlich und zielgerichtet Entscheidungen treffen, die besser sein werden als die der heutigen Führungskräfte. Eine Reihe von Artikeln sprechen in diesem Zusammenhang von „Selbstorganisation“ (vergl. [entrepreneur4point0](#); [Ingenieur.de](#)), wobei „Selbstmanagement“ wahrscheinlich der treffendere Ausdruck ist. Wie soll das geschehen? Auch hier ist die Zukunft schon Realität. Sogenannte „Thinking Software“ wie die von [isee systems](#) (vergl. [isee Systems](#)) erlaubt es schon heute, hochkomplexe Prozesse auf Basis empirischer Erfahrung und nichtlinearer Feedback Loops genau zu simulieren und vorauszusagen. In Windeseile können virtuelle Szenarien durchgespielt werden und die für die aktuell anstehende Entscheidung geeignetste Lösung identifiziert werden. Was von vielen Theoretikern immer wieder unterschätzt wird, ist die Tatsache, dass in einem realen Unternehmen vor allem ein Thema viel Zeit und Geld kostet: Entscheidungen.

Solange Menschen Entscheidungen treffen müssen, sei es am Fließband oder im Managementsessel, werden sie alles tun, um eine aus ihrer persönlichen Sicht gute Entscheidung zu treffen, was darüber hinaus nicht immer die beste Entscheidung für das Unternehmen ist. Das hat enorme Konsequenzen für die Wertschöpfung in einem Unternehmen. Entscheidungen werden verzögert, wenn Informationen fehlen. Sie werden mehrfach überprüft, falls man sich nicht sicher ist. Sie werden zuhauf mit Kollegen diskutiert, um eine unabhängige, zweite oder dritte Meinung einzuholen. Und sie werden sehr gerne nach oben delegiert, wenn eine Fehlentscheidung drastische Folgen haben könnte. All dies kostet Zeit, Ressourcen und Potenziale. Falls wir nur dieses eine Thema „Entscheidungen schnell, sofort und auf der aktuellen Ebene treffen“ lösen können, werden wir unternehmensweit erhebliche Potenziale freilegen.

Die Integration solcher probabilistischen Entscheidungswerkzeuge in unsere heute vornehmlich von deterministischen und von Expertenwissen geprägten Fertigungswelt – man spricht oft von „Mechatronik“ – wird einen Paradigmenwechsel mit sich bringen. Unternehmen, die dieses neue cyber-physische Konstrukt aus Realität, Mechanisierung, Automatisierung, Regeln, Expertenwissen, Informationsmanagement, Mitarbeiterintegration in virtuelle Welten mit virtueller Intelligenz und situativer Entscheidungsunterstützung in das intuitiv verständliche Format des Internets und der Smartphone-Technologie verpacken können, werden einen enormen Wettbewerbsvorteil erreichen und Unternehmen die bislang Business-Intelligenz-Lösungen verkauften, werden ihre Strategie neu ordnen und bisher nicht gesehene Technologien entwickeln, welche die reale und die virtuelle Produktionswelt auf neue Weise integrieren.

Wo liegen Potenziale? Realität, virtuelle Realität, Cloud Services und „virtuelle Intelligenz“ wachsen unaufhaltbar zusammen. Aber keine Angst, unsere Mitarbeiter werden sich ganz „natürlich“ mit weitaus mehr Information, Transparenz, Entscheidungsfreude und vor allem mehr Wertschöpfung in dieser neuen Welt bewegen. Im Gegenteil, sie werden diese Umgebung suchen. Das virtuelle Lager wird Realität: Mittels IP-Kameras können wir zukünftig jederzeit in jedes Lager, jede Regalzeile, jedes Regal und mittels iBin in jeden einzelnen Lagerbehälter schauen. Beschleunigungssensoren, GPS, und andere Umweltsensoren im iBin werden uns zu jeder Zeit Ort, Neigung, Bewegung/Stillstand und Umweltbedingungen des Lagerbehälters geben. Durch Data Mining der abgespeicherten Daten lässt sich der Materialfluss bis auf einzelne Lagerbehälter heruntergebrochen in- und außerhalb der Fabrik verfolgen. Eine Inventur kann zu jeder Zeit durchgeführt werden, da die Füllstände aktuell bekannt sind. Kommt es zu einer unerwarteten Materialverknappung, können wir virtuell auf die Suche nach Ersatz gehen, wobei die Vernetzung mit anderen Fabriken, Würth-Industrie-Service und möglicherweise anderen Würth Industrie-Service-Kunden das Zugreifen auf einen größeren Material-Pool möglich macht.

„Thinking Software“ wird im Zusammenhang mit den empirisch gesammelten Verbrauchsdaten und Prozessparametern Materialflüsse, Materialverbräuche, Lagerumschlag, Materialbedarf, Materialkostenentwicklung, Materialeinkauf, Lieferzeiten, Lieferrouten, Lieferweise und Losgrößen über die gesamte Logistikkette hinweg analysieren, dynamisch anpassen, optimieren, zuverlässiger planen und die daraus resultierenden Transaktionsentscheidungen für uns sicherer machen und beschleunigen.

Nehmen wir zum Beispiel den Hersteller eines landwirtschaftlichen Gerätes. Dieser verkauft seine Maschinen über Distributoren an Landwirte, welche sie dann auf ihren Feldern einsetzen. Bei Ausfall einer solchen Maschine während des Ernteeinsatzes gilt es, möglichst schnell die Lösung und das dazu benötigte Ersatzteil zu haben.

In Zukunft wird der Landwirt vor Ort mit einer Smart App des Herstellers, welche aus den empirischen Erfahrungsdaten ständig dazulernt, unmittelbar eine gezielte Diagnose durchführen können. Er wird mittels QR Code (2D Barcode) zunächst die konkrete Komponente an seiner Maschine identifizieren und mit diesem Wissen dann in das virtuelle Warenlager des in der App identifizierten, nächsten Distributors gehen, wo er direkt in den speziellen Lagerbehälter mit seinem Teil hineinschauen kann. Ist das Teil vorrätig, kann er es virtuell herausnehmen, an den Kundendienstmitarbeiter „weitergeben“ und eine sofortige Lieferung an seinen aktuellen Smartphone-Standort auslösen. Der Kundendienstmitarbeiter wird sich parallel auf dem Smartphone des Landwirts melden und die konkreten Schritte abstimmen. Er erledigt dann die physische Herausnahme und Auslieferung der Komponente an den gewünschten Ort. Gleichzeitig erfolgen alle Transaktionen zwischen Kunden und Distributor, der Hersteller wird über den Servicefall für diese spezielle Maschine, den Abfluss einer bestimmten Komponente und den Endkunden selbst ebenfalls informiert.

Der Hersteller hat nun die Möglichkeit, ebenfalls virtuell in das Lager des betroffenen Distributors zu gehen und den Nachfluss der ausgelieferten Komponente entweder aus dem Werk oder von einem anderen Distributor zu veranlassen. Darüber hinaus kann er mit den neuen Daten seine Garantie- und Materialstatistik aktualisieren. Auf diese Weise optimiert und steuert der Hersteller selbst die Lager seiner Distributoren, kennt die Endkunden aller seiner Distributoren in Realzeit und hat ein klares Bild zur Performance seiner Maschinen bis herunter zu einzelner Maschinenkomponenten.

Die Smart App erlaubt aber noch viel mehr: Der Hersteller hat neben dem Distributor nun auch seinen eigenen persönlichen, direkten 24-Stunden-Marketing- und Vertriebskanal zum Endkunden, zum Distributor und zu seinen Lieferanten. Dieser Kommunikationskanal gibt dem Hersteller die Möglichkeit, zusätzliche maßgeschneiderte Informationen, Services und Produkte anzubieten und aus der jeweiligen Reaktion die Präferenzen und das Bedarfs-Timing eines jeden seiner Kunden und seiner Distributoren abzulesen.

Literatur

- Chiefexecutiveboards. <http://www.chiefexecutiveboards.com/bookreviews/bookreview038.pdf>.
Zugegriffen am 18.01.2014
- Elektronikpraxis. <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/embedded-computing/articles/419193/>.
Zugegriffen am 18.01.2014
- entrepreneur4point0. http://www.entrepreneur4point0.com/showroom/Kagermann_industrie_40.pdf.
Zugegriffen am 18.01.2014
- Encyclopaedia Britannica. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/124443/cogito-ergo-sum>.
Zugegriffen am 18.01.2014
- Flurry Blog. <http://blog.flurry.com/?Tag=smartphone>.
Zugegriffen am 18.01.2014
- Ingenieur.de. <http://www.ingenieur.de/Themen/Produktion/Die-Fabrik-Zukunft-organisiert-selbst>.
Zugegriffen am 18.01.2014
- isee Systems. <http://www.iseesystems.com>.
Zugegriffen am 18.01.2014
- Microsoft Developer Net. [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms731082\(v=vs.110\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms731082(v=vs.110).aspx).
Zugegriffen am 18.01.2014
- Toffler A, Toffler H (2006) Revolutionary wealth. Knopf, New York
- YouTube. <http://www.youtube.com/watch?v=tfw0KapQ3qw>.
Zugegriffen am 18.01.2014

Steuerung aus der Cloud

Armin Lechler und Jan Schlechtendahl

Zusammenfassung

Im Kontext von Industrie 4.0 stellen die Steuerungssysteme und deren Vernetzung mit Aktoren und Sensoren in Maschinen und Produktionssystemen eine der wichtigsten Basistechnologien dar. Insbesondere durch die Verschmelzung von Informationstechnologien und Steuerungsaufgaben sind neuartige Steuerungsarchitekturen möglich und sinnvoll. Mit den bestehenden starren Steuerungsarchitekturen und -Systemen lassen sich innovative Konfigurations-, Planungs- und Optimierungsalgorithmen nicht umsetzen. Aus diesem Grund wird im Folgenden eine zukunftsfähige Steuerungsarchitektur näher erläutert.

1 Einleitung

Für eine wirtschaftliche Produktion in turbulenten Märkten sind ständige Anpassungen der Produktion durch Rekonfiguration und Selbstoptimierung der komplexen Automatisierungslösungen zunehmend erforderlich (Bullinger et al. 2003). Dies lässt sich im Rahmen von Industrie 4.0 mit Hilfe von Cyber-Physischen Produktionssystemen (CPPS) umsetzen (Reinhart et al. 2013), die Änderungen in ihrer Umgebung wahrnehmen und sich selbstständig daran anpassen können. Dazu ist eine immer stärkere Integration von Intelligenz in Form komplexer Algorithmen in die Steuerungen solcher Systeme notwendig (Keinert und Verl 2012). Bisherige Steuerungen bieten dazu nicht die notwendigen Voraussetzungen und erfordern deshalb neue Architekturkonzepte, um die Basis für die Umsetzung von Industrie 4.0 zu ermöglichen. Als Basis soll diese Steuerungsarchitektur eine Plattform und die benötigte Rechenleistung für die neuartigen Algorithmen zur Umsetzung von

A. Lechler (✉) • J. Schlechtendahl
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW),
Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland
E-Mail: Armin.Lechler@isw.uni-stuttgart.de; jan.schlechtendahl@isw.uni-stuttgart.de

Industrie 4.0 zur Verfügung stellen. Zusätzlich erfordert die Organisation einer solchen intelligenten Produktion neben der Wahrnehmung der Umgebung mit Sensoren eine geeignete Vernetzung und Kommunikation von Cyber-Physischen Systemen untereinander.

2 Defizite bisheriger Steuerungssysteme

Zur Automatisierung von Maschinen und Anlagen werden Steuerungssysteme unterschiedlicher Ausprägung und verschiedener Hersteller eingesetzt. Diese Steuerungssysteme tragen entscheidend dazu bei, effizient und qualitativ hochwertig zu produzieren. Zur Steigerung der Produktivität und Fertigungsqualität sowie zur Beherrschung komplexer Maschinen und Anlagen wurden die Steuerungssysteme über die Jahre hinweg weiterentwickelt. Diese Steuerungssysteme stellen damit heute ein leistungsstarkes, aber auch sehr komplexes System dar (Weck und Brecher 2006).

Im Bereich der Automatisierungs- und Produktionstechnik verfügt jede einzelne Maschine oder jeder einzelne Roboter über eine eigene abgeschlossene, sogenannte monolithische Steuerung. Die darin vorhandene Rechenleistung wird im Normalbetrieb kaum voll genutzt. Sollen allerdings aufwendige Algorithmen, beispielsweise bei Optimierungsproblemen, berechnet werden, reicht die Leistungsfähigkeit der bisherigen monolithischen Steuerungen nicht aus. Auch zusätzliche Funktionalitäten der Steuerung bei der Inbetriebnahme oder Wartung, wie Simulationen oder Diagnosealgorithmen, benötigen zusätzliche Rechenleistung, aber teilweise auch weitere Informationen aus anderen Maschinen. Eine Skalierung, d. h. Anpassung der Rechenleistung an die zu berechnenden Algorithmen, ist bisher nicht möglich. Ein Austausch von Informationen zwischen einzelnen Steuerungen ist heute nur über statisch konfigurierte Schnittstellen möglich. Dadurch ist weder eine Wandelbarkeit durch eine einfache Rekonfiguration, noch die Möglichkeit zur Selbstoptimierung von Produktionssystemen als Cyber-Physische Systeme gegeben.

In heutigen Produktionsanlagen herrscht bezüglich der Steuerungsarchitektur (vgl. Pritschow 2006) eine strikt hierarchische Trennung zwischen einzelnen Steuerungsebenen (Abb. 1). Es werden in der jeweiligen Steuerungsebene, ausgehend von Zielwerten und entsprechenden Ist-Werten, mittels statischer Algorithmen neue Soll-Wert-Vorgaben für die darunterliegende Ebene berechnet. Die Steuerung in einer heutigen Produktion erfolgt somit stets top-down.

Jede Steuerung verfügt dabei über eine separate, fest vorgegebene Benutzerschnittstelle (HMI) während des Betriebs und einer Schnittstelle zu Engineering-Tools für die Inbetriebnahme auf der Maschinenebene. Wenn spezielle Schnittstellen vorhanden sind, kann auf die Steuerung auch per Fernwartung oder mit Mobilgeräten zugegriffen werden. Teilweise können Simulationen auf separaten Rechnern an die Steuerung angebunden werden, wenn dieses explizit unterstützt wird.

Bei den einzelnen Steuerungen handelt es sich dabei immer um abgeschlossene Einheiten, die über eine Vielzahl unterschiedlichster Schnittstellen meist statisch

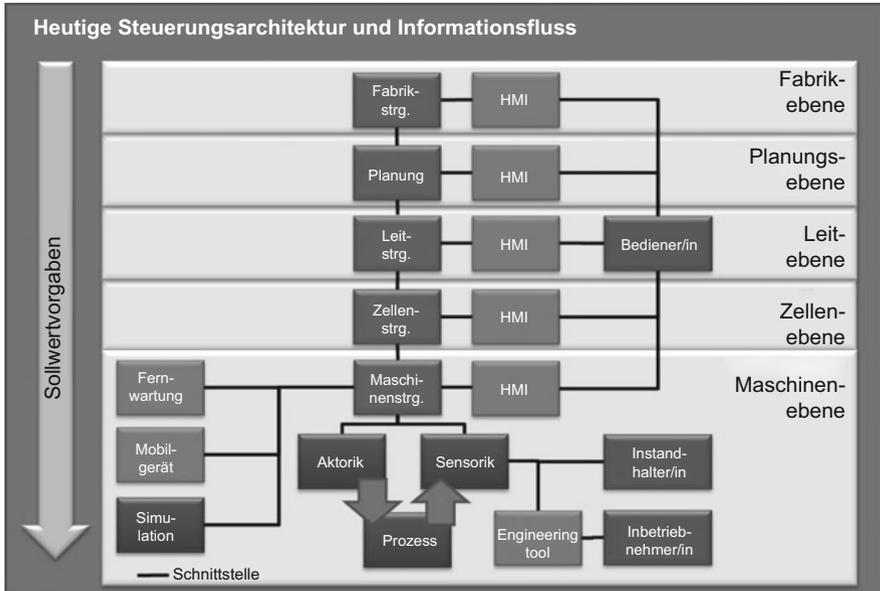


Abb. 1 Hierarchische Trennung der heutigen Produktionssteuerung

konfigurierte Informationen austauschen können. Zusätzlich verfügen die einzelnen Steuerungen über einen fest vorgegebenen Funktionsumfang und eine fest vorgegebene Rechenleistung. Dies führt zu deutlichen Einschränkungen der Produktivität in den Unternehmen aufgrund der Defizite in folgenden Bereichen:

- Produktionsanlauf und Rekonfiguration von Produktionssystemen: Die herkömmliche statische Steuerungsstruktur muss manuell über vorgegebene Schnittstellen konfiguriert werden. Die Schnittstellen unterscheiden sich hinsichtlich physikalischer Übertragung, Protokollen und semantischen Inhalten. Hierbei entstehen häufig Inkompatibilitäten.
- Selbstoptimierung von Produktionen: Es können keine Steuerbefehle bottom-up kommuniziert und verarbeitet sowie Optima ausgehandelt werden. Fehlende Information innerhalb einer Steuerung kann nicht automatisch und ohne manuelle Konfigurationen oder Änderungen an Schnittstellen beschafft werden.
- Berechnungen komplexer Algorithmen wie Simulationen, Identifikationsverfahren und Signalanalysen, die aufgrund begrenzter Rechenleistung nicht auf der Steuerung berechnet werden können. Diese Algorithmen sind nicht permanent zu berechnen, sondern nur zu Diagnosezwecken oder bei der Inbetriebnahme, bzw. Rekonfiguration. Die Rechenleistung muss also nicht permanent zur Verfügung stehen. Um die Funktionen umzusetzen, ist eine für den Normalbetrieb überdimensionierte Steuerung notwendig.
- Mangelnde Sicherheit und Schutz des Prozess-Know-hows gegen ungewollte Zugriffe: Die zur Steuerung notwendigen Algorithmen und Prozessparameter

können bisher nur unzureichend geschützt werden. Alle zur Steuerung notwendigen Algorithmen liegen lokal auf der Steuerung und müssen durch regelmäßige Sicherheitsupdates geschützt werden (Birkhold und Verl 2011). Für komplexe Verschlüsselungsalgorithmen fehlt bisher ebenfalls die Rechenleistung auf der Steuerung.

- **Erweiterbarkeit, Aktualität und Zukunftssicherheit:** Neue innovative Algorithmen oder Updates auf jede einzelne Steuerung müssen aufwändig manuell aufgespielt und validiert werden. Bisher besteht eine starke Abhängigkeit zwischen der Steuerungssoftware und der Steuerungshardware. Maschinen haben meist eine Lebensdauer von im Durchschnitt 15–20 Jahren (Altmann 2007; Untersuchung 2010). Durch den zunehmenden Einsatz von IT-Komponenten aus dem Consumer-Bereich ist bei deren Produktlebenszyklus von nur zwei bis drei Jahren die Verfügbarkeit von Ersatzteilen allerdings oft nicht gegeben oder sehr kostspielig.
- **Verfügbarkeit, Redundanz und Ersatzteilbevorratung:** Jedes Steuerungssystem muss bei einem Defekt aufwändig neu konfiguriert und evtl. programmiert werden, wodurch hohe Kosten durch Einsatz von Servicetechnikern entstehen können (Bosch 2012). Automatische Backups sind im Normalfall nicht in den Steuerungen enthalten.
- **Stabilität und Kompatibilität:** Aktualisierungen und Änderungen an einzelnen Komponenten können aufgrund der starren statischen Struktur Fehler an anderer Stelle hervorgerufen werden.
- **Bedienbarkeit:** Das Verhalten eines Automatisierungssystems kann nur über die jeweilige spezifische Benutzerschnittstelle vor Ort an der jeweiligen Steuerung oder einen vordefinierten Fernzugriff auf die entsprechende Steuerung beeinflusst werden. Übergreifende Informationen über mehrere Maschinen hinweg können meist nicht genutzt werden. Dadurch werden die Prozessoptimierungen und Diagnosemöglichkeiten stark eingeschränkt.
- **Datenprotokollierung und Dokumentation:** Da Informationen immer nur an einzelnen Stellen zur Verfügung stehen, wird eine durchgängige lückenlose Dokumentation zur Nachverfolgung von Produktionsverläufen und Qualitätskontrollen erschwert oder gar verhindert.
- **Kosten:** Bei heutigen Werkzeugmaschinen betragen die Kostenanteile für Steuerungstechnik bis zu 10 Prozent. Bei Produktionspausen, wie z. B. 2009/2010 durch die Wirtschaftskrise verursacht, stehen hierbei hohe Einsparpotentiale zur Verfügung.

Die oben dargestellten Herausforderungen finden beispielsweise in den Smartphones zur Spracherkennung „Siri“ der Firma Apple einen Lösungsansatz: Hier wird ein Sprachbefehl über das Mikrofon aufgezeichnet, die Tondatei an einen Server gesendet, dort ausgewertet und das Ergebnis als Steuerbefehl an das Absendergerät übermittelt. Das iPhone ist dabei ein Cyber-Physisches System, das eigene lokale Funktionen in Form von Apps besitzt. Es erfasst die Sprache des Menschen über das Mikrofon und reagiert über den Lautsprecher oder das Display, bzw. sein Verhalten darauf. Es kann somit auf seine Umwelt reagieren und mit ihr interagieren.

Die Rechenkapazität, der Speicherplatz und das Erfahrungswissen durch extrem viele Anfragen, die für die Algorithmen der Spracherkennung notwendig sind, sind nicht lokal auf dem Smartphone vorhanden, sondern in der Cloud, die von Apple administriert wird. Dadurch können beispielsweise Funktionserweiterungen oder Verbesserungen der Spracherkennung jedem einfach zugänglich gemacht werden. Diese Funktion war bei Auslieferung des Gerätes noch nicht vorgesehen.

Die VDI-Studie Automation 2020, „Bedeutung und Entwicklung der Automation bis zum Jahr 2020“ (Automation 2020, 2009), sieht einen deutlichen Trend zur Flexibilisierung der Produktionstechnik. Dem gegenüber stehen allerdings die beschriebenen Strukturen der Steuerungstechnik, die für diese Entwicklung ebenfalls flexibilisiert werden müssen.

3 Cloudbasierte Steuerungssysteme

Zukünftige cloudbasierte Steuerungssysteme bieten skalierbare Rechenleistung als globale Cloud Ressource, die abhängig von der Komplexität der Algorithmen automatisch zur Verfügung gestellt wird. Die monolithischen Steuerungen werden dazu aufgebrochen und Teile davon als Services in die Cloud verlagert (Abb. 2). Sie werden modularisiert und mit Mechanismen des Cloud-Computing – etwa globale Datenverarbeitung und Service-Orientierte Softwarearchitekturen (SOA) – erweitert. Es bleibt lediglich die Sensorik und Aktorik als lokale Ressource vor Ort.

Als Cyber-Physisches System werden eine Maschine, ein Roboter oder ein ganzes Produktionssystem betrachtet (Abb. 3), die durch die Verlagerung der Steuerungsfunktionen in die Cloud einfach mit anderen Maschinen interagieren und ohne Hardwareschnittstellen mit ihnen Informationen über Services austauschen können. Somit sind die Grundlagen erfüllt, dass die Maschine wandelbar und lernend auf ihr Umfeld und die Bediener reagieren kann. Sie kann sich schneller und selbstständig an sich ändernde Einflüsse von außen anpassen, ohne manuell durch neue Hardwareverbindungen umkonfiguriert zu werden.

Eine cloudbasierte Steuerung bietet eine geeignete Grundlage für die Vernetzung und Bereitstellung von Rechenleistung für Cyber-Physische Systeme in der Produktionstechnik (Abb. 3). Der Informationsaustausch zwischen Cyber-Physischen Systemen soll zukünftig ohne die Anpassung von Hardwareschnittstellen und Protokollen erfolgen. Die lokale Aktorik und Sensorik der Maschine ist über eine „Aktive Netzwerkbrücke“, welche die Kopplung der Nichtechtzeit von Wide Area Networks (WAN)/Local Area Network (LAN) mit der Echtzeit im Inneren der Maschine übernimmt, mit der Cloud verbunden. Das Feldbussystem zwischen den Automatisierungskomponenten im Inneren der Maschine soll nicht verändert werden. In der Cloud wird unterschiedliche Hardware über ein Betriebssystem zusammengefasst und zur Verfügung gestellt. Unterschiedliche Instanzen einer Steuerung können gestartet werden, wobei die dabei instanziierten Module wie NC-Steuerung, Human Machine Interface (HMI), Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), Schnittstelle für Mehrwertdienste und das Communication

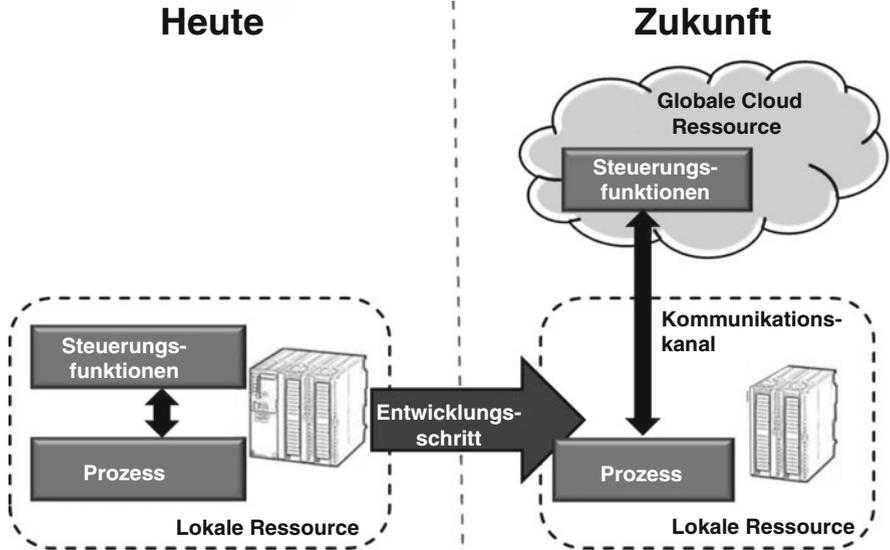


Abb. 2 Verlagerung von Steuerungsfunktionen in die Cloud

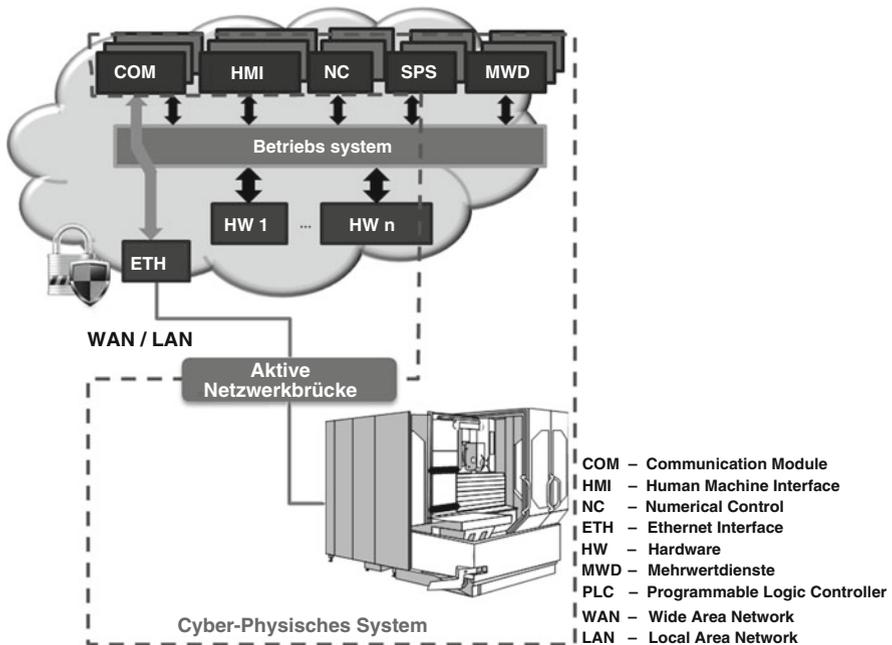


Abb. 3 Systemgrenze für ein Cyber-Physisches System

Module (COM) miteinander kommunizieren. Benötigt ein Modul mehr Rechenperformance, wird diese dynamisch vom Betriebssystem zur Verfügung gestellt. Die Steuerung stellt lediglich einen Service innerhalb der Cloud dar.

Die cloudbasierte Steuerung bietet darüber hinaus weitere Möglichkeiten und Potenziale als Mehrwertdienste wie mit diesen Beispielen aufgezeigt wird:

- Eine flexible Bereitstellung von Steuerungsfunktionen wird gerade in wandlungsfähigen Produktionen zwei entscheidende Vorteile bieten. Zum einen ist es möglich, die Performance der Steuerungen zu skalieren, wenn sich die Anforderungen ändern. Es ist somit nicht mehr notwendig, überdimensionierte Steuerungshardware, die nahezu nie genutzt wird und im Fall neuer Anforderungen nicht mehr ausreichend ist, mit jedem Automatisierungssystem auszuliefern. Zum anderen wird eine räumliche Änderung der Anlagenanordnung sich einfacher realisieren lassen. Dazu ist eine strikte Trennung zwischen Hardware und Software notwendig. Es kann somit eine längere Verfügbarkeit als bei heutigen Steuerungsplattformen garantiert werden. Beide Vorteile tragen dazu bei, dass Anlagen mit Steuerungen in der Cloud deutlich zukunftssicherer sind.
- Die einzelnen Steuerungsinstanzen der Cyber-Physischen Systeme innerhalb der Cloud können durch Services kooperieren und interagieren. Hardwareschnittstellen sind nicht mehr notwendig. Die Flexibilität der Produktion wird dadurch deutlich steigen. Darüber hinaus sind die Vernetzung zwischen Cyber-Physischen Systemen, mobilen Geräten und die Interaktion mit dem Bediener (Innovative Bedienkonzepte) deutlich besser umzusetzen, wenn Teile der Steuerung in der Cloud realisiert sind.
- Gleiches gilt für das Aufspielen effizienterer Algorithmen (App-Konzept), die die Produktivität optimieren. Auch diese können vom Steuerungstechnikprovider einfach bei Bedarf auf bestehende Automatisierungssysteme aufgespielt werden. Weiterhin wird die Notwendigkeit, Hardware für Steuerungen und die zugehörige Firmware zum Nachstellen von Fehlerfällen beim Kunden vorzuhalten, entfallen. Steuerungstechnikprovider können sich direkt auf die Originalsteuerung einloggen und diese diagnostizieren.
- Die Abbildung der realen Maschine als virtuelles System kann in der Cloud als Simulation erfolgen und die Simulationsergebnisse können allen Komponenten zur Verfügung gestellt werden. Dies unterstützt eine bessere Planung, Bewertung der Situation und Prozessoptimierung. Bei der Inbetriebnahme ist dann teilweise eine hohe Rechenleistung für die Simulation oder Kompilierung notwendig, die aber später im Betrieb nicht mehr oder nur zeitweise benötigt wird. Die Rechenleistung in der Cloud kann für jedes Cyber-Physische System frei skaliert werden.
- Die cloudbasierte Datenhaltung bietet darüber hinaus weitere Möglichkeiten der Fehlerdiagnose, beispielsweise zum Zwecke des verbesserten Herstellerservices. Gerade bei komplexen und teuren Anlagen gestaltet es sich schwierig, eine ausreichende Datenbasis aufzubauen, um zielgerichtet Lösungen ableiten zu können. Mit der Verlagerung der Steuerung in die Cloud stehen alle notwendigen

Informationen bereit und können von mehreren Cyber-Physischen Systemen genutzt werden. An diesem zentralen Punkt wird es einfach möglich, ein Backup der gesamten Steuerung zu erzeugen, um so im Fehlerfall ein Reservesystem zu starten.

- Das Darstellen von Informationen kann besser an die Benutzer angepasst werden, da die Informationen nicht mehr nur von jeweils einer Steuerung verfügbar sind.
- Ein Backupsystem, bzw. Redundanzen über mehrere Server hinweg, erhöht die Verfügbarkeit und Sicherung der Steuerungsalgorithmen und der gewonnenen Ergebnisse.
- Auf den einzelnen Cyber-Physischen Systemen sind so wenig sensible Daten wie möglich temporär gespeichert. Die Zugriffssicherheit ist daher für die Cloud und die Kommunikation mit den Cyber-Physischen Systemen zu gewährleisten.
- Der Schutz der Prozessparameter und die Anwendung zeitgemäßer Sicherheitsmechanismen (Security) werden durch das flexible Steuerungskonzept ermöglicht. Beispielsweise sind auf heutigen speicherprogrammierbaren Steuerungen nur vergleichsweise einfache Sicherheitsmechanismen umgesetzt, die aufgrund der begrenzten Ressourcen nicht durch rechenintensivere neue Verfahren ersetzt werden können.

Neben den Vorteilen einer cloudbasierten Steuerung für Maschinen und Anlagen müssen allerdings die strengen Anforderungen der Produktionstechnik, wie Echtzeitfähigkeit, Verfügbarkeit und funktionale Sicherheit, weiterhin erfüllt werden können.

4 Kommunikation zwischen cloudbasierter Steuerung und Maschine

Die größte Herausforderung bei der Realisierung einer cloudbasierten Steuerung ist sicherlich die Kommunikation der Soll- und Ist-Werte zwischen der lokalen Maschine und den globalen Steuerungsfunktionen in der Cloud über öffentliche Netzwerke. Hierfür ist es wichtig, zuerst einmal die Größe und Zykluszeiten der zu kommunizierenden Nutzdaten zu kennen. Betrachtet man eine heutige 5-Achs-Werkzeugmaschine, ergeben sich folgende zu übertragende Nutzdaten:

Die zu übertragenden Soll- und Ist-Werte zwischen Antrieben (Spindel und 5 Achsen) und Steuerung begrenzen sich, wie in Tab. 1 dargestellt, auf sehr geringe Datenmengen (46–96 Byte), welche aber im 1 ms-Zyklus transferiert werden müssen. Da die Lageregelung auf den Antriebsverstärkern erfolgt, werden lediglich das Antriebssteuerwort und der Lage-Soll-Wert an die Achsen übertragen. Die Synchronisation erfolgt dabei über Mechanismen der echtzeitfähigen Feldbussysteme. Bei der Spindel wird zusätzlich noch der Geschwindigkeits-Soll-Wert übermittelt. Als Ist-Werte werden Lage-Ist-Wert, Geschwindigkeits-Ist-Wert, Drehmoment-Ist-Wert und der Status der Endschalter übertragen.

Tab. 1 Nutzdaten einer typischen 5-achsigen Werkzeugmaschine

		Quelle			
		Steuerung	HMI	Antriebe	E/A
Ziel	Steuerung	–	variabel	96 Byte	52 Byte
	HMI	variabel	–	*	*
	Antriebe	46 Byte	*	*	*
	E/A	50 Byte	*	*	*

*möglich aber nicht genutzt

Die von der Steuerung mit den E/A-Modulen kommunizierten Soll- und Ist-Werte (SPS-relevante Informationen) benötigen nur 50–52 Byte an Daten und werden ebenfalls im 1 ms-Zyklus übertragen. Die E/A-Daten sind im Vergleich zu den Achsdaten eher statisch (d. h. es treten kaum Änderungen auf). Auf Grund der langsamen Reaktionszeit der meisten E/A-Module wäre eine deutlich reduzierte Zykluszeit möglich.

Die zu übertragenden Daten zwischen der Benutzerschnittstelle (HMI) und der Steuerung sind abhängig von der aktuell vom Benutzer betrachteten Ansicht. Die zyklische Datenmenge übersteigt dabei selten 100 Byte bei gleichzeitig geringer Zykluszeit.

Nach einer Studie des Statistischen Bundesamtes nutzen 80 % der deutschen Unternehmen mindestens einen DSL-Internetanschluss (Nutzung 2014). Ein Anwendungsszenario für eine cloudbasierte Werkzeugmaschinensteuerung wäre also, dass ein mittelständisches Unternehmen seine Maschine mit einer Steuerung aus der Cloud betreibt. Aus diesem Grund wird das Kommunikationsverhalten eines DSL-Internetanschlusses analysiert, in dem die Pakete über einen Proxyserver mit DSL-Anschluss geroutet werden. Die Übertragung der Daten erfolgt damit sowohl über Wide Area Network (WAN) als auch Local Area Networks (LAN). Eine Optimierung des Netzwerkverkehrs, z. B. durch Priorisierung oder spezielles Routing, soll dabei zunächst nicht betrachtet werden.

Um die Eigenschaften des Kommunikationskanals zu ermitteln, wurde ein Testsystem, wie in Abb. 4: Aufbau Testsystem Kommunikationskanal beschrieben, bestehend aus zwei Echtzeitbetriebssystemen für Sender und Empfänger, aufgebaut.

Der Sender verschickt jeweils im Millisekundentakt Pakete (8 Byte Nutzdaten). Vier Byte des Pakets werden hiervon als fortlaufende Zählvariable übertragen, um Ausfälle zu erkennen. Die Übertragung wurde wie folgt realisiert:

- Der erste Rechner mit Echtzeitbetriebssystem erzeugt Pakete (Sender).
- Die Pakete werden über echtzeitfähiges Ethernet RTE an einen auf dem PC installierten TCP- oder UDP-Server übergeben.
- Der TCP- oder UDP-Server übermittelt die Pakete an einen zweiten PC mit Echtzeitbetriebssystem und TCP- oder UDP-Server.
- Die Pakete werden über RTE in das zweite Echtzeitbetriebssystem (Empfänger) übertragen und ausgewertet.

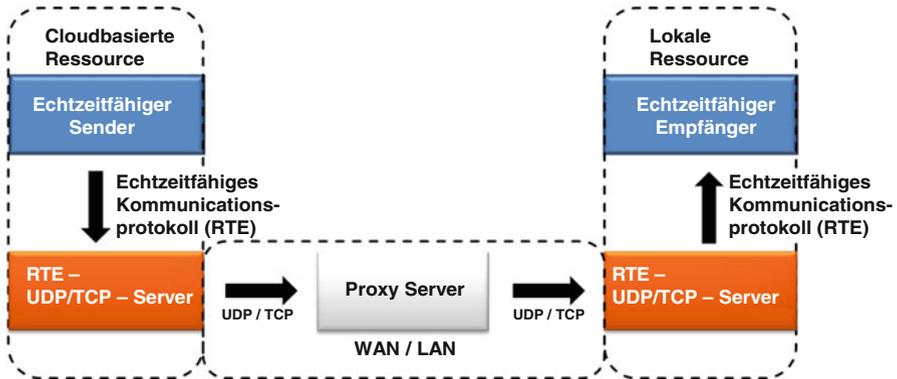


Abb. 4 Aufbau Testsystem Kommunikationskanal

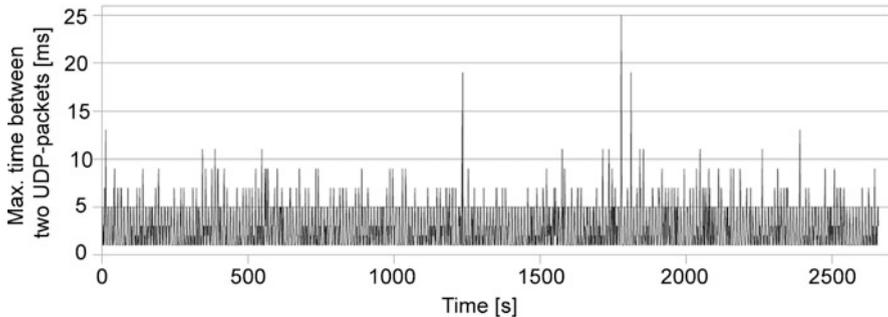


Abb. 5 Ermittlung Eigenschaften Kommunikationskanal

Zur Stabilisierung der Verbindung wurde zusätzlich beim Empfänger ein Puffer implementiert, der Pakete zwischenspeichert. Dieser wird zu Beginn der Messung befüllt. Durch mehrere Tests konnten mit dem in Abb. 4 beschriebenen Aufbau folgende Ergebnisse ermittelt werden (Abb. 5):

Dabei ist zu erkennen, dass es durchaus bis zu 25 ms Verzögerungen zwischen zwei UDP-Paketen kommen kann. Teilweise sind bei dem Test auch einzelne Pakete ganz ausgefallen. Dies ist für einen industriellen Einsatz in der Produktion nicht tragbar. Geeignete Strategien, der Herausforderung bei der Kommunikation zu begegnen, sind im Folgenden dargestellt.

Bei der vorangegangenen Untersuchung der Kommunikation wurde der ungünstigste Fall betrachtet. Die Kommunikation über vordefinierte Routen unter Verwendung von Quality of Service (QoS) reduziert die Probleme der Kommunikation erheblich.

Im Folgenden werden jedoch Strategien vorgestellt, mit denen die identifizierten Probleme des Kommunikationskanals weiter kompensiert werden können und ein industrieller Einsatz für die Produktionstechnik möglich wird. Hierbei erfolgt eine

Fokussierung auf die Kommunikation mit den Achsen, da diese die höchsten Anforderungen an die Kommunikation haben.

Die Latenz bei heutigen Maschinen mit Bahnsteuerungen (CNC) und modernen ethernetbasierenden Feldbussen liegt bei 1 ms. Werte darunter sind zwar möglich, werden jedoch nur in speziellen Anwendungsfällen angewandt (Pritschow 2006).

Die Latenz bei der Nutzung von UDP zur Übertragung von Soll- und Ist-Werten liegt hingegen bei bis zu 25 ms. Findet die Lageregelung auf den Antriebsverstärkern statt, stellt eine Zykluszeitsteigerung kein Problem dar. Entscheidender ist an dieser Stelle, dass die Soll-Werte nicht mehr konstant in definierten Zyklen eintreffen (alternierende Latenz). Dies kann durch Puffer gelöst werden. Treten zusätzlich noch Latenzspitzen auf, muss der Puffer eine entsprechende Größe haben, um diese abzufangen. Die Synchronisation zwischen den Aktoren und Sensoren kann nach wie vor innerhalb der Maschine über das Feldbussystem und die aktive Netzwerkbrücke erfolgen. Die Soll-Werte müssen lediglich einen Zeitstempel erhalten, der angibt, zu welchem Zeitpunkt der Soll-Wert umgesetzt werden soll.

Im Gegensatz zu Soll-Werten müssen Ist-Werte nicht gepuffert werden, sondern können direkt an die Steuerung übergeben werden. Durch einen Zeitstempel wird genau erfasst, wann sie ermittelt wurden.

Entgegen der alternierenden Latenz wiegt der Ausfall von Soll-Werten schwerer. Durch den Ausfall wird die Prozessstabilität beeinträchtigt. Beispielsweise wird die Qualität der bearbeiteten Werkstückoberfläche durch einen nicht konstanten Vorschub negativ beeinflusst, im schlechtesten Fall werden sowohl Werkzeug als auch Werkstück zerstört. Die folgenden drei Ansätze können Auswirkungen auf den Prozess durch Telegrammausfälle verhindern:

- 1) Wird ein Telegrammausfall erkannt, können die fehlenden Soll-Werte interpoliert werden. Lediglich Informationen im Antriebssteuerwort können hierbei verloren gehen. Diese Informationen liegen aber normalerweise über mehrere Zyklen an, wodurch sich das Problem relativiert.
- 2) Durch den Puffer von mehreren 100 ms können theoretisch Soll-Werte erneut angefordert werden, bevor diese benötigt werden. Hierfür müssen allerdings die Soll-Werte in der Steuerung ebenfalls gespeichert werden, und entsprechende Kommunikationsmechanismen zum erneuten Anfordern von Soll-Werten müssen vorhanden sein.
- 3) Der Telegrammausfall wird ignoriert und einfach der nächste vorhandene Soll-Wert genutzt. Diese Strategie führt evtl. zu einer starken Beschleunigung, gefolgt von einer starken Verzögerung der Achsen. Weiterhin hat die Strategie zur Folge, dass der Puffer sich langsam leert. Um dieses zu verhindern, muss die Taktrate der CNC kurzzeitig erhöht werden, so dass der Puffer wieder aufgefüllt werden kann. Auch hier müssen Kommunikationsmechanismen zum Anfordern von zusätzlichen Soll-Werten vorhanden sein.

Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung von aus der Videoübertragungstechnik über das Internet bekannten Protokollen. Das Verfahren „Dynamic Adaptive Streaming

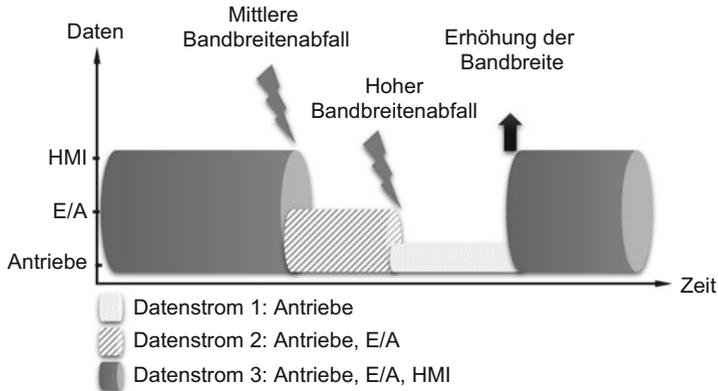


Abb. 6 Dynamic Adaptive Streaming over HTTP für Maschinensteuerungen

over http“ (DASH) bietet die Möglichkeit, Daten abhängig von der verfügbaren Bandbreite zu übertragen (Information 2014). Für eine Maschinensteuerung aus der Cloud ist eine Einteilung nach Abb. 6 denkbar. Demnach werden HMI-Daten nur bei voller Bandbreite, die ohnehin langsameren Daten für E/As bei mittlerer Bandbreite übertragen. Somit ist bei schwankender Bandbreite dennoch ein robuster Betrieb der Maschine mit stabilem Prozess möglich.

Die vorgestellten Mechanismen stellen lediglich Methoden zur Kompensation für Steuerungsaufgaben dar. Im Fall einer Werkzeugmaschine lassen sich alle rechenintensiven Funktionen, wie Interpreter, Bahnvorbereitung, Transformation und Interpolation, innerhalb der Cloud berechnen.

Das Schließen von Regelkreisen über die Cloud lässt sich bisher nicht realisieren, da die Verwendung von Puffern eine Totzeit darstellt und das Regelverhalten negativ beeinflusst. Aus diesem Grund wurde in der Architektur eine aktive Netzwerkbrücke vorgesehen, die es erlaubt, Regelungsalgorithmen auszuführen. Die Soll- und Ist-Werte werden dabei über bestehende Feldbussysteme übertragen und die Regelungsalgorithmen auf der aktiven Netzwerkbrücke ausgeführt. Methoden zur adaptiven Regelung durch komplexe Algorithmen oder parallele Simulation lassen sich hingegen in der Cloud ausführen.

5 Anwendung von cloudbasierter Steuerungstechnik

Erste Entwicklungen haben bereits vor einigen Jahren Anlagen und Maschinen an die Cloud angebunden. Mit dem Gateway der Firma iTAC konnte bereits 2013 eine Anbindung von einem cloudbasierten MES an eine Anlage mit der Steuerung der Firma Beckhoff über das Kommunikationsprotokoll OPC UA demonstriert werden (Fischer 2013).

Aktuelle Entwicklungen beschäftigen sich vor allem mit der Integration von SPS Funktionalität in die Cloud. Im Rahmen der Forschungsvorhaben pICASSO

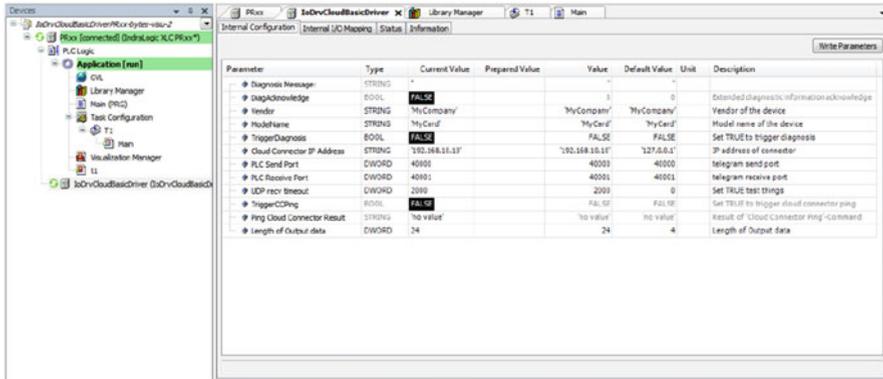


Abb. 7 Integration Cloud-I/O-Treiber in CoDeSys

(Industrielle Cloudbasierte Steuerungsplattform für eine Produktion mit Cyber-Physischen Systemen) und CICS (Cloud based Industrial Services) sollen SPS Steuerungen nach IEC 61131 als Cloudinstanz ausgeführt werden.

Im Projekt piCASSO wurde CoDeSys (Controller Development System) der Firma 3S-Smart Software Solution, wie in Abb. 7 gezeigt, um einen Cloud-I/O-Treiber erweitert, der es erlaubt ein über ein IP Netz verfügbares Sercos-Netzwerk anzusprechen und die darin enthaltenen I/O Module anzusteuern. Der Übergang von IP Netz in das Sercos-Netzwerk wurde durch ein Gateway, den Cloud Connector, realisiert. Zur Anbindung des Cloud Connector in CoDeSys wird die IP Adresse sowie der zu nutzende Eingangs- und Ausgangsport des Cloud Connectors benötigt.

Auch die Firma Siemens entwickelt aktuell auf Basis der SAP-HANA-Cloud-Plattform eine Cloudlösung für die Industrie. Die geplante Funktionalität umfasst dabei vorausschauende Instandhaltung sowie Asset- und Energiedaten-Management. Eine Steuerung aus der Cloud ist hier aktuell noch nicht geplant.

PhoenixContact arbeitet aktuell mit ProfiCloud an einer Lösung, die es erlaubt Profinet Netzwerke über eine Cloud zusammenzuschalten. In der Cloud sollen dann Services z. B. zur Visualisierung der Daten und zum Predictive Maintenance bereitgestellt werden.

Literatur

- Altmann E (2007) Produktion-Dialog – Gildemeister contra Mori Seiki: Die Zukunft der Werkzeugmaschinen-Industrie. *Produktion* 24:5–6
- Automation 2020 (2009) Bedeutung und Entwicklung der Automation bis zum Jahr 2020, Düsseldorf. <http://www.vdi.de/technik/fachthemen/mess-und-automatisierungstechnik/fachbereiche/automation-2020/>. Zugegriffen am 15.10.2015
- Birkhold M, Verl A (2011) Post-Stuxnet: Sicherheitslücken bedrohen weiterhin Produktionsanlagen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 106:237–240
- Bosch (2012) Bedingungen und Verrechnungssätze für Serviceleistungen ab 01.10.2011 im Geschäftsbereich Bosch Rexroth Electric Drives & Controls. Lohr am Main: Bosch Rexroth AG

- Bullinger H-J, Warnecke H-J, Westkämper E (2003) Neue Organisationsformen im Unternehmen: Ein Handbuch für das moderne Management, 2. neu bearbeitete und erweiterte Aufl. (Hrsg) Springer, Berlin/Heidelberg
- Fischer M (2013) Hannover Messe: iTAC Software AG setzt herstellerneutrale Standards im MES-Umfeld um. Dernbach. Montabaur: Pressebericht vom 04.04.2013 von iTAC Software AG
- Information (2014) Technology – dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH), 1. Aufl. International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission. 35.040. Genf: International Organization for Standardization
- Keinert M, Verl A (2012) System platform requirements for high performance CNCs. In: Proceedings of FAIM 2012, 22nd international conference on flexible automation and intelligent manufacturing, 10th–13th.06.2012, Helsinki. University of Technical Department of Product Engineering, Tampere
- Nutzung (2014) von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) in Unternehmen. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Pritschow G (2006) Einführung in die Steuerungstechnik. Hanser, München
- Reinhart G, Engelhardt P, Geiger F, Philipp TR, Wahlster W, Zühlke D, Schlick J, Becker T, Löckelt M, Pirvu B, Stephan P, Hodek S, Scholz-Reiter B, Thoben K, Gorltd C, Hribernik KA, Lappe D, Veigt M (2013) Cyber physical production systems – enhancement of productivity and flexibility by networking of intelligent systems in the factory. wt Werkstattstechnik online, Bd. (2–2013) Sonderheft Industrie 4.0:84–89
- Weck M, Brecher C (2006) Werkzeugmaschinen 4: Automatisierung von Maschinen und Anlagen, 6. Aufl. Springer, Berlin

Cyberphysische Systeme für die prädiktive Instandhaltung

Dominik Lucke, Marcus Defranceski und Thomas Adolf

Zusammenfassung

Durch die Entwicklungen der vergangenen Jahre hin zu technisch komplexeren Maschinen und Anlagen steigt die Bedeutung der Instandhaltung als wesentlichem Schlüssel zur Sicherung der Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen. Wesentliche Ansatzpunkte zur Verbesserung sind hier die Verfügbarkeit von Informationen, voraussagende Instandhaltungsstrategien und eine verbesserte Informationsbereitstellung. Diese können auf technischer Ebene durch spezialisierte Cyberphysische Systeme realisiert werden. In diesem Beitrag wird ein Überblick über die wesentlichen Bausteine, aus smarten Komponenten, smarten Planungssystemen und smarten Benutzerschnittstellen gegeben, die für eine erfolgreiche Umsetzung notwendig sind.

Unternehmen sind heute mit einem stark turbulenten Umfeld konfrontiert, in welchem Sie agieren müssen. Durch die engere globale Vernetzung der Wirtschaftsräume, aufgrund gesunkener Transportkosten, steigt der Kostendruck auf die Unternehmen. Um dieser Entwicklung zu begegnen versuchen Unternehmen mit immer kundenindividuelleren Produkten sich von Mitbewerbern abzuheben und Produktnischen zu erschließen. Dies führt zu einer stark steigenden Zahl an Varianten. Weiterer paralleler Trend ist es die Produktlebenszyklen zu verkürzen. Auch ist die Nachfrage großen, kurzfristigen Schwankungen unterworfen, wodurch sich eine langfristige Produktionsprogrammplanung immer schwieriger gestaltet. Diese Anforderungen an die Produktion erfordern eine hohe und schnelle Anpassungsfähigkeit bei hoher Effizienz und Qualität. Als eine Antwort der Produktionstechnik wurden in den vergangenen 20 Jahren Leanprinzipien zur Verschlan-

D. Lucke (✉) • M. Defranceski • T. Adolf
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland
E-Mail: Dominik.Lucke@ipa.fraunhofer.de; marcus.defranceski@ipa.fraunhofer.de;
thomas.adolf@ipa.fraunhofer.de

von Produktionsprozessen, der Reduzierung von Beständen und Zeitpuffern sowie nichtwertschöpfenden Prozessen angewendet. Eine andere Strategie ist der Einsatz von technisch komplizierteren Maschinen und Anlagen, die meist hoch automatisiert sind. Treiber sind hier auf der Hardwareebene die Miniaturisierung und der Preisverfall von Sensorik, Elektronik und Kommunikationstechnik. Auf der Softwareebene vereinfachen Technologien, wie beispielsweise die Virtualisierung von Servern, Cloud-Technologien oder Webservices, den Einsatz und die Integration digitaler Werkzeuge. Damit eröffnen sich insgesamt neue Einsatzbereiche von Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK-Technologien) für eine wirtschaftliche Anwendung in der Produktion für die Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung von Informationen. Dies ermöglicht deren Effizienz, schnelle Anpassungsfähigkeit und Robustheit gegenüber Turbulenzen weiter zu steigern. Hier kristallisiert sich bereits immer stärker heraus, dass sich durch den massiven Einsatz von IuK-Technologien (z. B. Smartphones), analog bereits zum Privatleben, auch die Produktion stark verändert.

Die Instandhaltung (IH) hat hier auch in Zukunft als Auftrag die Verfügbarkeit und Optimierung der Maschinen und Anlagen mit minimalen Kosten und Aufwand sicherzustellen. Durch diese teils radikal veränderten Rahmenbedingungen ergeben sich folgende Herausforderungen und Chancen für die Instandhaltung:

- Die Anzahl an Instandhaltungsobjekten steigt durch den massiven Einsatz von IuK-Technologien. Ein Instandhaltungsobjekt wird hierbei als instandhaltungswürdige Einheit angesehen. Dies können beispielsweise Teile, Komponenten, Geräte, Baugruppen, Teilsysteme, Betriebsmittel, Maschinen und Anlagen, Gebäude oder auch sogenannte Cyberphysische Systeme sein. Ein Instandhaltungsobjekt kann hierbei aus Hardware, Software beziehungsweise beidem bestehen (EN 13306).
- Die steigende technische Kompliziertheit der Instandhaltungsobjekte (Maschinen und Anlagen) gemeinsam mit parallel verlaufenden Entwicklungen des demografische Wandels und Fachkräftemangels erfordert eine verbesserte Unterstützung der Instandhalter. Die Unterstützung umfasst hier alle planerischen und operativen Aufgaben. Beispiele sind hier eine intuitivere, arbeitsbegleitende Erfassung von Erfahrungswissen, eine verbesserte Datenanalyse zur Diagnose oder kontextbezogene, intuitivere Informations- und Wissensbereitstellung, beispielsweise von Handbüchern, Instandhaltungshistorien und Schulungsunterlagen. Gleichzeitig ergeben sich durch diese Unterstützung neue Potenziale zur Verbesserung der Instandhaltungsprozesse hinsichtlich Zeitverkürzung durch verminderte Such- und Kommunikationszeiten, Qualität und Transparenz.
- Die steigende technische und organisatorische Anlagenverketzung bei optimierten Beständen verursacht hohe Ausfall- und Ausfallfolgekosten (Lepratti et al. 2011). Daraus motiviert sich für die Instandhaltung das Ziel den instandhaltungsbedingten Stillstand zu minimieren, zum Beispiel durch Inspektions- und Wartungsarbeiten während des Betriebs oder durch geplante Instandhaltungsaktivitäten in produktionsfreien Zeiten. Hier bildet als Weiterentwicklung

der zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie, die sogenannte prädiktive Instandhaltungsstrategie einen methodischen Ansatzpunkt zur Lösung. Deren Ziel ist es, durch die Anwendung von Verschleißmodellen und Restlebensdauerbestimmung Instandhaltungsobjekte bis zu Ihrem Lebensende auszunutzen und geplant zu tauschen. Eine voraussagende oder auch prädiktive Instandhaltung ist definiert als eine zustandsorientierte Instandhaltung, die auf Basis einer Verschleiß- oder Lebensdauervorhersage durchgeführt wird (EN 13306). Damit kann im Vergleich zur herkömmlichen, auf die Diagnose fokussierte, zustandsbasierten Instandhaltungsstrategie vorausschauender geplant werden.

Die meisten Modelle zur Bestimmung des Zustands und zur Restlebensdauer basieren auf der statistischen Auswertung der Ausfallhistorie von Komponenten (erfahrungsbasierte Verfahren), dem Vergleich gemessener Werte zustandsbeschreibender Merkmale (Features) mit bekannten Referenzwerten (evolutionäre oder trending Verfahren), künstlichen neuronalen Netzen, Hidden Markow Modellen oder der Modellierung mit physikalischen Zusammenhängen (Byington et al. 2002).

Die Genauigkeit, jedoch auch der Aufwand für die Entwicklung der Modelle steigt von der Verwendung erfahrungsbasierter Ansätze hin zu physikalischen Modellen. Erfahrungsbasierte Modelle sind für den Einsatz in Umgebungen mit nur wenigen Sensoren und einem breiten Anwendungsspektrum geeignet, während beim anderen Extrem, den physikalische Modellen, der Anwendungsfall und Bedingungen für eine korrekte Prognose möglichst genau spezifiziert sein sollten (Abb. 1).

- Parallel steigen Sicherheits- und Umweltschutzanforderungen, deren Einhaltung die Instandhaltung gewährleisten und dokumentieren muss. Die Frage lautet hier, wie diese Nachweise und Transparenz mit möglichst geringem Aufwand sichergestellt werden können.

Die Lösung der adressierten Herausforderungen an die Instandhaltung in Planung und Betrieb lassen sich auf die folgenden, grundlegenden Ansatzpunkte zusammenfassen:

1. Verbesserung der Informationsverfügbarkeit durch Erfassung von Zustandsdaten kritischer Bauteile und -gruppen und Zugriff an jedem Ort und zu jeder Zeit auf Stamm- und Bewegungsdaten (z. B. durch zusätzliche dezentrale Speicherung) sowie arbeitsbegleitende, intuitive Erfassung von instandhaltungsrelevanten Informationen (z. B. verwendete Werkzeuge, Ersatzteile)
2. Verbesserung der Informationsbereitstellung durch kontextbezogene Filterung der Informationen und intuitive Mensch-Maschine-Schnittstellen
3. Verbesserung der Unterstützung bzw. Assistenz in der Arbeitsplanung und -ausführung durch Datenanalyse-, Simulations-, Planungs- und Dokumentationswerkzeuge zur Zustands- und Restlebensdauerbestimmung von Bauteilen und -gruppen, zur dynamischen Instandhaltungsplanung oder in der Dokumentation von Instandhaltungstätigkeiten

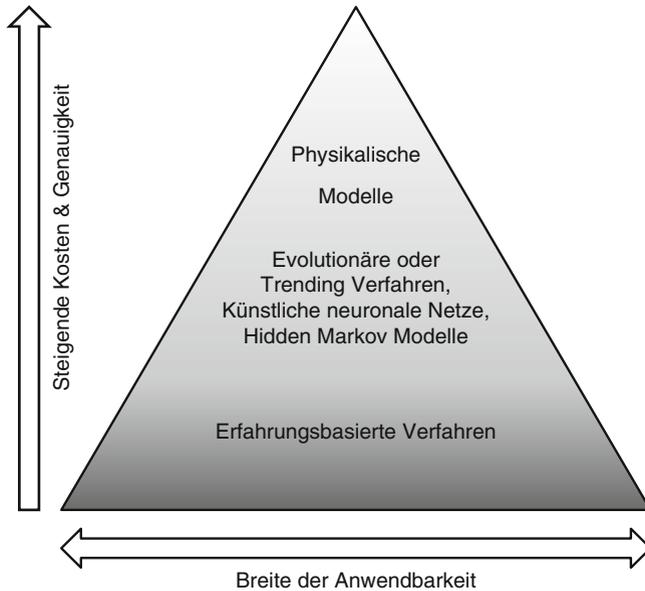


Abb. 1 Typische Ansätze zur Restlebensdauerbestimmung, in Anlehnung an (Byington et al. 2002)

Diese prinzipiellen Ansatzpunkte können auf technischer Ebene durch sogenannte Cyberphysische Systeme (CPS) wirtschaftlich umgesetzt werden. Auf der Geschäftsmodellebene bilden sogenannte Smart Services die Grundlage. Smart Services sind Mehrwertdienstleistungen auf Basis gesammelter Daten von „Smart Devices“, wie hier beispielsweise Maschinen, ihre Baugruppen und Komponenten. Ein „Smart Device“ wird hier als ein Gerät angesehen, welches „digital, aktiv, vernetzt sowie für Benutzer konfigurierbar ist und in Teilen autonom funktioniert.“ (Broy 2010) Weitere Begriffe in diesem Zusammenhang sind „Smart Products“ bzw. „Smart Objects“, welche für den Fokus in diesem Beitrag synonym verwendet werden können. CPS beinhalten eingebettete Systeme, Produktions-, Logistik-, Engineering-, Koordinations- und Managementprozessen sowie Internetdienste (Kagermann et al. 2013; Broy 2010). Ein CPS besitzt dabei einen Teil in der physischen Welt und einen Teil in der digitalen Welt. Es besteht auf physischer Ebene aus Sensoren, Aktoren, Benutzerschnittstellen sowie der verknüpfenden digitalen Kommunikationstechnologie. Auf logischer Ebene übernehmen Funktionen die Erfassung, Transport, Verarbeitung und Bereitstellung der Informationen. Sensoren und Aktoren sind hier smarte, eingebettete Systeme. Diese integrieren neben den Grundfunktionen auch höherwertige Funktionen, beispielsweise zur Signalverarbeitung oder Regelung sowie IP-fähige Kommunikationsschnittstellen. Die durchgängige Nutzung von IP-Kommunikationstechnologien, Software Services sowie globalen, offenen Standards ist hier neu im Vergleich zu herkömmlichen mechatronischen Systemen. Dies ermöglicht zwischen den einzelnen CPS eine Vernetzung in zwei Richtungen:

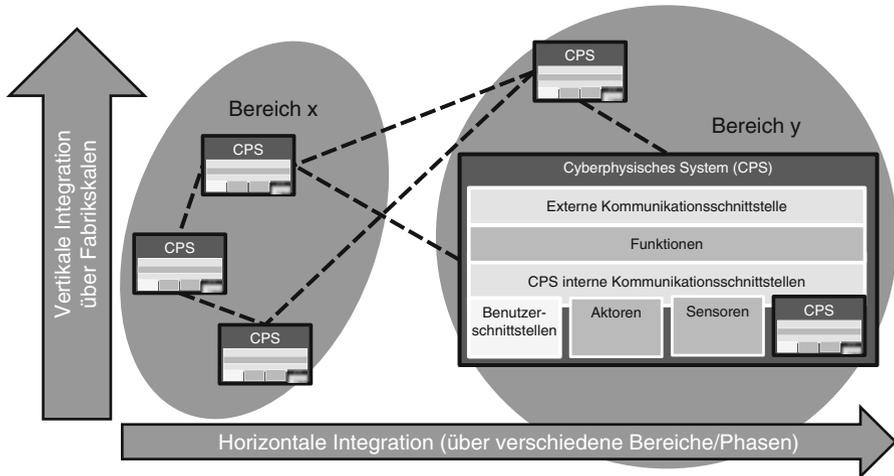


Abb. 2 Aufbau eines Cyberphysischer Systems, in Anlehnung an (Lucke et al. 2014)

- Vertikal zwischen den unterschiedlichen Skalen der Fabrik, ausgehend vom technischen Prozess innerhalb einer Maschine über Maschinen, Arbeitsplätzen, Fertigungsinseln bis hin zum gesamten Produktionsnetzwerk.
- Horizontal zwischen unterschiedlichen CPS der gleichen Ebene oder Organisationseinheiten, wie z. B. zwischen zwei Fertigungsprozessen oder der Produktion und Produktentwicklung (Abb. 2) (Lucke et al. 2014).

Dabei gibt es verschiedene Ausprägungen von CPS, die anhand der folgenden Extremformen beschrieben werden sollen, welche sich durch den räumlichen Verteilungsgrad einfach charakterisieren lassen. Im ersten Fall sind räumlich in einem Gehäuse alle Funktionen eines CPS integriert. Beispiel ist hier ein sog. „Smart Device“. Im zweiten Extremfall sind die Funktionen auf eine Vielzahl von IT-Systemen weltweit verteilt, dann ist das CPS eine hochverteilte Anwendung. Beispiele sind hier Sensornetzwerke, welche über eine gemeinsame Schnittstelle Zugriff auf die über mehrere Server verteilten Daten ermöglichen.

Als Spezialfälle Cyberphysischer Systeme sind für die Instandhaltung Smarte Komponenten, Smarte Planungssysteme für die Instandhaltung und Smarte Benutzerschnittstellen besonders von Interesse, auf welche in den folgenden Kapiteln eingegangen werden soll.

1 Smarte Komponenten für die Instandhaltung

Eine Sonderform eines CPS bilden hier sogenannte „Smarte Komponenten“, welche hier als intelligente Komponenten oder Baugruppen von Maschinen angesehen werden. Dabei können diese „Smarte Komponenten“ als Smart Device oder als verteilte Anwendung realisiert werden. Für den Einsatz in der Instandhaltung

dienen Smarte Komponenten dazu, die Informationsverfügbarkeit zu steigern und bilden damit einen Schlüssel zur Umsetzung von prädiktiven Instandhaltungsstrategien.

Allgemein besitzen Smarte Komponenten analog zu CPS eine Kommunikationsschnittstelle, optional eine Benutzerschnittstelle, einen physischen und einen digitalen Teil. Die Informationen der digitalen Modelle enthalten sowohl Stammdaten, welche sich nur selten ändern, als auch Bewegungsdaten. Stammdaten umfassen in diesem Fall Informationen, wie beispielsweise:

- ein digitales Typenschild (ID, Name, Baujahr, Version, . . .),
- Konfigurations- und Kalibrierungseinstellungen oder
- eine technische Dokumentation (Handbücher, Geometriemodelle, Zeichnungen, Wartungspläne, Ersatzteillisten, etc.).

Bewegungsdaten beinhalten hier Informationen wie:

- einfache Prozess- und Zustandsdaten (z. B. Drehzahlen, Temperaturen, Belastungen, etc.),
- komplexe Prozess- und Zustandsdaten (Frequenzspektren, Features oder Restlebensdauern), welche mehr Rechenleistung benötigen oder
- die Instandhaltungshistorie (Wartungs-, Inspektions-, Optimierungs-, Instandsetzungstätigkeiten).

Zwar wird die Mehrzahl smarter Komponenten, smarte Sensoren und smarte Aktoren beinhalten, es existieren jedoch auch smarte Komponenten, welche weder Sensorik noch Aktorik enthalten (Abb. 3). Ein Beispiel ist hier ein Kugellager, welches ein erweitertes digitales Typenschild besitzt. Auf diesem sind neben einer eindeutigen ID, Bezeichnung, Produktionsdatum, Einbaudatum, Geometriemodelle, Handbücher mit Wartungshinweisen oder die Instandhaltungshistorie dezentral abgelegt. Eine Erweiterung dieses Kugellagers mit digitalem Typenschild ist die Integration zusätzlicher Sensorik, beispielsweise zur Restlebensdauerbestimmung.

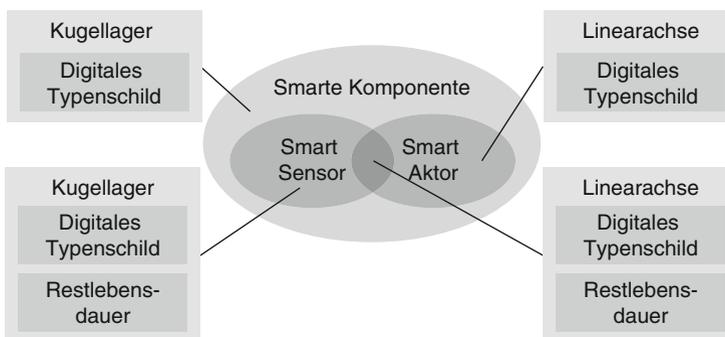


Abb. 3 Smarte Komponenten Klassen und Beispiele

Beispiele für Smarte Aktoren sind Linearachsen, welche in einer erweiterten Version neben einem digitalen Typenschild oder Handbuch, eine integrierte Sensorik mit der Bereitstellung von Sensorwerten und dynamisch berechneten Restlebensdauerwerten besitzen.

Für die Instandhaltung bedeutet die Verwendung von smarten Komponenten die Möglichkeit deren Konfiguration, Zustand und Instandhaltungshistorie über die gesamte Betriebsphase zu erfassen, zu speichern und bereitzustellen. Damit wird eine hohe Transparenz erzeugt, die eine permanente Optimierung der Kosten, Prozesse und Komponenten selbst ermöglicht. In der Instandhaltungsplanung mit einem smarten Instandhaltungsplanungssystem können hier auf der Basis des momentanen Ist-Zustands und Restlebensdauerwerten Instandhaltungsintervalle dynamisiert und situativ geplant werden. Für die Optimierung der Instandhaltungsprozesse bieten smarte Komponenten die Möglichkeit, die Informationsbeschaffung und Kommunikation zu beschleunigen.

2 Smarte Planungssysteme für die Instandhaltung

IT-Systeme zur Zustandsüberwachung, zur Planung und Durchführung von Instandhaltungsaktivitäten existieren bereits seit Jahrzehnten auf dem Markt. Auf technischer Ebene gibt es Zustandsüberwachungssysteme, die üblicherweise Funktionen besitzen, um Messergebnisse zu speichern, zu analysieren, Alarmmeldungen zu konfigurieren oder auch Messtätigkeiten zu protokollieren.

Auf der planerischen Ebene beinhalten Instandhaltungsplanungssysteme (IPS) Funktionen zur IH-Objektverwaltung, die IH-Auftragsplanung und -steuerung. Weitere damit verknüpfte Funktionen können sowohl in einem IPS aber auch in anderen IT-Systemen realisiert sein. Beispiele sind das Ersatzteil- und Bestellwesen, das IH-Controlling oder die IH-Personalverwaltung.

Damit bieten diese IT-Systeme eine Grundunterstützung, um Instandhaltungsaktivitäten zu planen und durchzuführen. Jedoch ist eine qualitativ hochwertige Planung, welche zum Ziel hat Instandhaltungsaufwand und -kosten zu minimieren, nur mit hohem Zeitaufwand realisierbar.

Es fehlt die Durchgängigkeit zwischen den einzelnen Systemen bzw. ist die Vernetzung mit hohem Aufwand verbunden. Dies beginnt bereits bei Unterstützung der Auswahl und Entscheidung für die geeignete Instandhaltungsstrategie, eine Funktion, welche in heutigen IPS nur ungenügend verfügbar ist. Auch erfolgt die Berücksichtigung von Zustands- oder Restlebensdauerinformationen in die Instandhaltungsplanung meist manuell, bzw. die Synchronisation von Instandhaltungsaktivitäten mit dem Produktionsplan findet in aktuellen IPS nicht oder nur manuell statt.

Dieser Umstand ist oft der vorliegenden Situation geschuldet, dass aufgrund ungeplanter Maschinenstillstände die gesamte Planung verworfen und dynamisch reaktiv umgeplant wird. Auch ist die Instandhaltung durch Zeitvorgaben der Produktion eingeschränkt, so dass eine dynamische Neupriorisierung von anfallenden Instandhaltungsaktivitäten erfolgen muss.

Hinzu kommt, dass es bei diesen Planungen oft auch notwendige Regeln und Beschränkungen hinsichtlich verfügbarer Kompetenzen und Abhängigkeiten zu berücksichtigen gilt.

Aus diesen Defiziten ergeben sich folgende weiterreichende Anforderungen an zukünftige Instandhaltungsplanungssysteme:

- Unterstützung bei der Auswahl der Instandhaltungsstrategieentscheidung: Die Auswahl der Instandhaltungsstrategie von Maschinen, Anlagen und Komponenten sollte unter Berücksichtigung von IH-objektbezogenen Informationen und dessen Bedeutung im Wertschöpfungsnetzwerk erfolgen.
- Verbesserung der Ausnutzung von Maschinenbaugruppen und -bauteilen: Durch die Möglichkeit Verschleißmodelle und lastabhängige Restlebensdauerbestimmungen als Teilfunktion einer „Smarten Komponente“ zu realisieren, können diese vollständig verwendet und rechtzeitig ersetzt werden.
- Beschleunigung der Instandhaltungsplanung:
 - Durch eine durchgängige Vernetzung von Cyberphysischen Maschinen mit Instandhaltungsplanungsmodulen,
 - Verringerung von Suchzeiten für benötigte Informationen durch verbesserte Benutzerführung und
 - Verwendung von Planungsassistenten, welche einen multikriteriell optimierten Instandhaltungsplan vorschlagen.
- Erhöhung der Planungsqualität: Aktuell und situationsbezogen, Verwendung von validen, belastbaren Informationen.
- Verbesserung der Benutzbarkeit: Die Planung vereinfachen durch die Bereitstellung der benötigten Informationen für den Instandhaltungsplaner.
- Flexibilität der IT-Systeme, Reduzierung des Aufwands zur Vernetzung: IT-Systeme für die Instandhaltung sollten schnell und einfach ohne tiefe Fachkenntnisse an neue Situationen angepasst werden können. Beispiel ist eine automatische Integration/Anlegen einer neuen Maschine in ein übergeordnetes Instandhaltungsplanungsmodul mit Wartungs- und Inspektionszyklen.
- Modularer Aufbau für eine schnelle Anpassbarkeit an den jeweiligen Anwendungsfall.

Damit zeichnet sich die prinzipielle Architektur eines zukünftigen Instandhaltungsplanungssystems ab, welche in Abb. 4 dargestellt ist. Im Rahmen des europäischen FP7 Forschungsprojektes „SUPREME – Sustainable Predictive Maintenance for Manufacturing Equipment“ wurde in großen Teilen ein erster Prototyp eines smarten Instandhaltungsplanungssystems realisiert. Hauptziel des Gesamtprojekts war die Steigerung der Verfügbarkeit bei gleichzeitiger Reduktion von Instandhaltungskosten und des Energieverbrauchs. Das realisierte smarte IPS basiert auf einem aktuellen IPS, welches um zusätzliche Module erweitert wurde, um sowohl die Basisanforderungen bezüglich Management von IH-Objekten, als auch die Anforderungen an zukünftige Instandhaltungsplanungssysteme zu erfüllen.

Kernstück dieser erweiterten Funktionen ist ein dynamischer Instandhaltungsplanungsassistent. Die Idee dahinter ist es, dem Instandhaltungsplaner in der

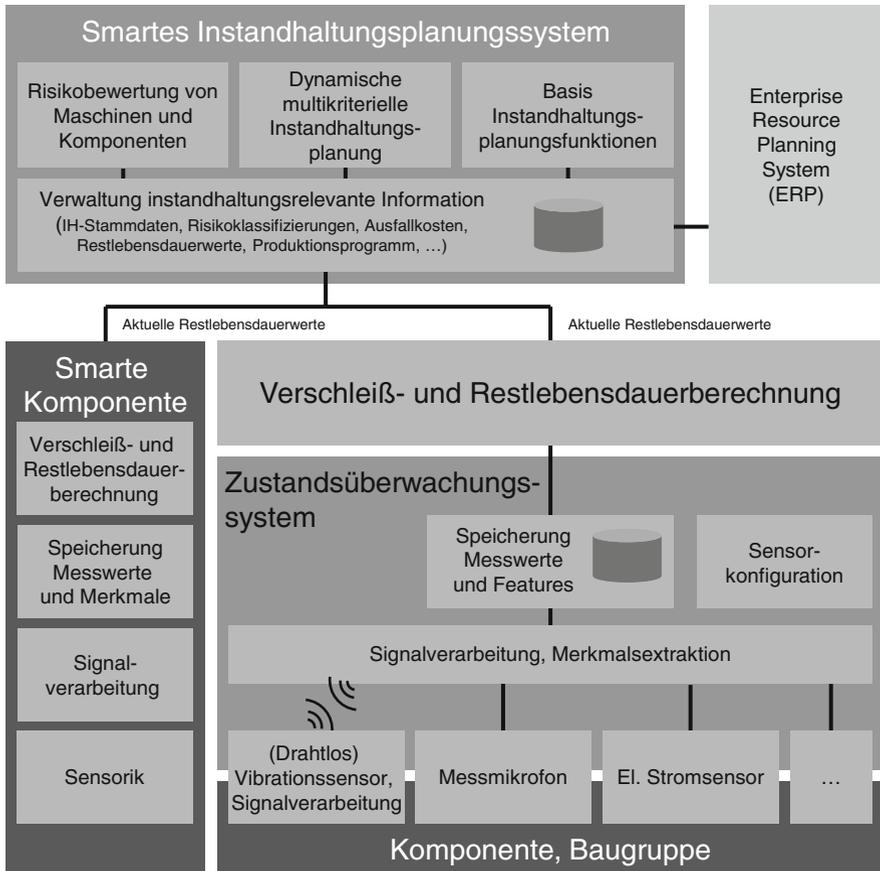


Abb. 4 Architektur eines zukünftigen Instandhaltungsplanungssystems

Anpassung der Instandhaltungsstrategie und -planung zu unterstützen. Die Restlebensdauern der überwachten kritischen Komponenten oder Baugruppen können hier direkt berücksichtigt werden. Diese Restlebensdauerwerte können aus verschiedensten Quellen stammen, beispielsweise direkt von smarten Komponenten oder aus einem nachgelagerten Berechnungsdienst bei der Verwendung eines Zustandsüberwachungssystems.

Mit Hilfe einer multikriteriellen, dynamischen Simulation werden bestehende Instandhaltungsaufträge gruppiert und neu terminiert. Das Ergebnis ist ein Vorschlag für einen optimierten Instandhaltungsplan, welcher anschließend durch den Instandhaltungsplaner manuell angepasst werden kann. Diese Vorgehensweise hat mehrere Gründe. Zum einen sind die Ergebnisse von Simulationen nur so gut, wie die Qualität der Eingangsdaten, zum anderen ist die Realität meist wesentlich komplizierter als das Simulationsmodell, bzw. der Aufwand, um alle Fälle und Abhängigkeiten zu modellieren ist meist nicht wirtschaftlich rentabel.

Für die dynamische Optimierung des Instandhaltungsplans an die aktuelle Situation werden folgende Informationen aus unterschiedlichen IT-Systemen verwendet und berücksichtigt:

- Geplante Instandhaltungsaufträge sowie dafür benötigte Personalressourcen, Werkzeuge und Ersatzteile der zu optimierenden Maschine,
- aktuelle Restlebensdauer von Komponenten,
- geplante Fertigungsaufträge,
- Schichtpläne und Kapazitäten von Instandhaltungsmitarbeitergruppen, wie Mechanik oder Elektrik,
- Kapazitäten von Betriebsmitteln, wie Hallenkräne, Hebebühnen oder Sonderwerkzeuge und
- Ausfallkostenmodelle der zu optimierenden Maschinen und Anlagen.

Dabei bildet der „SUPREME Dynamic Maintenance Planning (DMP)“ Algorithmus das Herz des dynamischen Instandhaltungsplanungsassistenten. Dieser entscheidet für jeden Instandhaltungsauftrag individuell nach den folgenden Hauptkriterien, um die Kosten für Instandhaltungsaktivitäten zu minimieren, welche einen Stillstand der Maschine benötigen:

- Minimierung der Kosten für die betrachteten überwachten, hoch kritischen Komponenten
- Minimierung der zusätzlichen Stillstandzeit aufgrund von Instandhaltungsaktivitäten der Maschine
- Berücksichtigung der Verfügbarkeit des benötigten Personals oder Engpassbetriebsmittel

Die Ergebnisse des SUPREME DMP Algorithmus werden im dynamischen Instandhaltungsplanungsassistenten dem Planer zur Verfügung gestellt. Im Vordergrund der Entwicklung standen eine gute Benutzbarkeit und hohe Akzeptanz, weswegen das System als Assistent mit der Möglichkeit der manuellen Anpassung realisiert ist. Die vorgeschlagenen Termine der Instandhaltungsaufträge können hier manuell nachträglich angepasst werden (Abb. 5). Ein Beispiel ist hier die Änderung eines internen in einen externen Instandhaltungsauftrag, welcher von einem Dienstleister erbracht werden soll. Die Umsetzung der Visualisierung besteht im Kern aus einer interaktiven Kalenderplattafel, welche die Produktions- oder Fertigungsaufträge einer Maschine mit deren freien Zeiten darstellt. Die gruppierten Instandhaltungsaufträge von Baugruppen oder Komponenten werden dazu synchronisiert angezeigt. Die Instandhaltungsaufträge können per „Drag and Drop“ verschoben und angepasst werden, eine Kapazitätsprüfung findet direkt statt und der Planer wird auf Konflikte aufmerksam gemacht. Dadurch wird eine Flexibilität erreicht, die eine hohe Praxistauglichkeit ermöglicht.

Einen Schritt weiter in der Unterstützung gehen smarten Benutzerschnittstellen, welche arbeitsprozessbegleitend, intuitiv und kontextbezogen Informationen erfassen und bereitstellen.

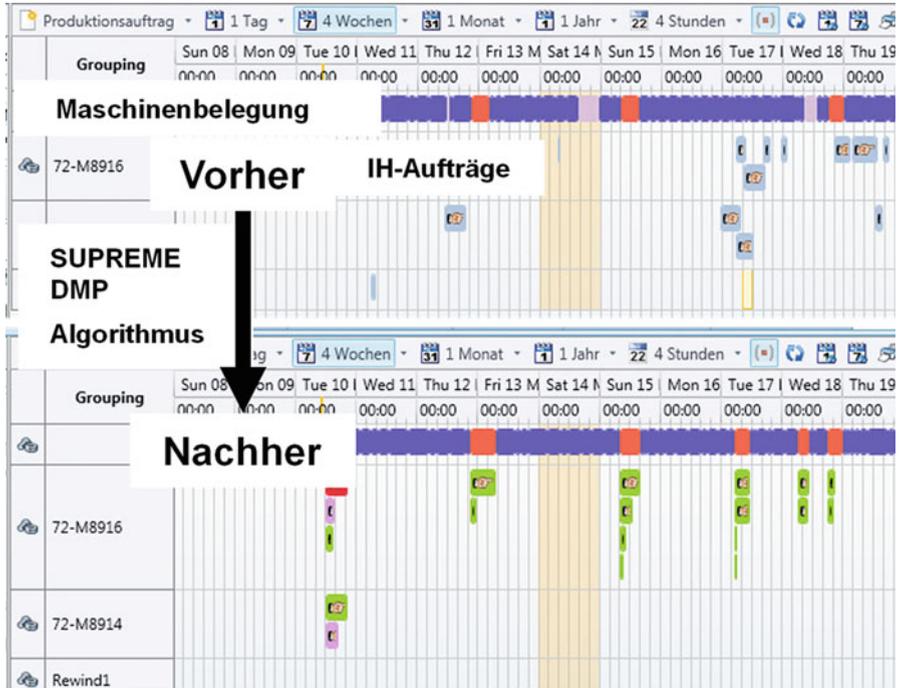


Abb. 5 Visualisierung des dynamischen Instandhaltungsassistenten (SUPREME DMP) (Lucke et al. 2015)

3 Smarte Benutzerschnittstellen für die Instandhaltung

Mit zunehmendem technologischem Fortschritt im Bereich der Smartphones und Tablets ergeben sich im Zusammenhang mit Cyberphysischen Systemen immer mehr Möglichkeiten eine intelligente Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine zu bilden. In einem aktuellen Forschungsprojekt werden unterschiedlichste Ansätze untersucht, wie mobile Geräte effizient Informationen vermitteln und die Kommunikation unterstützen können. Basierend auf den vorangehenden Definitionen werden Smartphones und Tablets ebenfalls als Cyberphysische Systeme betrachtet, welche hier eine zentrale Kommunikationsrolle zugewiesen bekommen. Das mobile Gerät bildet zum einen das Bindeglied zwischen Hardware wie Komponenten und Anlagen und dem Mitarbeiter indem beispielsweise direkt Zustände und Ereignisse abgefragt und angezeigt werden können. Zum anderen bündelt es einzelne Informationen, welche der digitalen Repräsentanz von „Smarte Komponenten“, verteilt auf mehreren IT-Systemen, entstammen. Abb. 6 zeigt die wichtigsten Kommunikationsteilnehmer.

Die maßgeblichen Ziele dieses Projektes lassen sich auf drei Schwerpunkte aufteilen:

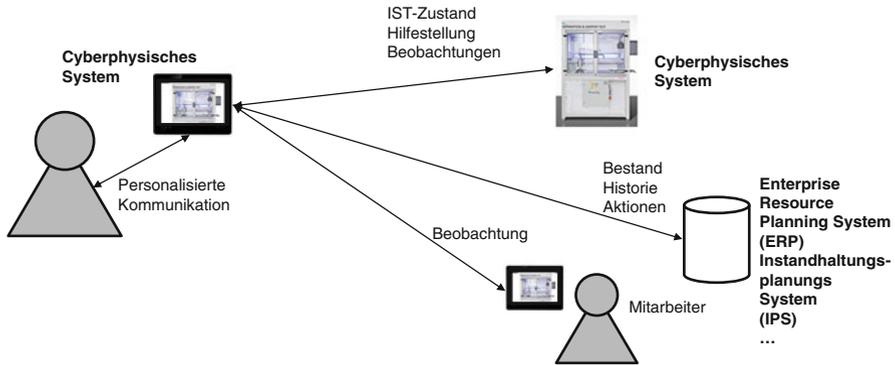


Abb. 6 Mobiles Gerät als Benutzerschnittstelle zwischen Mensch, CPS und IT-Landschaft

1. Verbesserung der Bereitstellung von Informationen durch eine Erhöhung der Datenqualität. Unter Qualität wird hier zum einen die Zeit betrachtet, die benötigt wird, um Daten bereit zu stellen. Zum anderen wird die Aktualität von Daten berücksichtigt.
2. Reduktion von Komplexität bei Darstellung und Interaktion.
3. Verbesserung der Verfügbarkeit von Informationen durch neue Möglichkeiten in der Datenerfassung.

Unter Berücksichtigung der hier aufgeführten Ziele sowie dem Hintergrund, dass Instandhaltungsvorgänge von vielen Personen an unterschiedlichsten Standorten durchgeführt werden können, spielen der jeweilige Kontext, sowie eine stark visuell ausgeprägte Form der Kommunikation eine große Rolle. Als Kontext wird nach Dey und Abowd (1999) „jede Information, welche verwendet werden kann, um die Situation einer Entität zu charakterisieren. Eine Entität ist eine Person, Ort oder Objekt, welche für die Interaktion zwischen einem Benutzer und einer Anwendung relevant ist“ definiert. Dies schließt den Benutzer und Applikationen mit ein (Dey und Abowd 1999). Der Kontext für Maschinen ist wesentlich, um die Relevanz von Informationen zu beurteilen und somit deren Darstellung in einem konkreten Sachverhalt auf ein Minimum reduzieren zu können, aber auch, um die Gültigkeit und Aktualität von dargestellten Elementen zu gewährleisten. Der Kontext der Person ist wichtig, um bedarfs- und rollengerechte Informationen und Vorgänge bereitzustellen. Die Anlage oder Komponente steht hier jedoch im Mittelpunkt des Interesses. Dargestellte Informationen, Aktionen und Personen werden grundsätzlich in Bezug dazu gesetzt. Um eine Kommunikation oder auch Interaktion mit anderen CPS oder auch anderen Benutzern zu erleichtern, wird Augmented Reality (AR) verwendet. Ziel des Einsatzes von AR ist es, reale Objekte mit zusätzlichen visuellen Informationen auf Basis digitaler Kontextdaten zu erweitern. Dies ermöglicht beispielsweise den Austausch von Informationen, ohne dass die exakte Bezeichnung der jeweiligen Komponente einer Person bekannt sein muss. Auch ist die Eindeutigkeit einer neu angelegten Information

bei visueller Zuordnung gewährleistet. Zudem ermöglicht der Einsatz von AR auch auf kleineren Bildschirmen ohne viel Text Informationen verständlich und schnell zu vermitteln.

Um mit Hilfe eines mobilen Gerätes die Kommunikation mit einem IP-fähigen CPS interaktiv zu starten, muss dieses CPS eindeutig identifiziert werden. In diesem Fall erfolgt eine Identifizierung direkt an der Maschine/Komponente mit Hilfe eines RFID-Tags. Andere Tags wie beispielsweise Barcodes wären genauso möglich, auch ist zukünftig die Verwendung eines Indoor-Ortungssystems denkbar. RFID wurde gewählt, damit zusätzlich noch ein Minimum an Offline-Funktionalität ermöglicht wird. In diesem Fall wird neben der Objekt-ID auch das Datum und die Kennung der letzten Person, welche sich angemeldet hat, auf dem RFID-Tag hinterlegt. Dadurch kann diese Person bei Bedarf, beispielsweise angerufen werden und somit über den letzten Stand oder die letzten Maßnahmen an dieser Anlage Auskunft geben.

Mit der Registrierung kann je nach Aufgabenstellung beispielsweise gleich dem zentralen IPS gemeldet werden, dass sich die entsprechende Person nun vor Ort befindet. Außerdem ist die Applikation auf dem mobilen Gerät nun generell in der Lage anlagenspezifische Daten anzuzeigen, welche das CPS oder ein anderes IT-System zur Verfügung stellt. Zusätzlich kann die Applikation einzelne Komponenten über Bilderkennungsverfahren identifizieren und markieren. Entsprechende komponentenspezifische Informationen können nun je nach Bedarf eingeblendet werden. Ausgehend von dem Projekt SUPREME ist es beispielsweise möglich, folgende Informationen aus unterschiedlichen Quellen zum jeweiligen IH-Objekt, welches im Fokus des Mitarbeiters liegt, anzuzeigen. Dazu zählen je nach Verfügbarkeit:

- Zustandsinformationen aus dem IPS über die jeweilige Anlage. Dies beinhaltet auch die geplanten Vorgänge sowie eventuelle Planwerte aus Simulationsszenarien.
- Aktuelle Kennzahlen und Warnungen zur Anlage und den Komponenten.
- Historische Daten, welche nicht nur Kennzahlen, sondern auch vergangene Aktionen und Warnungen aufzeigen können.
- Verschleißmodelle, welche innerhalb eines CPS die tatsächliche Abnutzung und Restlebensdauer berechnen, können für das jeweilige IH-Objekt den Zustand farblich oder über Kennzahlen direkt visualisieren.

Die Informationen werden umgehend mit den aktuellen Werten auf dem mobilen Endgerät angezeigt, wenn der Anwender direkt vor dem CPS steht. Der Bezug ist eindeutig und das Verständnis dadurch erleichtert.

Welche Informationen angezeigt werden, hängt zukünftig von der Person und deren aktuellen Aufgaben ab. Die Zuordnung von Informationen zu einem Objekt erfolgt, indem sich der Mitarbeiter dem IH-Objekt seines Interesses zuwendet und dieses automatisch erkannt und markiert wird. Neben den sofort erscheinenden Daten können durch Berührung der jeweiligen Markierung weitere verfügbare Informationen abgefragt werden. Die erste Auswahl an präsentierten Informationen

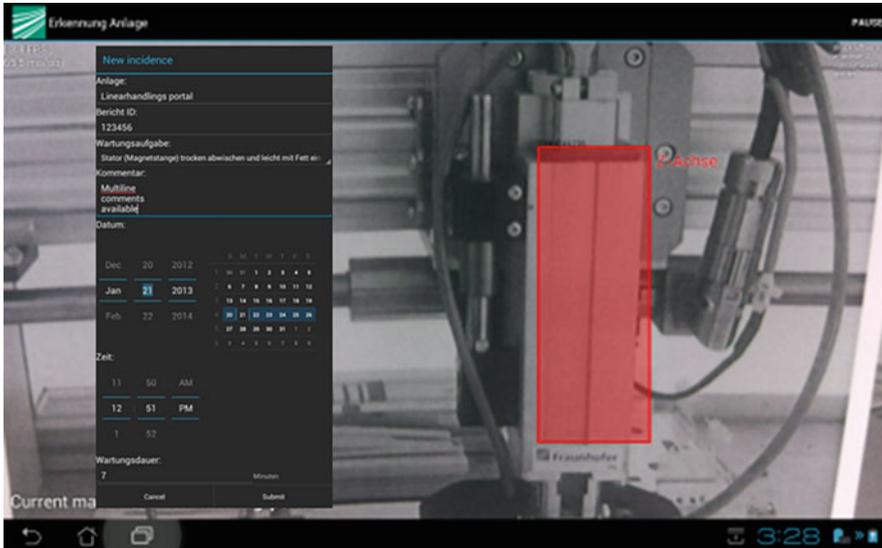


Abb. 7 Komponente wird erkannt und mit kontextspezifischen Informationen erweitert

entspricht der Relevanz der aktuellen Situation, wobei aktuelle Situationen beispielsweise Fehlerdiagnose, Wartungsarbeiten oder allgemeine Zustandskontrolle sein können. Damit die Daten derart angezeigt werden, muss vorab jedes IH-Objekt einmal eingelernt werden. Abb. 7 zeigt einen Screenshot, in welchem eine Achse erkannt und ein Wartungsvorgang begonnen wird.

Ausgehend von diesen Situationen können beispielsweise auch spezifische Wartungsvorgänge gestartet werden. Diese werden auf dem Gerät protokolliert und später automatisiert in einen Wartungsbericht übernommen. Entsprechende Statusmeldungen können schon während dem Wartungsprozess, wenn gewünscht, an das IPS gesendet werden. Dies erhöht die Planungsqualität, da situationsbezogene Informationen durch Personen vor Ort geprüft und direkt bereitgestellt werden können. Für die Vervollständigung der Berichte werden beispielsweise Auswahlfelder und Autovervollständigung angeboten, um ein schnelleres Bearbeiten aber auch einen über alle Personen hinweg harmonisierten Datensatz zu ermöglichen. Auch Plausibilitätsprüfungen wie auch Prüfungen auf Vollständigkeit können eingeführt werden, um die Berichtsqualität zu erhöhen.

Da der Mensch vor Ort eine Vielzahl an Gegebenheiten entdecken kann, welche nicht automatisiert erfasst werden, ermöglicht ein weiterer Prototyp, beobachtete Mängel aufzunehmen und weiterzuleiten. Zu Beginn muss sich die Person an der Anlage registrieren. Der Mensch übernimmt in diesem Fall nun die Rolle eines Sensors und übermittelt über das Smartphone oder Tablet Informationen und Einschätzungen über einen konkreten Sachverhalt nach Vorbild eines CPS. Hierzu markiert der Anwender in seinem aktuellen Livebild den Bereich innerhalb der Anlage und beschreibt und priorisiert in einem anschließenden Menü seine Beobachtung. Abb. 8 zeigt einen Screenshot einer eben markierten Fläche.

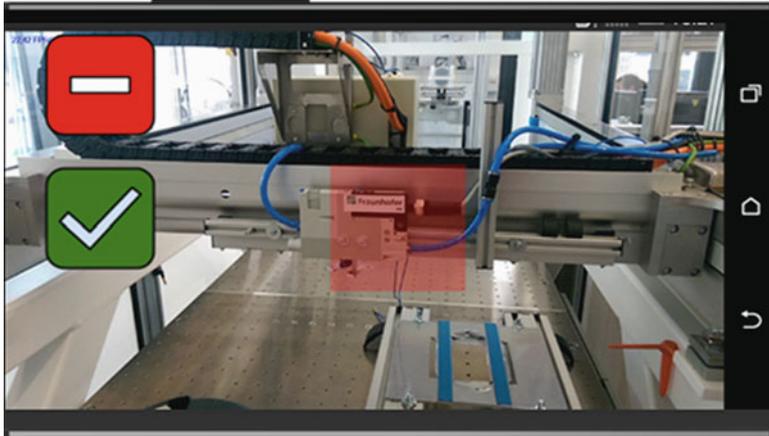


Abb. 8 Mängel im aktuellen Livebild markieren und beschreiben

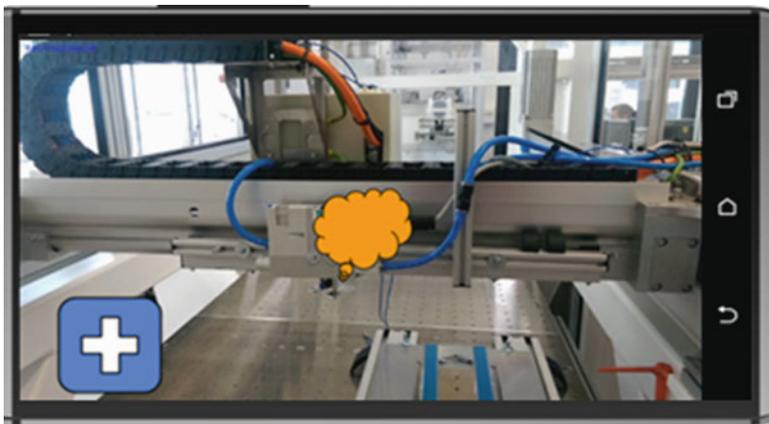


Abb. 9 Markierung gefundener Mängel wird positionsgetreu eingeblendet

Diese Informationen inklusive dem Bild können direkt an ein zentrales IPS gemeldet werden. Zusätzlich bleibt die Markierung mit allen Informationen ohne weitere Schritte positionsgetreu im Livebild erhalten.

Beim nächsten Mal, wenn die Applikation wieder über diesen Bereich gehalten wird, erscheint eine Wolke an der Stelle, an der eine Beobachtung festgehalten wurde. Diese kann, wie in der vorangehenden AR-Applikation auch, berührt werden, wodurch sich die Beschreibung öffnet. Solange die Mängel nicht behoben wurden bleibt die Markierung bestehen. Im Gegensatz zur vorangehenden AR-Anwendung ist dieses Mal kein vorheriges Einlernen der Objekte notwendig, um später die eben erstellte Markierung anzuzeigen. Abb. 9 zeigt in einem weiteren Screenshot an selbiger Stelle, an der vorher die Markierung angelegt wurde, nun eine Hinweisgrafik in Form einer Wolke.

In aktuellen Entwicklungen wird geprüft, inwieweit sich diese Form der Beobachtungen zukünftig nutzen lassen, um daraus bei gleichen Anlagen oder Komponenten Abfragen zu generieren. Diese sollen die Nutzer vor Ort dazu veranlassen, nachzuschauen ob an selbiger Stelle bei deren Anlage dasselbe Problem auftritt und entsprechend Rückmeldung zu geben. Eine bessere Einschätzung der Gesamtsituation, sowie das schnellere Einleiten wichtiger Maßnahmen sind nur zwei von vielen Vorteilen, die sich damit sofort ergeben.

4 Fazit

Durch die Entwicklungen der vergangenen Jahre hin zu technisch komplexeren Maschinen und Anlagen steigt die Bedeutung der Instandhaltung als wesentlicher Schlüssel zur Sicherung der Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen und damit des gesamten Produktionssystems. Wichtige Ansatzpunkte zur Verbesserung sind hier die Verfügbarkeit von Informationen, voraussagende Instandhaltungsstrategien und eine verbesserte Informationsbereitstellung. Diese können auf technischer Ebene durch spezialisierte Cyberphysische Systeme realisiert werden. Smarte Komponenten bilden hier die Basis, die Informationsverfügbarkeit zu steigern, und sind ein Schlüssel zur Umsetzung von prädiktiven Instandhaltungsstrategien. Ein weiterer wichtiger Baustein sind smarte Instandhaltungsplanungssysteme. Diese ermöglichen eine multikriterielle dynamische Instandhaltungsplanung auf der Basis von aktuellen Zustands- und Restlebensdauerinformationen kritischer Bauteile und sind zusätzlich mit der Produktionsplanung synchronisiert. Damit wird der Instandhaltungsplaner in seiner Arbeit unterstützt, die Planungsqualität gesteigert sowie die Planungszeit verkürzt. In der Unterstützung der operativen Instandhaltungstätigkeiten bieten Smarte Benutzerschnittstellen das Potenzial die Prozesse weiter zu verbessern. Mit den aktuellen Prototypen ist es bereits möglich, einen intuitiven Umgang und direkten Weg zur Informationsbeschaffung umzusetzen. Das Potential, Synergien anlagenübergreifend zu nutzen, ist sehr groß. Dies betrifft sowohl zur Verfügung gestellte Erfahrungswerte von einzelnen CPS an gleiche CPS an anderen Standorten, als auch das Teilen und Abfragen von Beobachtungen und Mängeln. Insgesamt wird die Vernetzung von Informationen und schnellere gefilterte Bereitstellung im jeweiligen Kontext zukünftige Entscheidungsfindungen für Mitarbeiter in der Instandhaltungsplanung und -ausführung erheblich erleichtern. Die vorgestellten Technologien befinden sich hierzu noch teilweise am Anfang lassen aber jetzt schon erahnen, welche zukünftigen Potenziale realisierbar sein werden.

Literatur

- Broy M (Hrsg) (2010) Cyber-physical systems; Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme. Springer, Berlin
- Byington CS, Roemer MJ, Galie T (2002) Prognostic enhancements to diagnostic systems for improved condition-based maintenance [military aircraft]. In: 2002 I.E. Aerospace Conference, S 2815–2824

- Dey AK, Abowd GD (1999) Towards a better understanding of context and context-awareness In: HUC '99: Proceedings of the 1st international symposium on handheld and ubiquitous computing. Springer, London, S 304–307
- EN 13306 Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- Kagermann H, Wahlster W, Helbig J (2013) Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt-Industrie 4.0; Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0
- Lepratti R, Legat C, Heinecke G, Lamparter S (2011) Überwachung der Lieferkette zur flexiblen Fertigungssteuerung auf MES-Ebene. In: Vogel-Heuser B (Hrsg) Erhöhte Verfügbarkeit und transparente Produktion. Tagungsband Automation Symposium 2011. Kassel University Press GmbH, Kassel, S 62–73
- Lucke D, Görzig D, Kacir M, Volkmann JW, Haist C, Sachsenmaier M, Rentschler H, Bauernhansl T, Lickefett M (Hrsg) (2014) Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg“; Baden-Württemberg auf dem Weg zu Industrie 4.0. Baden-Württemberg/Ministerium für Finanzen und Wirtschaft, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
- Lucke D, Adolf T, Le TT, Bérenguer C, Christien J, Sieg-Zieba S, Haug R (2015) Integrated dynamic predictive maintenance planning with advanced deterioration and remaining useful lifetime estimation models. In: Podofillini L, Sudret B, Stojadinović B, Zio E, Kröger W (Hrsg) Safety and reliability of complex engineered systems. Proceedings of the 25th European safety and reliability conference, ESREL 2015, Zürich, Switzerland, 7–10 Sept 2015. CRC Press, S 2261–2269

Teil III

Vertikale und horizontale Integration der Wertschöpfungskette

Horizontale Integration der Wertschöpfungskette in der Halbleiterindustrie

Thomas Kaufmann und Lisa Forstner

1 Eigenschaften von Wertschöpfungsnetzwerken in der Halbleiterindustrie

Die Mikroelektronik ist die Schlüsseltechnologie für Industrie 4.0. Sie ermöglicht es, durch immer kleinere und leistungsfähigere Produkte die Effizienz, die Sicherheit und die Energieeffizienz von Anlagen und Geräten zu steigern. Halbleiter, sprich Mikrocontroller und Leistungsbaulemente sind das Gehirn und die Muskeln intelligenter Systeme. Die Intelligenz der Systeme entsteht in einer intelligenten Fabrik aus der Verbindung von Elektronik, Mechanik und übergreifenden Systemansätzen. Dazu kommen die enormen Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), die es ermöglichen, zunehmend eingebettete Systeme miteinander zu vernetzen.

Die Halbleiter-Frontend-Fertigung gilt als eines der komplexesten Produktionssysteme. Dabei werden auf Halbleitersubstraten durch eine Kombination von Prozessverfahren integrierte Schaltkreise erzeugt. Eine hohe Komplexität der Materialflussbeziehungen und ein hoher Vernetzungsgrad entstehen hauptsächlich durch sich zyklisch wiederholende Prozessschrittfolgen. Abb. 1 zeigt exemplarisch die Mehrfachverwendung von Fertigungsgeräten aufgrund der wiederkehrenden Produktionsschritte.

Die Industrie hat gelernt, diese Fertigungskomplexität zu beherrschen. Vernetzte und intelligente Fertigungssysteme, Produktionsdaten in Echtzeit, beispielsweise zur Steuerung des Materialflusses in der Fertigung, sind heute schon Stand der Technik. Dies geht auf eine konsequente Automatisierung und Digitalisierung seit den 90er-Jahren, damals noch unter dem Begriff CIM, zurück.

T. Kaufmann (✉) • L. Forstner
Infineon Technologies AG, Neubiberg, Deutschland

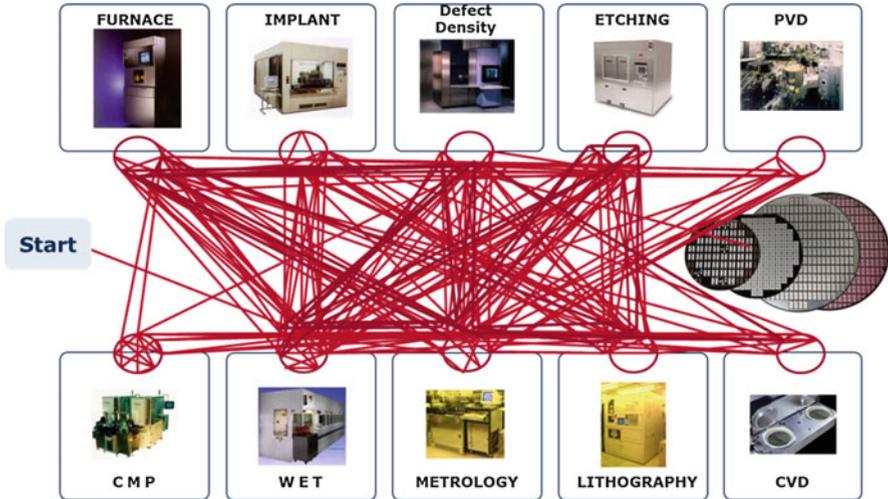


Abb. 1 Hoher Vernetzungsgrad in der Frontend-Fertigung

Die Halbleiterfertigungsindustrie hat also über die letzten Jahrzehnte Elemente einer intelligenten Fabrik oder Smart Factory bereits realisiert bzw. die Voraussetzungen für eine weitergehende Integration und intelligente Vernetzung geschaffen.

In einer Smart Factory im Sinne von Industrie 4.0 sind intelligente Produkte jederzeit eindeutig identifizierbar und lokalisierbar. In einer Halbleiter-Frontend-Fertigung sind die Produkte, also die Chips, jederzeit eindeutig identifizier- und lokalisierbar, beispielsweise mittels RFID-Technik. Diese Grundvoraussetzungen oder Elemente einer Smart Factory sind in dieser, aber auch in anderen Industrien erfüllt. Einige dieser Elemente im Kontext von Smart Factory und Industrie 4.0 sind exemplarisch in Abb. 2 zu sehen.

Jedoch ist der Begriff Smart Factory im Sinne von Industrie 4.0 weiter zu fassen, denn die Smart Factory beherrscht nicht nur die Komplexität intelligenter Systeme, steigert die Effizienz der Produktion und ist gleichzeitig robust gegen Störungen, sondern verknüpft auch Wertschöpfungsnetzwerke in Echtzeit. Dieser Aspekt bedarf zukünftig besonderer Aufmerksamkeit und wird als horizontale Integration verstanden.

Die Produktion von Infineon Technologies hat sich in den letzten dreißig Jahren von einigen wenigen Standorten hin zu einem globalen Netzwerk entwickelt. D. h. es gibt dutzende weltweit verteilte In-House-Frontend- und Backendfertigungen, zu denen externe Zulieferer hinzukommen. In der Abb. 3 sind schematisch mögliche Produktionsrouten eines Chips dargestellt.

Häufig wird bei der Produkteinführung mit einer technisch freigegebenen Route begonnen. Eine Route beinhaltet unterschiedliche Prozessschritte, welche weltweit verteilt sind. Die Produktion startet z. B. mit der Wafer Fertigung in Deutschland, geht dann zu weiteren Veredelungsschritten nach Taiwan und wieder zurück nach Deutschland zum Waferfunktionstest. Nach dem Sägen des Wafers findet die



Abb. 2 In einer Halbleiter-Frontend-Fertigung sind bereits Elemente einer Smart Factory umgesetzt

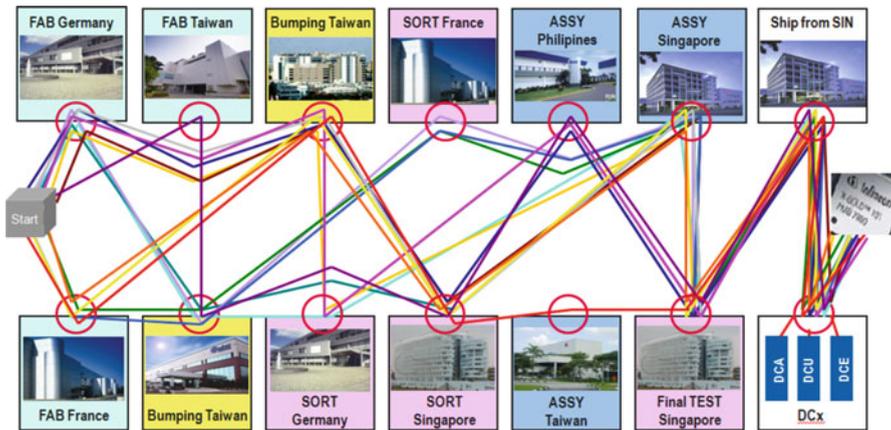


Abb. 3 Darstellung unterschiedlicher Produktionsrouten für einen Chip

Gehäusemontage in Korea statt, bevor die einzelnen Chips zum finalen Test nach Singapur geschickt werden. Um eine Unter- bzw. Überauslastung einzelner Standorte zu vermeiden, kommen weitere Produktionsrouten hinzu. Die Nachfrage kann somit auf unterschiedliche Standorte verteilt werden und hat zusätzlich den Vorteil, dass bei Störungen auf einer Route, die Flexibilität gegeben ist, auf eine andere Route auszuweichen.

Die Halbleiterbranche ist wegen der teuren Produktionsanlagen ein sehr kapitalintensives Geschäft. Das Erreichen einer effizienten Auslastung der Ressourcen ist deshalb unabdingbar. Abgesehen von der Vielzahl an Standorten sind die langen Produktionsdurchlaufzeiten bei immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen und stärker ansteigenden Anlaufphasen der Produkte eine große Herausforderung. Aufgrund der langen Produktionsdurchlaufzeiten ist es schwierig, schnell auf Nachfrageveränderungen der Märkte bzw. der Kunden zu reagieren. Der Halbleitermarkt ist zudem ein sehr volatiler Markt und unterliegt starken konjunkturellen Auf- und Abschwüngen. Dies erschwert zusätzlich eine genaue Absatzprognose. Diese Charakteristiken verlangen einen hohen Grad an Flexibilität. Erweiterungen von Kapazitäten sind jedoch meist langwierig und sehr teuer (vergl. Uzsoy et al. 1992). Operative Exzellenz beschränkt sich nicht mehr länger auf eine einzelne Fabrik, sondern auf ganze Produktionsnetzwerke. Die integrierte Wertschöpfungskette wie eine „globale Fabrik“ zu managen, ist eine große Herausforderung, nicht zuletzt aufgrund der halbleiterspezifischen Produkt-, Produktions- und Marktcharakteristiken.

Jede Branche hat unterschiedliche Handlungsschwerpunkte, um ein intelligentes Produktionsnetzwerk im Sinne von Industrie 4.0 umzusetzen. Die Integration der gesamten Wertschöpfungskette vollzieht sich deshalb in unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Ausprägungen.

2 Realisierung eines integrierten Wertschöpfungsnetzwerks

Um ein ganzheitlich integriertes Wertschöpfungsnetzwerk im Sinne von Industrie 4.0 zu realisieren sind die folgenden Aspekte von besonderer Relevanz (vergl. Kagermann et al. 2013). Erstens, die horizontale Integration. Zweitens, die digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette und drittens, die vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme.

In Industrie 4.0 sind Engineering- und Geschäftsprozesse dynamisch. Störungen können abgefangen werden, indem kurzfristig die Produktionsabläufe adaptiert werden. Die vertikale Integration der Produktion zielt auf die Integration der verschiedenen IT-Systeme auf unterschiedlichen Hierarchieebenen zu einer durchgängigen Lösung in der Produktions- und Automatisierungstechnik ab. Die horizontale Integration hingegen bedeutet die Integration verschiedener Prozessschritte zwischen denen ein Material-, Energie- und Informationsfluss verläuft. Dies gilt sowohl innerhalb eines Unternehmens, als auch über mehrere Unternehmen hinweg.

Abb. 4 zeigt abstrahiert die unterschiedlichen Automatisierungs- und Integrations-ebenen eines Wertschöpfungsnetzwerks. Die Komplexität der Vernetzung nimmt mit der Anzahl der beteiligten Entitäten zu. Die erste Ebene bildet eine einzelne Anlage in der Fertigung. Die zweite Ebene besteht aus einer einzelnen Fabrik. Die dritte Ebene umfasst das ganzheitliche Produktionsnetzwerk. Bei der letzten Ebene kann zudem unterschieden werden, ob es sich um ein unternehmensinternes oder ein unternehmensübergreifendes Netzwerk handelt. Herausforderungen bezüglich Automatisierung und Integration müssen auf allen drei Ebenen gemeistert werden.

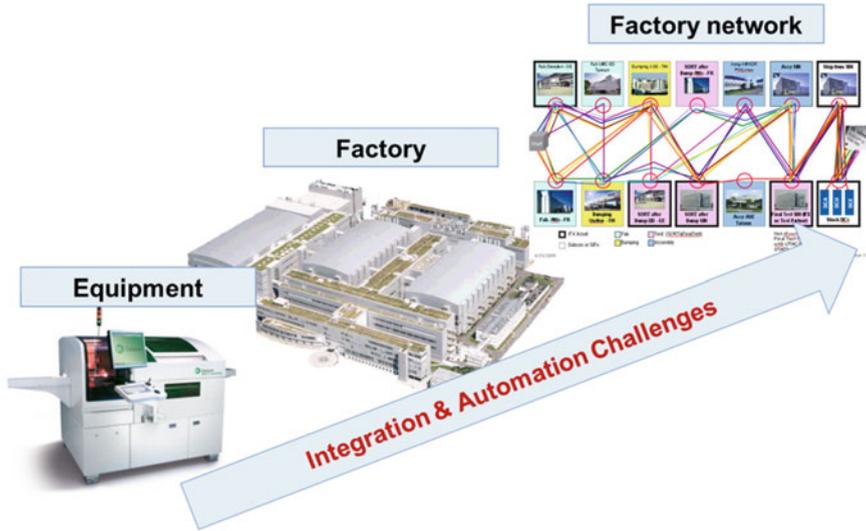


Abb. 4 Integrations- und Automatisierungsebenen

Bei der Betrachtung der ersten Ebene steht die Qualität der einzelnen Produktionsprozesse im Fokus. Die Einführung einer statistischen Prozessregelung trägt erheblich zur Transparenz und folglich auch zur Ausbeuteverbesserung bei. Überschreitungen von zulässigen Wertebereichen und Prozesstendenzen können ermittelt werden. Je kürzer die Verzögerung zwischen der Fehlerdetektion und der Einleitung von Korrekturmaßnahmen ist, desto performanter wird der Produktionsprozess. Durch eine Tendenzanalyse können zudem bereits im Vorfeld vermeidbare Fehler abgefangen werden. Eine automatisierte, korrekte Datenerfassung ist eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Anwendung statistischer Verfahren. Basierend auf diesen Verfahren werden die einzelnen Prozesse und Anlagen überwacht. Als Maß für die Wertschöpfung einer Anlage wird beispielsweise regelmäßig die Gesamtanlageneffektivität (GAE) herangezogen.

Zuverlässige Daten und Analysen aus der ersten Ebene bilden das Rückgrat für höhere Ebenen.

Die zweite Ebene zielt auf die Integration und Automatisierung einer einzelnen Fabrik ab. Die Infineon Technologies AG hat, wie andere Firmen in dieser Branche auch, bereits erste Elemente einer intelligenten Fabrik realisiert bzw. die Grundlagen dafür geschaffen. Dazu gehören u. a. die Erfassung von Fertigungsinformationen in Echtzeit und die papierlose Fertigung. Produkte können jederzeit identifiziert und lokalisiert werden. Die zuverlässige und einfache Identifikation wird mit Hilfe eines Indoor-GPS-Systems umgesetzt. Durch dieses System ist es möglich, nicht nur Routineabläufe genau zu erfassen und zu steuern, sondern auch bei Abweichungen flexibel zu reagieren. Ein Zugangskontrollsystem stellt zudem sicher, dass nur befugte und qualifizierte Mitarbeiter Zugriff auf bestimmte Produktionsanlagen bzw. Prozesse haben.

Zu den Hauptperformanceindikatoren einer Fabrik zählen in der Halbleiterbranche vor allem die Auslastung der Anlagen und die Produktionsdurchlaufzeiten (vergl. Leachman et al. 2007). Das Ziel ist es, eine hohe Auslastung und zugleich kurze Produktionszeiten zu erreichen. Die Variabilität innerhalb der Fertigung spielt bei diesen beiden konkurrierenden Zielen eine erhebliche Rolle. Maschinenausfälle, personelle Engpässe, Nichtverfügbarkeit von Materialien, oder auch Batchprozesse können Ursachen für eine hohe Variabilität sein. Je höher die Variabilität, desto länger werden die Produktionsdurchlaufzeiten bei gleichbleibender Auslastung. Durch gezielte Steuerung bzw. Synchronisation der Produktion kann die Variabilität verringert werden. Die exakte Lokalisierung der Produkte in der Produktion ist dafür eine Grundvoraussetzung. In einer intelligenten Fabrik sollen Werkstücke und Maschinen in Echtzeit aushandeln, wann und wo die Bearbeitungsschritte durchgeführt werden. Um dies umzusetzen, muss die Entwicklung von cyberphysischen Systemen jedoch noch weiter vorangetrieben werden.

Die dritte Ebene betrifft die Integration des gesamten Produktionsnetzwerks. Bereits bei der Optimierung innerhalb einer Fabrik ist es oftmals notwendig, eine riesige Menge an Daten zu erfassen und zu analysieren. Die Erstellung von analytischen Modellen oder Simulationsmodellen ist auch auf der Ebene einer einzelnen Fabrik eine große Herausforderung. Bei Produktionsnetzwerken steigt sowohl die Anzahl der notwendigen Daten als auch die Komplexität der Modellierung. Es ist wichtig, eine Abstraktionsebene zu finden, welche ein ausreichendes Maß an Genauigkeit liefert, ohne dass jedes Detail modelliert werden muss. Gelingt es, diese Balance zu finden, ist es möglich, nicht nur lokale Optimierungen für jeden einzelnen Standort durchzuführen, sondern ein globales Optimum zu finden.

3 Chancen und Herausforderungen der horizontalen Integration

Die Halbleiterbranche hat im Vergleich zu vielen anderen Branchen bereits eine hochautomatisierte Fertigung. Erhebliches Verbesserungspotenzial bietet deshalb nicht mehr nur die Automatisierung von manuellen Prozessschritten, sondern vor allem die schnelle Rückkopplung von Informationen und somit das schnelle Lernen über Fabrikgrenzen hinweg.

Ein Pilotprojekt, das den Benefit der horizontalen Integration demonstriert, wurde bei Infineon bereits durchgeführt. Abb. 5 zeigt, dass mithilfe modernster Analysemethoden Testdaten an einem Standort ausgewertet werden und Feedback an vorhergehende Produktionsprozesse bzw. Standorte gegeben wird. Diese Regel-schleife ermöglicht eine frühzeitige Erkennung von Fehlern und trägt so zur Qualitätsverbesserung der Produkte und einer stabileren globalen Fertigung bei.

Ein Beispiel für das Potenzial der horizontalen Integration ist die Umsetzung eines Frühwarnsystems, das anhand von aktuellen Informationen bereits sehr früh erkennt, wenn es zum Beispiel zu Kapazitätsengpässen kommt, welche eine Verspätung der Lieferung zur Folge haben. Da sinnvollerweise nicht bei jedem

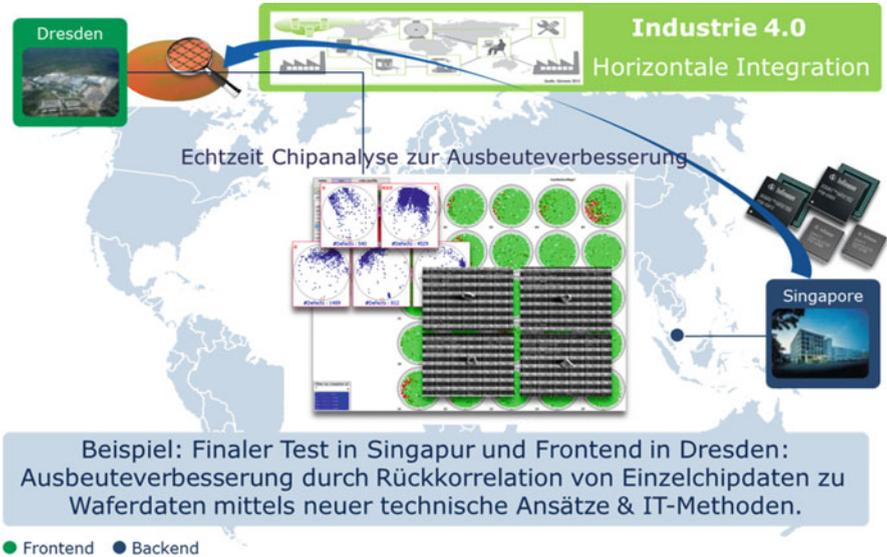


Abb. 5 Qualitätsverbesserung von Produkten durch horizontaler Integration

Produktionsschritt ein Lager vorgehalten ist, das Schwankungen in der Produktion abfängt, ist es wichtig, nachfolgende Produktionsprozesse schnellstmöglich zu informieren, sodass diese noch die Möglichkeit haben, ihre Planung anzupassen.

Anhand der Beispiele wird klar, dass Feedbackschleifen in beide Richtungen, sowohl Upstream, als auch Downstream entlang der Wertschöpfungskette wichtig sind.

Business Intelligence (BI) und Business Analytics (BA) gewinnen in diesem Zusammenhang immer mehr an Bedeutung. Der Fokus bei BI liegt auf der Problemerkennung durch Analysen, wohingegen der Fokus bei BA eher auf Vorhersagen, Zukunftsentwicklungen und Entscheidungsunterstützungs-Verfahren liegt. Ein großer Erfolgsfaktor der Zukunft ist es sicherlich, aus einer Menge von Daten, Informationen zu gewinnen und diese in Anweisungen bzw. Verbesserungsmaßnahmen zu konvertieren. Es gilt, Big Data zu Smart Data zu verdichten. Die, im Januar 2014 gestartete, Forschungsplattform Smart Data Innovation Lab (SDIL) soll helfen dies in Deutschland voranzutreiben. Technisch gesehen ist es bislang gut möglich, strukturierte Daten aufzubereiten und zu analysieren. Ein Großteil des heutigen Datenvolumens entfällt jedoch auf unstrukturierte Daten. Unstrukturierte Daten sind beispielsweise Videos, Bilder, Dokumente, Blogs, oder andere textbasierte Informationen. Diese Informationen auswertbar zu machen rückt immer mehr in den Fokus von Forschung und Industrie. Wenn Unternehmen fähig sind in Echtzeit riesige Datenströme zu verarbeiten, können sie schneller zeitkritische Entscheidungen treffen oder auch neue Phänomene bzw. Zusammenhänge aufspüren. In der intelligenten Fabrik könnten z. B. Kapazitäten effizienter bereitgestellt werden,



Abb. 6 Herausforderungen von Industrie 4.0

wenn Absatzzahlen durch die Analyse von unstrukturierten Daten verbessert werden würden.

Abb. 6 veranschaulicht weitere Herausforderungen von Industrie 4.0, die es zu meistern gilt.

Eine der größten Herausforderung ist es, sichere und robuste Produktionsnetzwerke zu gewährleisten. Dabei spielt nicht nur die Beherrschung von komplexen IT-Systemen und Prozessen eine erhebliche Rolle, sondern auch der Schutz firmeninterner Daten. Das Produktionsnetzwerk vor Sabotage und Hackerangriffen zu schützen, sind wichtige Aspekte um das Know-how erfolgreich zu sichern und um die Stabilität der Fabrik zu gewährleisten. Nur wenn dies gelingt, können die Potenziale von Industrie 4.0 erfolgreich genutzt werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Infineon Technologies befindet sich auf dem Weg zum intelligenten Produktionsnetzwerk.

Es wurden bereits erste Elemente eines intelligenten Produktionsnetzwerks sowohl im Bereich der horizontalen als auch in der vertikalen Integration umgesetzt. Besonders in der horizontalen Integration wird ein hohes Maß an Optimierungspotenzial gesehen. Das schnelle Lernen über Fabrikgrenzen hinweg mit Hilfe von unterschiedlichen Analyseverfahren steht im Fokus. Zudem gewinnen die Modellbildung zur Entscheidungsunterstützung und die Vorhersage von Entwicklungen an Bedeutung. Es gilt, die steigende Komplexität unter der Voraussetzung von sicheren Netzen zu meistern.

Literatur

- Kagermann H, Wahlster W, Helbig J (2013) Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., München
- Leachman RC, Ding S, Chien C-F (2007) Economic efficiency analysis of wafer fabrication. *IEEE Trans Autom Sci Eng* 4:501–512. doi:[10.1109/TASE.2007.906142](https://doi.org/10.1109/TASE.2007.906142)
- Uzsoy R, Lee C-Y, Martin-Vega LA (1992) A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry – part I: system characteristics, performance evaluation and production planning. *IIE Trans* 24:47–60. doi:[10.1080/07408179208964233](https://doi.org/10.1080/07408179208964233)

Teil IV

Sozio-technische Systeme in der Industrie 4.0

Safety in der Industrie 4.0

Herausforderungen und Lösungsansätze

Peter Liggesmeyer und Mario Trapp

Zusammenfassung

In der Industrie 4.0 kommen modulare und adaptive Systeme zum Einsatz. Daraus ergeben sich zahlreiche Herausforderungen für den Nachweis der Betriebssicherheit (Safety). Dieses Kapitel zeigt die wesentlichen Herausforderungen an das Safety-Engineering auf und erläutert mögliche Lösungskonzepte. Dazu gibt das Kapitel einen Überblick zu modularen Sicherheitsnachweisverfahren, welche die flexible und sichere Komposition von Anlagen unterstützen. Zudem werden Ansätze zur Laufzeitertifizierung vorgestellt, welche es ermöglichen, Anlagen zur Laufzeit sicher dynamisch zu rekonfigurieren.

1 Einleitung

Die „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ (Forschungsunion acatech 2013) sehen als zentrales Element der Industrie 4.0 „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.“

Betrachtet man diese Vision aus Sicht der Betriebssicherheit (Safety), so ergeben sich zahlreiche Herausforderungen. Einerseits setzen Adjektive wie „autonom“ oder „sich selbst konfigurierend“ ein hohes Maß an (künstlicher) Intelligenz und Adaptivität der einzelnen Systeme voraus. Durch die Anforderung der flexiblen Vernetzung ergibt sich zudem die Herausforderung, dass sich zur Laufzeit dynamisch Systeme von Systemen ergeben, deren Struktur und Gesamtverhalten zur Entwicklungszeit der Einzelsysteme nicht oder nur schwer vorhergesagt werden

P. Liggesmeyer (✉) • M. Trapp

Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, Kaiserslautern, Deutschland
E-Mail: peter.liggesmeyer@iese.fraunhofer.de; mario.trapp@iese.fraunhofer.de

können. Alles dies sind Faktoren, die zu sogenannten „Uncertainties“ führen, also Eigenschaften, die sich nur schwer vorhersagen lassen und damit zu hohen Unsicherheiten in der Aussage über das zu erwartende Systemverhalten führen. Diese Unsicherheiten stehen im Widerspruch zur Sicherheitsnachweisführung, die zentral auf der Annahme eines deterministischen, vorhersagbaren Systemverhaltens beruht.

Aus diesem Grund könnte Safety beim Übergang zur Industrie 4.0 leicht zum Flaschenhals werden. Denn trotz des hohen wirtschaftlichen Potenzials der Industrie 4.0 darf Innovation niemals auf Kosten der Sicherheit erfolgen. Folgerichtig sehen auch die Umsetzungsempfehlungen zur Industrie 4.0 die „Sicherheit als erfolgskritischen Faktor für die Industrie 4.0“ (Forschungsunion acatech 2013). Umso wichtiger ist es, die Betriebssicherheit von Anfang an als integralen Bestandteil der Forschungs- und Innovationsherausforderung Industrie 4.0 zu betrachten.

Dieser Abschnitt zeigt Lösungsansätze auf, die einen vielsprechenden Ausgangspunkt für die Gewährleistung der Betriebssicherheit in der Industrie 4.0 bieten. Dazu werden zunächst die Herausforderungen an die Betriebssicherheit unter Berücksichtigung aktueller Sicherheitsnormen abgeleitet. Darauf basierend werden im Anschluss verschiedene Verfahren vorgestellt, die zur Lösung dieser Herausforderungen beitragen können. Besondere Bedeutung kommt dabei zunächst der modularen Sicherheitsnachweisführung zu, da diese eine unerlässliche Voraussetzung für die sichere Vernetzung unabhängiger Teilsysteme darstellt. Um dem Anspruch an eine dynamische Vernetzung der Systeme zur Laufzeit gerecht werden zu können, müssen diese Verfahren erweitert werden, damit die finale Nachweisführung der Betriebssicherheit automatisiert zur Laufzeit möglich ist. Erste Ansätze, welche die dazu benötigte Laufzeitertifizierung unterstützen, werden zum Abschluss dieses Abschnitts eingeführt.

2 Safety-Herausforderungen

Ob ein System als sicher gilt oder nicht wird auf Basis des aktuellen Stands von Wissenschaft und Technik bewertet. Im Zweifelsfall entscheiden Standards und Normen, welche Verfahrensweisen, Methoden und Techniken als Stand der Technik bzw. als Stand von Wissenschaft und Technik zu betrachten sind. Neben Standards und Normen, sind gesetzliche Regelungen, europäische Richtlinien und Verordnungen relevant (Rothfelder 2002). Gesetze werden vom Gesetzgeber – der Legislative – erlassen und sind verbindlich. Besonders Firmen, die sicherheitskritische Systeme entwickeln, müssen im Schadensfall erhebliche juristische Konsequenzen fürchten. Ursache sind z. B. die mit derartigen Systemen einhergehenden Risiken für die Nutzer oder auch für unbeteiligte Dritte. Im Schadensfall ergibt sich z. B. aus dem Produkthaftungsgesetz die Verpflichtung zum Ersatz eines Schadens, der durch ein fehlerhaftes Produkt entstanden ist. Ein wirksamer Haftungsausschluss ist nicht möglich. Ein Haftungsausschluss setzt voraus, dass der Fehler zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens noch nicht vorlag oder dass er nach dem Stand von Wissenschaft und Technik nicht erkennbar war. Die Beweislast für diesen Sachverhalt liegt im

Wesentlichen beim Hersteller. Darüber hinaus können Schadensersatzansprüche nach BGB gestellt werden. Auch EU-Richtlinien haben den Charakter eines Gesetzes, weil sie von den Mitgliedsstaaten zwingend in nationales Recht umzusetzen sind. Hinzu kommen Verordnungen, die unter anderem Details zur Ausführung von Gesetzen regeln. Verordnungen werden meistens von Behörden – der Exekutive – erlassen und sind in der Regel verbindlich.

Normung ist in Deutschland die planmäßige, durch die interessierten Kreise gemeinschaftlich durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gegenständen zum Nutzen der Allgemeinheit. Deutsche Normen werden in einem privatrechtlichen Verein durch interessierte Kreise erstellt (z. B. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V.). Standards und Normen sind keine Rechtsnormen. Sie sind – im Unterschied zu Gesetzen – nicht rechtsverbindlich, aber sie können als antizipierte Sachverständigengutachten verstanden werden. Durch Einhaltung der jeweils relevanten Normen kann ein Hersteller sicherstellen, dass der Stand der Technik erreicht ist, und er damit seine Sorgfaltspflicht erfüllt hat.

Es liegt allerdings in der Natur der Normierung, dass sie nicht den aktuellsten Stand der Technik berücksichtigen kann, was gerade durch immer kürzer werdende Innovationszyklen eine zusätzliche Herausforderung darstellt. Dies gilt auch für die Anwendung von Sicherheitsnormen auf innovative Systeme in der Industrie 4.0. Die Umsetzung der in der Industrie 4.0 angestrebten Szenarien erfordert beispielsweise, dass sich Systeme zur Laufzeit sehr flexibel mit anderen Systemen vernetzen lassen und sich adaptiv an ihre Umgebung und Kooperationspartner anpassen, um kollektiv eine gemeinsame Aufgabe zu übernehmen. Die dafür notwendige Technologie wird in der aktuellen Standardisierung noch nicht berücksichtigt. Ganz im Gegenteil werden sogar einige wichtige Technologien, wie beispielsweise die dynamische Rekonfiguration der Systeme, explizit verboten.

2.1 IEC 61508

Eine zentrale Rolle in der Industrie 4.0 spielt sicherlich der Standard IEC 61508 (IEC 61508:2010 [2010](#)). Der IEC 61508 ist ein sehr umfassender, branchenübergreifender Standard zum Thema Sicherheit elektrisch bzw. elektronisch programmierbarer, sicherheitskritischer Systeme. Software wird insbesondere in der IEC 61508-3 behandelt. Die generellen Anforderungen betreffen insbesondere organisatorische Aspekte. Dazu zählt zum Beispiel die geforderte Unabhängigkeit der prüfenden Person bzw. Instanz im Rahmen von Sicherheitsnachweisen. Im Hinblick auf die Prüfung von Software liefern die Teile 3 und 7 des Standards eindeutige Hinweise. Teil 3 beschreibt im Wesentlichen die für die Abläufe erforderlichen Daten und Ergebnisse. Teil 7 ist eine Technikbeschreibung, auf die häufig in Teil 3 verwiesen wird. Basierend auf einer Gefährdungsanalyse und Risikobewertung fordert die Norm die Identifikation aller Gefährdungen, die von dem System ausgehen können. Für jede Gefährdung wird im Wesentlichen durch Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Schwere des verursachten

Schadens das zugehörige Risiko ermittelt. Daraus leitet die Norm sogenannte Sicherheitsintegritätslevels (SIL) ab, wobei SIL 1 für die niedrigste und SIL 4 für die höchste Kritikalität steht.

Betrachtet man die IEC 61508 in Hinblick auf die Anwendungen der Industrie 4.0 so ergeben sich verschiedene Hürden, die für eine normkonforme Entwicklung überwunden werden müssen. Insbesondere anhand des für Software relevanten Teil 3 der Norm lässt sich leicht erkennen, dass der Standard davon ausgeht, dass ein System vor der Zulassung vollständig entwickelt und konfiguriert ist. Jegliche Mechanismen, die das System zur Laufzeit noch einmal ändern, würden zu einer Invalidierung der Zulassung führen und sind daher nicht erlaubt.

So wird beispielsweise bereits bei der Spezifikation der Softwaresicherheitsanforderungen gefordert, dass alle sicherheitsbezogenen oder -relevanten Randbedingungen bzgl. Software und Hardware spezifiziert und dokumentiert werden müssen (Anforderung 7.2.2.7). Spätestens in der Architekturphase müssen dann alle Software-Hardware-Interaktionen evaluiert und detailliert berücksichtigt werden (Anforderung 7.4.3.2 c). Szenarien wie das dynamische Nachladen von Software, also beispielsweise das dynamische Installieren von Apps, lassen sich daher nur schwer unter Einhaltung dieser Anforderung umsetzen. Analog ist auch die dynamische Integration von Systems of Systems nur schwer in Einklang mit gültigen Sicherheitsnormen zu bringen. Beispielsweise müssen bei der Entwicklung nicht nur alle Betriebsmodi des eigenen Systems, sondern auch die Betriebszustände aller verbundenen Systeme spezifiziert und in der weiteren Entwicklung berücksichtigt werden (Anforderung 7.2.2.6).

Daraus ergeben sich auch Herausforderungen hinsichtlich der dynamischen Adaption von Systemen an ihren Laufzeitkontext. Selbst wenn sich die Adaption auf die Rekonfiguration in vordefinierte Systemkonfigurationen beschränkt, müssen alle Systemkonfigurationen, sowie alle Übergänge zwischen den Konfigurationen, abgesichert werden. Dies führt offensichtlich leicht zu einer nicht mehr beherrschbaren Komplexitätssteigerung. Möchte man darüber hinaus eine noch flexiblere Adaption des Systems umsetzen, um beispielsweise die Anpassung an nicht vorhergesehene Betriebssituationen zu ermöglichen, müsste dies analog einer Softwaredomodifikation behandelt werden. Gemäß IEC 61508 würde dies strenggenommen eine Impactanalyse sowie die erneute Verifikation der geänderten Module zur Laufzeit erforderlich machen. Bereits ab SIL 2 wird zudem eine Regressionsvalidierung oder alternativ sogar eine vollständige Revalidierung des Gesamtsystems gefordert, was sich zur Laufzeit ohne Einbindung von menschlichen Experten mit dem aktuellen Stand der Technik und Forschung nicht umsetzen lässt. Um dies zu verdeutlichen, stellt Tab. 1 einen Auszug der entsprechenden normativen Anforderungen aus der IEC 61508 dar. Dabei steht der Eintrag „R“ in der Tabelle für „recommended“, was bedeutet, dass eine Begründung vorliegen sollte, warum die entsprechende Methode nicht angewendet wurde. Bei „HR“, das für „highly recommended“ steht, ist die Anwendung der Methode oder eines äquivalenten Verfahrens quasi verpflichtend.

Häufig werden deshalb intelligente Fehlertoleranzmechanismen als Alternative angeführt. Dabei ist es die Idee, die durch die dynamische Adaption prinzipiell

Tab. 1 Auszug der Tabelle A.8 der IEC 61508, Teil 7 (IEC 61508:2010 2010)

Technique /Measure		SIL1	SIL2	SIL3	SIL4
1	Impact Analysis	HR	HR	HR	HR
2	Reverify changed software modules	HR	HR	HR	HR
3	Reverify affected software modules	R	HR	HR	HR
4a	Revalidate complete system	—	R	HR	HR
4b	Regression validation	R	HR	HR	HR

Tab. 2 Auszug der Tabelle A.2 aus Teil 3 der IEC 61508 (IEC 61508:2010 2010)

Technique/Measure		SIL 1	SIL 2	SIL 3	SIL 4
5	Artificial Intelligence-fault correction	—	NR	NR	NR
6	Dynamic Reconfiguration	—	NR	NR	NR

verursachbaren Fehler durch entsprechende Fehlererkennungs- und -behandlungsmechanismen tolerieren zu können. Häufig wären dazu allerdings sehr intelligente Mechanismen erforderlich, die beispielsweise selbst wiederum auf selbst-lernenden Algorithmen beruhen, um sich an das adaptive Verhalten der überwachten Komponente anpassen zu können. Wie allerdings in Tab. 2 dargestellt, wird der Einsatz solcher Verfahren von vielen Normen untersagt, da der Eintrag „NR“ für „not recommended“ steht und die entsprechenden Verfahren daher im Projekt nicht eingesetzt werden dürfen.

Auf den ersten Blick ergeben sich also einige normative Hindernisse, wenn man das volle Potenzial der Industrie 4.0 ausschöpfen möchte. Andererseits sollte man bedenken, dass eine zu strikte und formale Interpretation der Norm oftmals weder sinnvoll noch erforderlich ist. Vielmehr ist es zu empfehlen, die den Normen zugrunde liegende Intention umzusetzen und dabei die normativen Anforderungen vor dem Hintergrund der speziellen Eigenschaften der Industrie 4.0 neu zu interpretieren.

Ein erster wesentlicher Schritt besteht darin, das System nicht als monolithisches Ganzes, sondern als Komposition modularer Bestandteile zu sehen und die Sicherheitsnachweisverfahren darauf anzupassen. Neuere Standards wie die ISO 26262 im Automobilbereich (ISO 26262:2011 2011) führen beispielsweise modulare Konzepte wie das sogenannte Safety Element out of Context (SEooC) ein. Dies ermöglicht die modulare Entwicklung und Sicherheitszulassung von Teilsystemen. Die Nachweisführung bei der Integration lässt sich durch die bereits vorliegenden modularen Nachweise entsprechend reduzieren. Ein zentraler Treiber war dabei die Automotive Open System Architecture (AUTOSAR 2015), die es unter anderem ermöglichen soll, modulare Softwarekomponenten flexibel im Sinne eines Baukastensystems zu integrieren. Analog dazu wurde in der Avionik die sogenannte Integrated Modular Avionics (IMA) eingeführt und in der Arinc 653 (ARINC 2013) standardisiert. Um das zugrunde liegende Prinzip der Modularisierung auch auf den Sicherheitsnachweis zu übertragen, wurde dazu der Standard RTCA – DO

297 (RTCA 2005) eingeführt, in dem das Vorgehen für eine modulare Zertifizierung von Teilkomponenten geregelt wird. Während sich sowohl AUTOSAR als auch IMA auf ein einzelnes Steuergerät beschränken, werden in der Avionik mittlerweile mit der Distributed Integrated Modular Avionics (DIMA) vernetzte Systeme betrachtet und auch die Zulassungsprozesse entsprechend weiterentwickelt.

Diese Normen bieten also bereits eine Grundlage für modulare Sicherheitsnachweise. Allerdings wird zur Umsetzung einer modularen Sicherheitsnachweisführung gemäß den Normen auch ein entsprechendes Rahmenwerk an Techniken und Methoden benötigt. Dazu zählen insbesondere modulare Sicherheitsanalysetechniken und modulare Sicherheitskonzepte. Abschn. 3 zeigt daher exemplarisch, wie sich modulare Sicherheitsnachweise auf Basis heute verfügbarer Ansätze umsetzen lassen.

Alle diese Ansätze zur Modularisierung setzen allerdings immer noch voraus, dass es einen Systemintegrator gibt, der die Teilsysteme zur Entwicklungszeit integriert und den Gesamtnachweis führt. Trotzdem wird durch die Komponierbarkeit der modularen Nachweise der Integrationsaufwand signifikant reduziert. Eine Systemintegration zur Laufzeit im Feld, wie sie für viele Industrie 4.0 – Szenarien benötigt wird, lässt sich darüber allerdings nicht abbilden. Deshalb müssen diese Ansätze erweitert werden, um automatisierte Sicherheitsnachweise zur Laufzeit zu unterstützen. Dies ist sicherlich eine der derzeit größten Safety-Herausforderungen in der Industrie 4.0. Abschn. 4 stellt als ersten Schritt hinsichtlich der Bewältigung dieser Herausforderungen ein neuartiges Verfahren vor, mit dem – in gewissen Grenzen – die dynamische Integration von Systemen zur Laufzeit unterstützt wird.

3 Modulare Sicherheitsnachweise für flexible Baukastensysteme

Im Rahmen der Industrie 4.0 werden die Anlagen wesentlich häufiger angepasst und mit anderen Systemen vernetzt. Safety darf in den dafür notwendig werdenden kürzeren Entwicklungszyklen nicht zum Flaschenhals werden. Ein wesentlicher Schritt zur sicheren Industrie 4.0 ist daher die Modularisierung von Sicherheitsnachweisverfahren, die den flexiblen und doch sicheren Aufbau stark vernetzter Systeme im Sinne eines Baukastensystems ermöglichen. Dadurch wird die Neuabnahme einer Anlage signifikant beschleunigt. Gleichzeitig bilden sie zudem die Grundlage für die im nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Verfahren, die darüber hinaus in gewissen Grenzen eine automatisierte Absicherung von dynamischen Systemänderungen ohne Neuabnahme ermöglichen.

Ein wesentlicher Bestandteil der Sicherheitsnachweisführung sind Sicherheitsanalysen wie beispielsweise die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) oder die Fehlerbaumanalyse (FTA) (Liggesmeyer 2009).

3.1 Modulare Fehlerbaumanalyse

Die klassische Fehlerbaumanalyse ist nicht modular aufgebaut. Ausgehend von einer Gefährdung, also einem Fehlerereignis an der Systemgrenze, werden schrittweise die möglichen Ursachen analysiert und deren Wirkzusammenhänge identifiziert. Dazu folgt man deduktiv der Ursache-Wirkungskette. Unter Verwendung von Booleschen Operatoren lassen sich auch komplexe Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge effizient modellieren.

Dabei folgt die Fehlerbaumstruktur aber häufig nicht der Systemstruktur, sodass Fehlerbilder derselben Komponente an sehr unterschiedlichen Stellen im Fehlerbaum modelliert sein können. Dies liegt insbesondere daran, dass Fehlerbäume keine echten Modularisierungskonzepte unterstützen. Zwar lassen sich Fehlerbäume bei der Analyse zur Vereinfachung in Teilbäume, sogenannte Module, zerlegen, als Teilbaum kann ein solches Modul aber immer nur einziges Fehlerereignis verfeinern. Eine Komponente zeigt aber meistens mehr als ein einzelnes Fehlerbild auf, sodass sich das Fehlerverhalten einer Systemkomponente nicht modular gekapselt in einem Teilfehlerbaum beschreiben lässt.

Um diesem Problem zu begegnen, wurde das Konzept der Komponentenfehlerbäume entwickelt (Kaiser et al. 2004). Wie in Abb. 1 gezeigt, ermöglichen es Komponentenfehlerbäume, das Fehlerverhalten einzelner Systemkomponenten modular zu beschreiben.

Dazu lassen sich Fehlerbilder definieren, die von der Komponente auf die Umgebung wirken und die umgekehrt von der Umgebung auf die Komponente einwirken können. Analog zu Komponenten in der Softwareentwicklung lassen sich dadurch Fehlerschnittstellen definieren, die eine essentielle Voraussetzung für die Modularisierung bilden. Durch die Unterstützung von Hierarchie in Komponentenfehlerbäumen lassen sich auch sehr leicht komplexe, hierarchisch strukturierte Systeme analysieren.

Die reine Modularisierung der Fehlerbäume ist allerdings nicht ausreichend. So benötigt beispielsweise die automatisierte Komposition der Fehlerbaumkomponenten eine weitere Formalisierung. Möchte man zwei Fehlerbaumkomponenten automatisch miteinander verbinden, müssen die Ausgänge der einen Komponente mit den Eingängen der anderen verbunden werden. In Komponentenfehlerbäumen werden die Fehlerbilder allerdings mit natürlichsprachlichen Namen versehen. Dadurch ist es nicht möglich, automatisch zu prüfen, wie die Komponenten miteinander verbunden werden müssen. Um eine automatische Komposition zu ermöglichen, müssen die Fehlerbilder daher typisiert werden. Darauf basierend lassen sich dann die Ein- und Ausgänge desselben Typs automatisch miteinander verbinden.

Mit der zunehmenden Verbreitung der modellbasierten System- und Softwareentwicklung über das letzte Jahrzehnt, bieten die zugrunde liegenden Konzepte eine ideale Basis für die benötigte Formalisierung der Notation der Sicherheitsanalyse an. Durch die modellbasierte Darstellung von Fehlerbäumen lässt sich die Notation nicht nur weiter formalisieren, sondern man erreicht gleichzeitig eine nahtlose Integration in die modellbasierte Entwicklung (Adler et al. 2011). Wie in Abb. 2

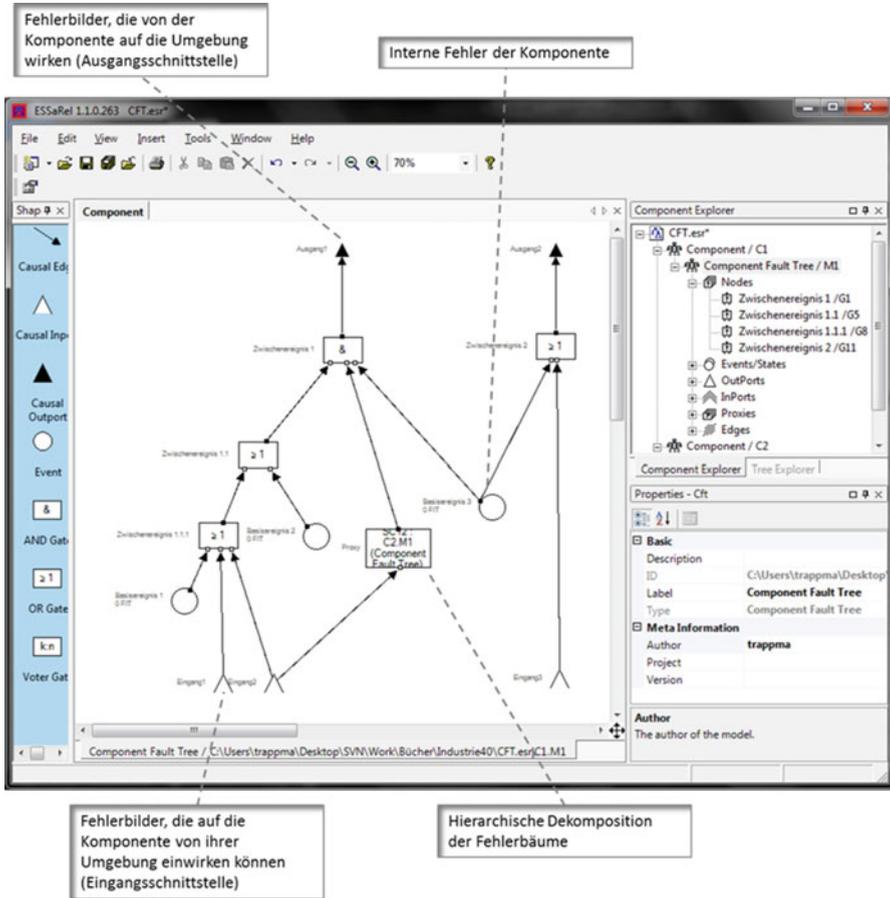


Abb. 1 Komponentenfehlerbäume (CFT) ermöglichen die modulare Beschreibung des Fehlerverhaltens einzelner Systemkomponenten

dargestellt, kann man dadurch sehr leicht einen modularen Fehlerbaum für eine in der Systemarchitektur modellierte Komponente erstellen. Die Schnittstelle der Fehlerbaumkomponente wird dabei formal mit der Schnittstelle der Systemkomponente verbunden: Die Schnittstelle von Systemkomponenten wird insbesondere durch ihre Ein- und Ausgangssignale definiert. Dies bedeutet gleichzeitig, dass sich das Fehlverhalten einer Komponente primär durch Fehler in ihren Ausgangssignalen äußert. Umgekehrt wird das Fehlverhalten der Komponente durch Fehler ihrer Eingangssignale beeinflusst. Ein Komponentenfehlerbaum beschreibt daher letztlich wie Fehlerbilder der Ausgangssignale durch Fehlerbilder der Eingangssignale und durch interne Fehler in der Komponente selbst erzeugt werden können.

Diese formale Verbindung der Ein- und Ausgangsfehlerbilder des Fehlerbaums mit der Schnittstelle der Systemkomponenten ermöglicht die automatische Komposition von Komponentenfehlerbäumen auf Basis der Systemarchitektur.

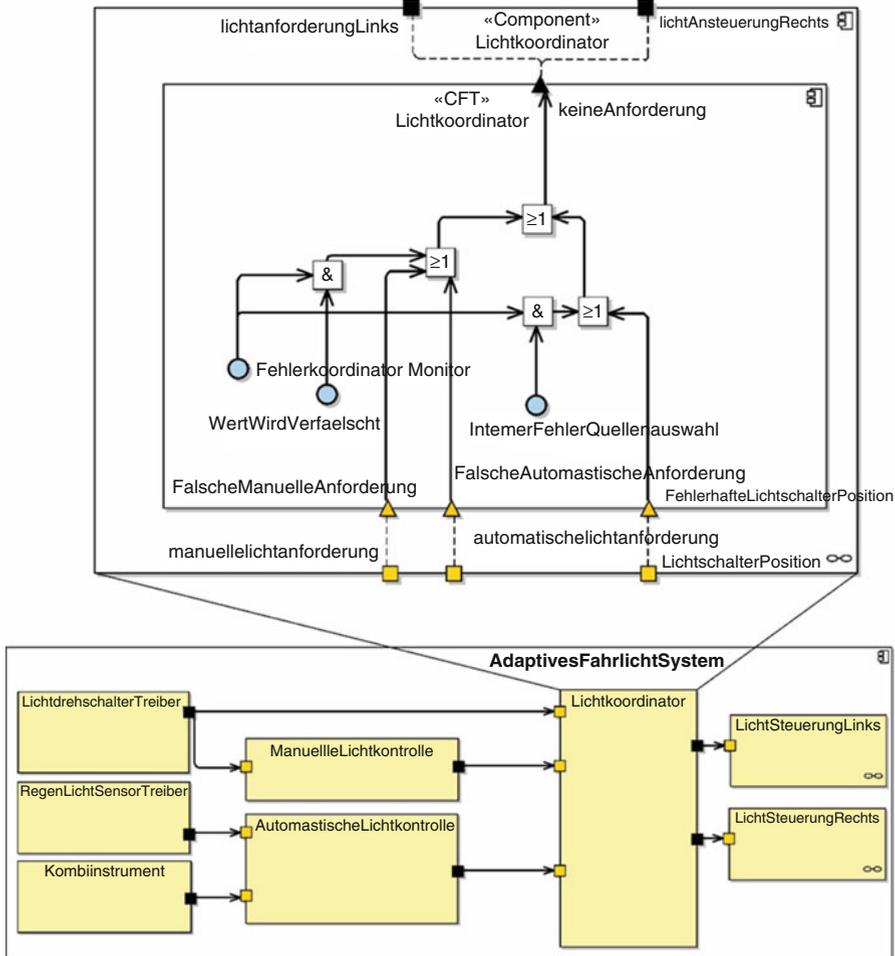


Abb. 2 Modulare, nahtlos in die modellbasierte Entwicklung integrierte Fehlerbäume (C²FT) unterstützen die effiziente Sicherheitsanalyse

Der Entwickler muss lediglich in seinem System- oder Softwaremodell die Systemkomponenten miteinander verbinden. Die Information welche Signale die Komponenten austauschen in Verbindung mit der Typisierung der Fehlerbilder ermöglicht die automatische Generierung des resultierenden Gesamtfehlerbaums.

3.2 Modulare FMEA

Neben Fehlerbäumen wird in der Praxis insbesondere auch die FMEA als Sicherheitsanalysetechnik eingesetzt. Im Gegensatz zur FTA haben FMEAs in der Praxis

häufig einen eher informellen Charakter. Insbesondere da die Erstellung der FMEA häufig als intuitiver empfunden wird, haben sie nichtsdestotrotz eine weite Verbreitung in der Industrie, sodass auch eine Unterstützung modularer FMEAs von großer praktischer Bedeutung ist.

Wenn man darüber hinaus davon ausgeht, dass Systemkomponenten unterschiedlicher Hersteller miteinander verbunden werden sollen, kommt es in der Praxis häufig vor, dass einige Komponenten mit einer FMEA analysiert wurden, während für andere eine Fehlerbaumanalyse vorliegt. Deshalb ist es wichtig, auch unterschiedliche Analysetechniken miteinander verbinden zu können. Um dies zu erreichen, muss die FMEA analog zu Fehlerbäumen modularisiert und formalisiert werden.

Die klassische FMEA untersucht die einzelnen Komponenten eines Systems und identifiziert die Fehlermöglichkeiten (Fehlermodi) dieser Komponenten. Anschließend werden mögliche Ursachen gesucht und die möglichen Effekte bei Eintreten der Fehlermodi untersucht. Abschließend werden geeignete Gegenmaßnahmen dokumentiert. Dabei beziehen sich sowohl die Ursachen als auch die Effekte auf andere Komponenten, mit denen die untersuchte Komponente in Beziehung steht. Durch diesen Ansatz wird allerdings die Modularität verletzt, da für die Durchführung der Analyse die anderen Komponenten des Systems bekannt sein müssen.

Die FMEA lässt sich allerdings leicht modularisieren, indem man analog zu Komponentenfehlerbäumen die Ursachen auf Fehlerbilder der Eingänge einer Komponente bezieht, während sich die Effekte auf Fehlerbilder der Ausgänge beziehen. Auch ist die Formalisierung der Fehlerbilder durch die Einführung einer Typisierung analog zu den Fehlerbäumen möglich. Setzen sowohl die modularen FMEAs als auch die Komponentenfehlerbäume auf demselben Typsystem auf, ist es darüber hinaus einfach möglich, beide Verfahren miteinander zu verbinden, da dann beide Verfahren eine gleichwertige Schnittstelle auf Basis typisierter Ein- und Ausgangsfehlerbilder zur Verfügung stellen.

Im Gegensatz zur FTA ist bei der FMEA allerdings die Abbildung von Fehlerursachen auf Fehlereffekte nicht formal beschrieben, da sie in ihrer ursprünglichen Form keine Mehrfachfehler betrachtet und man davon ausgeht, dass eine der Ursachen ausreicht, um einen Fehlermodus und die damit verbundenen Effekte auszulösen. Dabei ist zudem häufig unklar, wie genau sich die Maßnahmen in der Fehlerausbreitung auswirken. Daher ist es notwendig, neben den Schnittstellen auch die Semantik der FMEA zu formalisieren. Dazu lassen sich erneut die Konzepte der modellbasierten Entwicklung einsetzen. Abb. 3 zeigt eine mögliche graphische, modellbasierte Umsetzung einer FMEA. Während es eher zweitrangig ist, ob die FMEA graphisch oder in der traditionellen Tabellenform dargestellt wird, ist es unerlässlich, dass die zugrunde liegenden Elemente einer klaren Syntax und Semantik unterliegen. Beispielsweise ist es wichtig, explizit zwischen Ursachen in der Komponente selbst und Ursachen in fehlerhaften Eingängen zu unterscheiden, da dies wesentlichen Einfluss auf die Fehlerpropagierung hat. Außerdem ist es notwendig, explizit festzulegen wie sich die Maßnahmen auswirken, d. h. es muss klar definiert sein, ob die Maßnahmen dazu dienen, wie im Beispiel eine Fehlerursache, zu erkennen bzw. zu verhindern, oder ob sie den Fehlermodus oder gar einen Effekt unabhängig von der konkreten Ursache mitigieren.

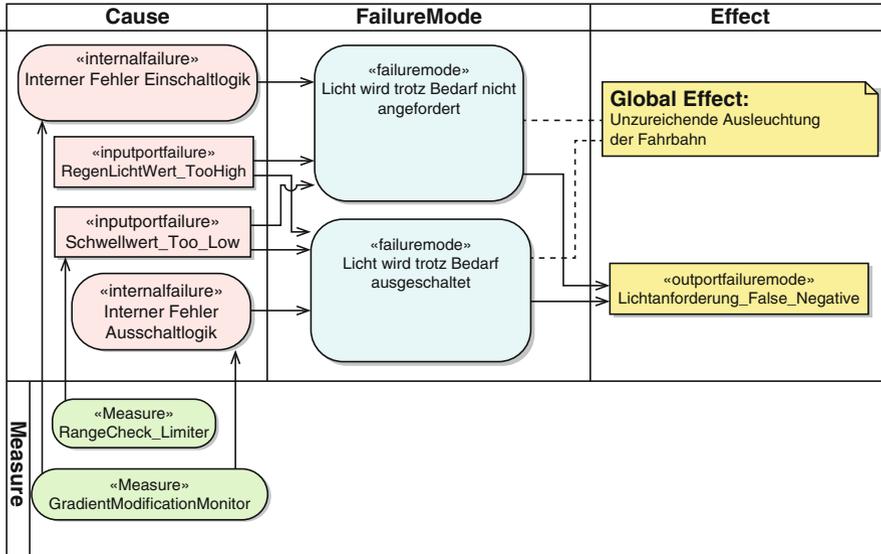


Abb. 3 Graphische Darstellung einer modellbasierten, modularen FMEA

Ist dies festgelegt und geht man zudem davon aus, dass eine einzelne Ursache ausreichen würde, den zugehörigen Fehlermodus zu erzeugen, lässt sich daraus ableiten, wie sich die Fehlerursachen auf die Effekte propagieren. Zwar ist die Ausdrucksmöglichkeit der FMEA Fehlerbäumen unterlegen, trotzdem bietet eine modellbasierte FMEA eine formalisierte Abbildung der Fehlerpropagierung der Komponente. Dadurch ist es in Kombination mit der zu Komponentenfehlerbäumen identischen Schnittstelle möglich, beide Analysetechniken in einer automatisierten Analyse des Gesamtsystems zu integrieren.

Durch die modularen Sicherheitsanalysetechniken, lassen sich also einzelne Teilsysteme unabhängig voneinander analysieren. Bei der Integration der Systeme können die modularen Analysen dann automatisiert komponiert werden, sodass mit minimalem Aufwand eine integrierte Sicherheitsanalyse des Gesamtsystems durchgeführt werden kann.

3.3 Modulare Sicherheitskonzepte und -nachweise

Sicherheitsanalysen stellen damit einen sehr wichtigen Bestandteil der Sicherheitsnachweisführung dar. Sie sind für einen modularen Sicherheitsnachweis notwendig, aber in vielen Fällen nicht hinreichend. Über Sicherheitsanalysen lassen sich Schwachstellen in den Komponenten erkennen und man kann nachweisen, ob die identifizierten Gegenmaßnahmen ausreichend sind. Allerdings muss zusätzlich sichergestellt werden, dass diese Maßnahmen tatsächlich umgesetzt und ihre Wirksamkeit verifiziert werden. Dazu werden aus den Sicherheitsanalysen

Sicherheitsanforderungen abgeleitet, die vom System umgesetzt werden können. Die Sicherheitsanforderungen dokumentieren dazu letztlich die Schlüsse, die man aus den Analysen gezogen hat. Die ISO 26262 (ISO 26262:2011 [2011](#)) hat dazu den Begriff des Sicherheitskonzeptes eingeführt. Ein Sicherheitskonzept bietet dabei eine strukturierte Darstellung inklusive einer argumentativ begründeten Verfeinerung der Sicherheitsanforderungen. In der Praxis werden diese Anforderungen häufig informell mit Textverarbeitungsprogrammen oder in Anforderungsdatenbanken erfasst. Um den abschließenden Sicherheitsnachweis (den Safety Case) führen zu können, muss nachgewiesen werden, dass diese Anforderungen tatsächlich korrekt im System umgesetzt wurden. Dazu werden auf Basis von Verifikationsaktivitäten sogenannte Evidenzen, wie beispielsweise Testberichte, erzeugt. Diese Evidenzen werden dann den einzelnen Sicherheitsanforderungen zugeordnet, um nachzuweisen, dass diese erfüllt wurden. Wenn nun ein Gutachter die Sicherheit des Systems bewertet, kann er nachvollziehen, wie die Sicherheitsanforderungen schrittweise auf Basis von Sicherheitsanalysen verfeinert wurden. Anhand der Evidenzen kann er die korrekte Umsetzung der Anforderungen beurteilen und schließlich die Sicherheit des Systems bestätigen.

Um modulare Sicherheitsnachweise zu ermöglichen, müssen neben den Sicherheitsanalyseverfahren daher auch die dazugehörigen Sicherheitskonzepte formalisiert und modularisiert werden. Eine mögliche modellbasierte Umsetzung modularer Sicherheitskonzepte bieten sogenannte Sicherheitskonzeptbäume (Adler et al. [2012](#)) wie sie beispielhaft in [Abb. 4](#) dargestellt sind.

Durch die modellbasierte graphische Darstellung lassen sich die Sicherheitsanforderungen sowie deren schrittweise Verfeinerung systematisch und übersichtlich modellieren. Insbesondere wenn auch die Sicherheitsanalysen modellbasiert vorliegen, lassen sich Analyseergebnisse nahtlos mit den Sicherheitskonzepten integrieren. Dadurch können beispielsweise Vollständigkeitsanalysen umgesetzt werden, die unter anderem automatisch prüfen können, ob alle identifizierten Fehlerbilder durch Anforderungen abgedeckt wurden.

Für den modularen Sicherheitsnachweis ist es allerdings insbesondere von Bedeutung, dass sich modulare Sicherheitskonzepte erstellen lassen. Um die Schnittstellen der modularen Konzepte spezifizieren zu können, lassen sich die Grundsätze der sogenannten contract-basierten Entwicklung anwenden. In Sicherheitskonzeptbäumen werden dazu sogenannte Sicherheitsgarantien (Guarantees) und Sicherheitsforderungen (Demands) definiert. Dadurch kann ausgedrückt werden, dass eine Komponente die Erfüllung der definierten Garantie gewährleistet – allerdings nur unter der Bedingung, dass umgekehrt ihre Demands von der Umgebung erfüllt werden. Wird beispielsweise von einem Hersteller einer kamerabasierten Überwachung erwartet, dass er Personen in der Gefahrenzone sicher erkennen kann, muss er die Einhaltung einer entsprechenden Garantie gewährleisten. Gleichzeitig nutzt er aber beispielsweise die Bildinformationen einer Kamera eines anderen Herstellers, die vom Integrator zur Verfügung gestellt wird. Der Hersteller der Überwachungssoftware wird natürlich die sichere Erkennung von Personen nur unter der Bedingung garantieren (Garantie), dass ihm ein sicheres Kamerabild zur Verfügung gestellt wird (Demand). Diese Anforderung muss wiederum vom

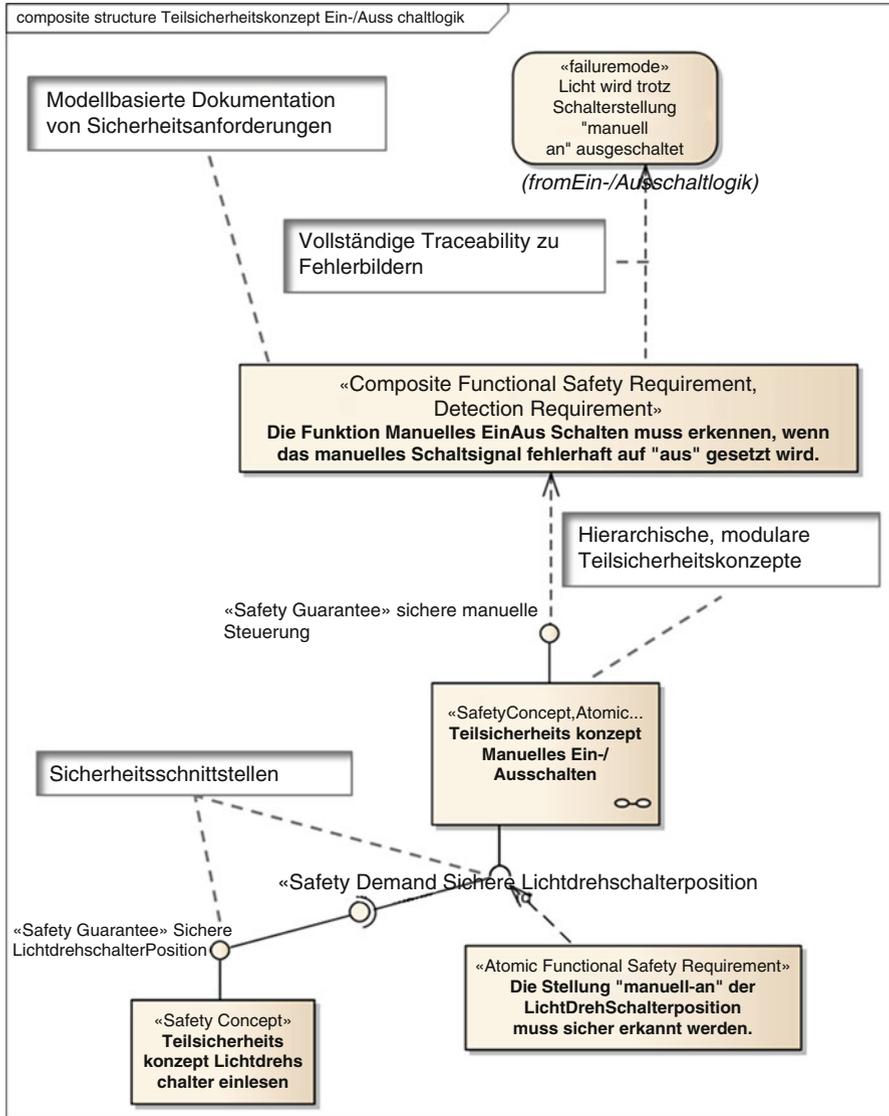


Abb. 4 Sicherheitskonzeptbäume (SCT) ermöglichen die modellbasierte, modulare Spezifikation von Sicherheitskonzepten

Hersteller der Kamera garantiert werden. Durch dieses Konzept lassen sich also die Sicherheitsanforderungen modular auf einzelne Komponente aufteilen, ohne die teils komplexen Abhängigkeiten zwischen den Komponenten vernachlässigen zu müssen.

Auf Basis der modularen Anforderungen kann ein Gutachter sehr leicht modular die Sicherheit einer Komponente begutachten. Unter der Annahme, dass die Demands der Komponente erfüllt sind, untersucht er anhand des modularen Sicherheitskonzeptes und den zugehörigen Evidenzen, ob die Komponente ihre Garanties einhalten wird. Die Nachweisführung bei der Integration kann sich dann im Wesentlichen auf den Nachweis beschränken, dass einerseits die Demands der Komponenten erfüllt sind und dass andererseits die Garanties der Komponenten ausreichen, um alle Sicherheitsanforderungen des Gesamtsystems zu erfüllen.

In der praktischen Anwendung lassen sich die Garanties und Demands nicht soweit formalisieren, dass eine automatisierte Integrationsprüfung möglich ist. Dennoch wird der Integrationsaufwand durch modulare Sicherheitskonzepte entscheidend reduziert. Dadurch wird der flexible Aufbau von Systemen im Sinne eines Baukastensystems auch für sicherheitskritische Anwendungen ermöglicht. Damit ist eine entscheidende Grundlage für sichere Systeme in der Industrie 4.0 gegeben.

4 Laufzeitertifizierung für die dynamische Anlagenkonfiguration

Viele Industrie 4.0-Szenarien erfordern eine Integration und dynamische Anpassung der Systeme zur Laufzeit. Möchte man beispielsweise Anlagenteile flexibel miteinander koppeln und dynamisch an den Fertigungsauftrag anpassen, so würden modulare Sicherheitsverfahren nicht ausreichen. Da diese Verfahren weiterhin einen manuellen Sicherheitsnachweis für das integrierte Gesamtsystem voraussetzen, müsste trotzdem eine Rezertifizierung durchgeführt werden, wodurch die angestrebte Flexibilität massiv eingeschränkt würde. Deshalb ist es notwendig, die modularen Nachweisverfahren so weiterzuentwickeln, dass Systeme in die Lage versetzt werden zur Laufzeit selbst zu prüfen, ob ihre Sicherheit im aktuellen Kontext gegeben ist oder nicht. Gleichzeitig muss es das klare Ziel sein, die Safety-bezogene Verantwortung, die an die Systeme übergeben wird, auf ein Minimum zu reduzieren.

Modulare Sicherheitskonzepte bieten dazu einen idealen Ausgangspunkt. Die Ergebnisse der Sicherheitsanalysen der einzelnen Komponenten sind bereits interpretiert, die modularen Evidenzen sind bereits erbracht und die Einhaltung der Sicherheitsschnittstelle der einzelnen Komponenten wurde von einem Gutachter geprüft. Darauf basierend kann man nun Zertifikate auf Modulebene realisieren, deren Validität zur Laufzeit auf Basis der dann festgestellten Einhaltung der Sicherheitsschnittstelle bestimmt wird.

Die Idee der modularen Sicherheitskonzepte wurde daher zu sogenannten modularen Laufzeitertifikaten weiter entwickelt. Modulare Laufzeitertifikate müssen sehr effizient evaluiert werden können und sollten sich daher auf eine minimale Menge benötigter Daten beschränken. So werden beispielsweise die im Sicherheitskonzept definierten Argumente und Teilanforderungen nicht benötigt. Lediglich die Schnittstelleninformationen werden zur Laufzeit benötigt. Um eine

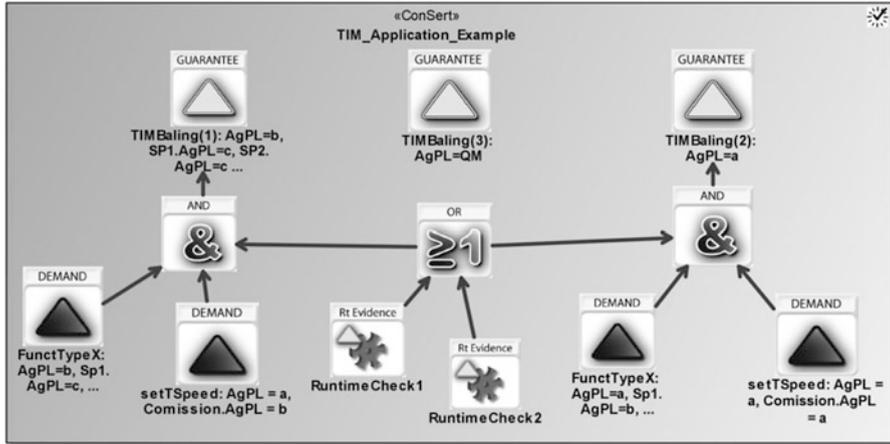


Abb. 5 ConSerts ermöglichen die dynamische Integration von Systems of Systems

Prüfung zur Laufzeit durchführen zu können, ist es allerdings notwendig, dass die Contracts in Laufzeitzertifikaten formalisiert werden. Als zusätzliche Erweiterung von Sicherheitskonzepten müssen Laufzeitzertifikate Varianten unterstützen. Wird nur eine gültige Kombination von Demands und Guarantees angeboten, ist es sehr unwahrscheinlich, dass die Schnittstellen von unabhängig entwickelten Komponenten wechselseitig erfüllt werden können. Aus diesem Grund empfiehlt sich der Einsatz von bedingten Zertifikaten, welche im Prinzip eine Menge „potenzieller Zertifikate“ verkörpern. Dies bedeutet, dass die Komponente zur Laufzeit prüft, welche Demands erfüllt werden können und darauf basierend die von ihr erfüllbaren Guarantees bestimmt. Dadurch lassen sich Komponenten wesentlich flexibler integrieren.

All jene Konzepte werden von sogenannten Conditional Safety Certificates (ConSerts) (Schneider und Trapp 2013) umgesetzt. Die Modellierung alternativer Garantien verschiedener Zertifikatvarianten im Rahmen eines ConSert ist in Abb. 5 dargestellt.

Durch boolesche Operatoren werden analog zu Fehlerbäumen die Bedingungen definiert, unter welchen die Garantien gegeben werden können. Dazu wird zum einen die Erfüllung der Demands ausgewertet. Zum anderen werden aber auch sogenannte Laufzeitevidenzen (Runtime Evidences – RtE) ausgewertet. Dies sind Prüfungen, die zum Integrationszeitpunkt ausgeführt werden müssen, da die Prüfung nicht modular durchgeführt werden konnte. So kann es beispielsweise nötig sein zu prüfen, dass die verfügbare Bandbreite des Kommunikationskanals zwischen zwei Komponenten ausreicht, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Um die Erfüllung von Demands zur Laufzeit prüfen zu können, müssen die Contracts formalisiert werden. Dabei können allerdings keine formalen Sprachen zum Einsatz kommen, die typischerweise im Zusammenhang mit Contracts eingesetzt werden (Damm et al. 2005), da komplexe Verifikationsalgorithmen zur

Laufzeit nicht ausgeführt werden können. Stattdessen muss eine sehr effiziente Laufzeitprüfung möglich sein. Dies lässt sich über eine Typisierung von Garanties und Demands umsetzen: Um Systemkomponenten funktional vernetzen zu können, müssen sie auf einer gemeinsamen Schnittstellenspezifikation aufsetzen. Häufig wird die Schnittstelle dazu auf Basis von Services beschrieben. Alle Komponenten nutzen dabei ein gemeinsames Servicetypsystem, in dem festgelegt ist, welche Funktionen und Eigenschaften eine Komponente umsetzen muss, wenn sie einen Service zur Verfügung stellt bzw. was sie erwarten kann, wenn sie einen Service nutzt. Um darauf basierend auch die Garanties und Demands der ConSerts formalisieren zu können, wird eine Sicherheitsanalyse auf Basis der Servicetypen durchgeführt. Dabei werden die Fehlerbilder der Services identifiziert und als Teil des Typsystems hinterlegt. Zusätzlich können auch bereits geeignete Gegenmaßnahmen zu den Fehlerbildern identifiziert und im Typsystem hinterlegt werden. Auf Basis dieses Typsystems können sich Garanties und Demands auf definierte Fehlerbilder und Gegenmaßnahmen beziehen. So kann eine Komponente beispielsweise garantieren, dass ein Fehlerbild eines Services nicht auftreten wird, oder dass sie eine entsprechende Gegenmaßnahme umsetzt. Umgekehrt kann sie als Demand verlangen, dass ein bestimmtes Fehlerbild an einem Eingang nicht auftreten darf. Dadurch sind Garanties und Demands sehr präzise definiert. Gleichzeitig ist die Prüfung sehr einfach umsetzbar. Um zu prüfen, ob ein Demand erfüllt ist, ist es im Wesentlichen ausreichend zu prüfen, ob es eine Garantie gibt, die sich auf ein kompatibles Fehlerbild oder eine kompatible Gegenmaßnahme im Typsystem bezieht.

5 Zusammenfassung

Die Betriebssicherheit ist eine zentrale Herausforderung der Industrie 4.0. Selbst auf Basis des aktuellen Standes der Wissenschaft wird die Vision der Industrie 4.0 nicht in vollem Umfang unterstützt. Lässt sich die Sicherheit der Systeme aufgrund fehlender Methoden und Technologien nicht nachweisen, wird sich die Vision letztlich nicht in die Realität umsetzen lassen. Innovative Verfahren und Technologien zum Sicherheitsnachweis sind daher ein zentraler Schlüsselfaktor zum Erfolg der Industrie 4.0.

Vielversprechend ist die Weiterentwicklung bestehender Ansätze zum modularen Sicherheitsnachweis und zur Laufzeitertifizierung. Die in diesem Abschnitt vorgestellten Ansätze bieten dazu eine gute Ausgangsbasis. Es ist allerdings von entscheidender Bedeutung, die Betriebssicherheit der Systeme von Anfang an in der Entwicklung zu berücksichtigen. Eine nachträgliche Umsetzung von Sicherheitsmaßnahmen am Ende der Entwicklung ist entweder mit enormen Kosten verbunden oder sogar technisch unmöglich.

Deshalb ist es von entscheidender Bedeutung, die Betriebssicherheit als zentrales Erfolgselement der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Industrie 4.0 zu adressieren.

Literatur

- Adler R, Domis D, Höfig K, Kemmann S, Kuhn T, Schwinn J P, Trapp M (2011) Integration of component fault trees into the UML. Models in software engineering. Springer, Berlin/Heidelberg, S 312–327
- Adler R, Kemmann S, Liggesmeyer P, Schwinn P (2012) Model-based development of a safety concept. In: Proceedings of PSAM 11 & ESREL 2012
- ARINC (2013) ARINC 653 Avionics Application Software Interface. ARINC 2013
- AUTOSAR (2015) AUTOSAR-Webpage: www.autosar.org
- Damm W, Votintseva, A, Metzner A, Josko B, Peikenkamp T, Böde E (2005) Boosting re-use of embedded automotive applications through rich components. In: Proceedings of foundations of interface technologies 2005
- Forschungsunion, acatech (2013) Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaftswissenschaft, acatech
- IEC 61508:2010 (2010) Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems: Parts 1–7. International Electrotechnical Commission
- ISO 26262:2011 (2011) Road Vehicles – Functional safety: Parts 1–10, ISO
- Kaiser B, Liggesmeyer P, Mäckel O (2004) A new component concept for fault trees In: Lindsay P, Cant T (Hrsg) Proceedings conferences in research and practice in information technology, Bd 33. ACS, Sydney, S 37–46
- Liggesmeyer P (2009) Software-Qualität, 2. Aufl. Spektrum-Verlag, Heidelberg
- Rothfelder M (2002) Sicherheit und Zuverlässigkeit eingebetteter Systeme: Realisierung, Prüfung, Nachweis (Teil II). Deutsche Informatik Akademie, Seminarunterlage
- RTCA (2005) RTCA DO-297 (2005) Integrated Modular Avionics (IMA) development guidance and certification considerations. RTCA 2005
- Schneider D, Trapp M (2013) Conditional safety certification of open adaptive systems. ACM Trans Auton Adapt Syst (TAAS) 8(2)

Weiterbildung und Kompetenzentwicklung für die Industrie 4.0

Wilhelm Bauer, Bernd Dworschak und Helmut Zaiser

Zusammenfassung

Dieser Beitrag widmet sich der Frage nach Kompetenzbedarfen aufgrund der Einführung von Industrie 4.0. Da sich Industrie 4.0 noch in der Entwicklung befindet und der Verbreitungsgrad eher noch gering ist, werden hier Tendenzaussagen über Kompetenzanforderungen im Kontext von zwei polar entgegengesetzten Szenarien getroffen. Die tatsächlichen Kompetenzbedarfe dürften davon abhängen, welche zwischen diesen Extremszenarien liegenden Entwicklungsoptionen die Unternehmen wählen. Ausgewählte Anwendungsfälle können dazu dienen, solche Optionen zu beschreiben und in Verbindung mit den Szenarien Aussagen über Kompetenzanforderungen auf der mittleren und oberen Qualifikationsebene zu treffen. Komplettiert wird der Beitrag durch eine Übersicht zur Verfügung stehender Verfahren zur Ermittlung von Kompetenzanforderungen sowie Anforderungen an Weiterbildung im Kontext von Industrie 4.0.

1 Industrie 4.0 (I4.0): Vorstellungen u. Anwendungsfelder

Die Vorstellungen, die derzeit mit der weiteren Digitalisierung in der Industrie und dem Begriff „Industrie 4.0“ („I4.0“) verbunden werden, können in etwa gleichgesetzt werden. Diese Vorstellungen – deren Umsetzung zu einer sehr viel flexibleren und dadurch produktiveren Vernetzung von Werkzeugen, Maschinen, Anlagen und Produktionssystemen führen soll – lassen sich, wie Abb. 1 zeigt, anhand einer am Produktlebenszyklus als Wertschöpfungskette orientierten Betrachtungsweise erläutern (MFW und Fraunhofer IPA 2014):

W. Bauer (✉) • B. Dworschak • H. Zaiser
Fraunhofer IAO, Stuttgart, Deutschland
E-Mail: wilhelm.bauer@iao.fraunhofer.de; bernd.dworschak@iao.fraunhofer.de;
Helmut.Zaiser@iao.fraunhofer.de

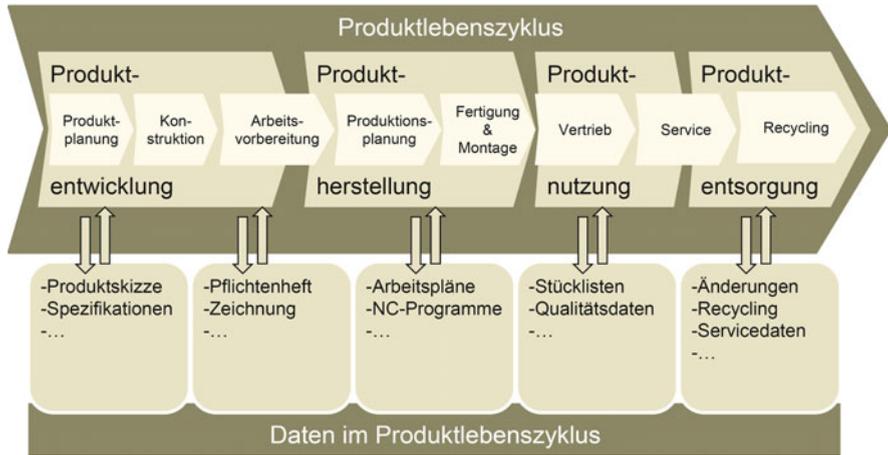


Abb. 1 Daten im Produktlebenszyklus. (Quelle: MFW und Fraunhofer IPA 2014, S. 9, nach Schuh 2006)

Die Lebenszyklusphasen der Produktentwicklung, -herstellung, -nutzung und -entsorgung sollen betriebs-, wenn nicht unternehmensübergreifend vernetzt werden. Die Vernetzung soll vor allem durchgängig integriert, ohne (Medien-)Brüche, z. B. aufgrund nicht-kompatibler Softwaresysteme erfolgen (vgl. Lindner und Friedewald 2008, S. 95–97). Über Durchgängigkeit hinaus, setzt die mit „Industrie 4.0“ anvisierte Flexibilität und Produktivität eine echtzeitnahe Synchronisierung der physischen Prozesse mit digitalen Daten und Modellen voraus. Wesentlich kennzeichnend für „Industrie 4.0“ ist demnach eine durchgängig-synchrone Integration von physischen Prozessen und digitalen Daten.

Wann kann nun aber von einer Industrie 4.0-Anwendung gesprochen werden und wann nicht? Die Strukturstudie zu Industrie 4.0 des Fraunhofer IPA (MFW und Fraunhofer IPA 2014, S. 39) stellt zur Beantwortung dieser Frage Indikatoren sowie ein Schema zur technologieneutralen Kategorisierung von Industrie 4.0-Anwendungen bereit (vgl. Abb. 2). Demzufolge können CPS in praktisch allen Bereichen entlang eines Produktlebenszyklus zum Einsatz kommen. Neben den direkten Bereichen wie Fertigung, Montage, Instandhaltung, Logistik, Lager und Versand kann dies auch indirekte Bereiche, wie die strategische Investitionsplanung, Entwicklung, Prozess-, Fabrik- und Produktionsplanung, Einkauf, Marketing, Vertrieb und Verwaltung bis hin zur Aus- und Weiterbildung betreffen. Damit ist eine grundlegende Perspektive von Industrie 4.0, nämlich die Ausrichtung von Produkten und Fabriken auf den gesamten Lebenszyklus, angesprochen. Ein zweiter Aspekt betrifft die konkreten Funktionen, die von und durch CPS in der Industrie 4.0 übernommen werden. Dabei umfasst das Spektrum möglicher Funktionen die Datenerfassung und -übernahme, Datenverwaltung, Erstellung, Bearbeitung, Simulation, Überwachung, Analyse, Auswertung, Visualisierung, Steuerung, Regelung sowie Maßnahmeneinleitung innerhalb der einzelnen Prozesse.

Einsatzbereiche	Funktionen	Räumliche Verteilung Funktionen	
		Lokal	Verteilt
Strategische Investitionsplanung	Datenerfassung und -übernahme	Lokal	Verteilt
Produktentwicklung	Datenverwaltung	Lokal	Verteilt
Prozessplanung und -entwicklung	Erstellung, Bearbeitung	Lokal	Verteilt
Fabrikplanung	Simulation	Lokal	Verteilt
Produktionsplanung	Überwachung	Lokal	Verteilt
Supply Chain Management	Analyse, Auswertung	Lokal	Verteilt
Beschaffung, Einkauf	Visualisierung	Lokal	Verteilt
Kundenauftragsmanagement	Steuerung, Regelung	Lokal	Verteilt
Marketing, Vertrieb	Maßnahmeneinleitung	Lokal	Verteilt
Fertigung, Montage			
Logistik			
Lager, Versand			
Instandhaltung			
After Sales, Service			
Management, Verwaltung			
Aus- und Weiterbildung			

Abb. 2 Schema zur technologieneutralen Kategorisierung von Industrie 4.0-Anwendungen (MFW und Fraunhofer IPA 2014, S. 39)

Für die Wirkung auf Arbeit und Beschäftigung stellen all diese Funktionen Substitutionspotentiale menschlicher Arbeit dar. Eine „echte“ Industrie 4.0-Anwendung bzw. Industrie 4.0-Arbeitsprozess wäre nach dieser Kategorisierung also nur dann und dort gegeben, wo physische Prozesse und digitale Daten von mindestens zwei Phasen des Produktlebenszyklus durchgängig-synchron integriert sind.

Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) oder auch Einzelkomponenten davon, wie Fließfertigung, Wertstromanalyse, Ordnung und Sauberkeit, eine vorausschauende Instandhaltung oder auch die Einführung eines Manufacturing Execution Systems (MES) können ein Hinweis auf Industrie 4.0 sein. Die positive Beantwortung folgender Fragen kann auf die Einführung von Industrie 4.0 hindeuten (Kleinhempel et al. 2015, S. 7): Gibt es z. B. den einen neuen Einsatz von Scannern, betrieblichen Smartphones und Tablets? Gibt es Veränderungen von Prozessen in Fertigung, Verwaltung und Logistik? Gibt es eine Produktionssteuerung in Echtzeit? Gibt es veränderte Montagelinien? Gibt es computergesteuerte Montageanleitungen? Gibt es ein neues MES (welches das alte Betriebsdatenerfassungssystem BDE/MDE und das Produktionsplanungs- und Steuerungssystem PPS ersetzt)?

Insgesamt zeigt sich, dass aufgrund der offenen Entwicklung von „Industrie 4.0“ noch keine eindeutigen Aussagen über Technologie-, Arbeitsorganisations- und damit verbundene Kompetenzentwicklungspfade gemacht werden können. Dies macht szenarienabhängige Einschätzungen erforderlich, die im Folgenden jeweils für die obere, mittlere und untere Qualifikationsebene getroffen werden. Die auch als Hochqualifizierte bezeichneten Angehörigen der oberen Qualifikationsebene sind Beschäftigte mit einem akademischen bzw. Hochschulabschluss. Die mittlere Qualifikationsebene wird von Fachkräften sowohl mit dualer Berufsausbildung oder Berufsfachschulabschluss als auch mit bundesweit anerkannten Fortbildungsabschlüssen (wie z. B. Meister, Techniker oder Prozessmanager) gebildet. An- und Ungelernte, als die Angehörigen der „unteren“ Qualifikationsebene, werden auch als „Werker“ bezeichnet (womit auch im Folgenden Werkerinnen und Werker gemeint sind).

2 Szenarien und mögliche Entwicklungspfade

In diesem Beitrag werden die szenarienabhängigen Einschätzungen nach den drei genannten Qualifikationsebenen in Verbindung mit zwei auf Windelband und Spöttl (2011) zurück gehende Extremszenarien bzw. polar entgegengesetzten Entwicklungsrichtungen getroffen.

Bei der ersten Richtung, dem „Automatisierungsszenario“, wird ein immer größer werdender Teil der Entscheidungen durch die Technik getroffen. Dies würde den Raum für autonome menschliche Entscheidungen und Handlungsalternativen immer weiter einschränken und wäre mit der Entstehung einer Kompetenzlücke verbunden: In einem zunehmend automatisierten System muss der Mensch nur noch in Störfällen eingreifen, aber zumindest die Mitarbeiter der unteren wie auch mittleren Qualifikationsebene könnten die dazu notwendigen Kompetenzen nicht mehr aufbauen.

Bei der zweiten Entwicklungsrichtung, die hier als „Spezialisierungsszenario“ bezeichnet wird, dient die Technik zur Unterstützung menschlicher Entscheidungen und somit von Problemlösungen. Im Vergleich mit dem „Automatisierungsszenario“ bleibt hier auch den Produktionsmitarbeitern zumindest der mittleren Qualifikationsebene ein wesentlich größerer Anteil der Entscheidungen überlassen, womit Prozessoptimierungen, Eingriffe bei Störungen und Problemlösungen, und damit vielfältigere, wenn nicht höhere Anforderungen verbunden sind.

Im Automatisierungsszenario werden die Aufgaben von den technischen Teilen des sozio-technischen Systems übernommen, in die nur Hochqualifizierte eingreifen können. Im Spezialisierungsszenario sind die Mensch-Technik-Schnittstellen so gestaltet, dass neben den Hochqualifizierten zumindest Fachkräfte der mittleren Qualifikationsebene mit der Technik interagieren können.

Die meisten oder ein großer Teil der Aufgaben, die im „Spezialisierungsszenario“ von Beschäftigten der mittleren Qualifikationsebene erfüllt werden, existieren auch

Automatisierungsszenario

Qualifikations-niveau	Entscheiden Steuern	Störungs- und Fehler-behebung	Ausführen
hoch	75%	75%	-
mittel	25%	25%	-
niedrig	0%	0%	-

Spezialisierungsszenario

Qualifikations-niveau	Entscheiden Steuern	Störungs- und Fehler-behebung	Ausführen
hoch	50%	40%	-
mittel	50%	40%	-
niedrig	0%	20%	-

Abb. 3 Anforderungsprofil Instandhaltung Industrie 4.0 – Schwerpunkte der Aufgabenverteilung

im „Automatisierungsszenario“. Allerdings werden sie im Automatisierungsszenario von hoch bzw. akademisch qualifizierten Beschäftigten (Produktionsmanagern, Prozess- und Softwareingenieuren) erfüllt – sofern sie nicht durch die Technik selbst übernommen werden.

Die tatsächliche Varianz der Kombinationen aus Technologieeinsatzvarianten und Organisationsformen dürfte die stärksten Auswirkungen auf den Anteil und die Kompetenzanforderungen an die Beschäftigten der mittleren Qualifikationsebene haben. Ein Teil der Tätigkeiten der Mittelqualifizierten, wie etwa bestimmte Kontroll- und Steuerungsaufgaben, werden möglicherweise vollständig substituiert oder automatisiert. In anderen Bereichen wird das Kompetenzanforderungsniveau durch die Anwendung neuer CPS-Technologien reduziert. So könnten beispielsweise Dispositionsentscheidungen zum Teil automatisiert werden (Lindner und Friedewald 2008).

Noch offen ist, welche der Szenarien in welcher Form sich endgültig durchsetzen werden. Diese Entwicklung wird von verschiedenen Faktoren abhängig sein, u. a. von der Art der Produktion, wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, Einführungsstrategien für neue Technologien sowie der Philosophie der Unternehmen. Die beiden Szenarien sollen mit Hilfe zweier Anwendungsfelder verdeutlicht und konkretisiert werden: der Instandhaltung und der Montage. Abb. 3 und 5 verdeutlichen idealtypische Schwerpunkte der Aufgabenverteilung unterschiedlicher Qualifikationsebenen in den Szenarien.

2.1 Instandhaltung

Vor allem durch Monitoringsysteme sollen im Zuge der Umsetzung von Instandhaltung im Rahmen der „Industrie 4.0“ Stillstand- und Ausfallzeiten von Produktionsanlagen weiter minimiert werden. Dabei ist zu erwarten, dass der Wartungszeitpunkt von intelligenten Produkten bzw. Anlagen erkannt und die Wartungsmaßnahme ausgelöst wird, sobald im Zuge der Implementation Daten über Lasten, Maschinen- und Verbrauchszustände in Echtzeit vorliegen (Biedermann 2014, S. 26). Damit sollen die Wartungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Belastungs- und Benutzungsintensität der Maschine oder Anlage flexibel festgelegt werden können.

Im Bereich der Inspektion wird vor allem die Weiterentwicklung der Sensoren die Identifikation des Anlagen- bzw. Bauteilzustandes und die damit verbundene Feststellung des Abnutzungsgrades, die Prognostizierbarkeit der Restnutzungs- und Lebensdauer wesentlich beeinflussen und damit die Einleitung effektiver Instandhaltungsstrategien verbessern. Damit können Betriebs- und Wartungsintervalle optimiert werden. Gleichzeitig werden die Veränderungen der Inspektionsmöglichkeiten auch das Aufgabenfeld der Instandhaltung beeinflussen. Die vorbeugende Instandhaltung könnte an Bedeutung gewinnen. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass die schadensbedingte Instandsetzung im Sinne eines „trouble shooting“ an Komplexität zunehmen wird (Hirsch-Kreinsen 2014, S. 39; Biedermann 2014, S. 26).

In einem Automatisierungsszenario der Instandhaltung in der Industrie 4.0 ist davon auszugehen, dass die Prozesse eher zentral gesteuert sein werden. Im Rahmen einer „Total Productive Maintenance“ (TPM), also der Maximierung der Anlagenproduktivität durch produktive Instandhaltung, ist zu erwarten, dass sich die Kernaufgaben verlagern werden. Geplante Instandhaltungen werden zentral geplant und gesteuert, teilweise eventuell sogar automatisiert. Für die vorbeugende Instandhaltung gilt dies auf ähnliche Art und Weise. Autonome Instandhaltungsaufgaben (Inspektions-, Reinigungs- und Schmierarbeiten sowie kleine Wartungsarbeiten durch Anlagenbediener) fallen größtenteils weg bzw. werden vom System oder zentral ausgelöst und beauftragt. Für die betroffenen Mitarbeiter in der Produktion verbleiben diesbezüglich lediglich ausführende Aufgaben (ohne echte Autonomie). Die Beseitigung von Schwerpunktproblemen kann lediglich von Hochqualifizierten durchgeführt werden.

Im Spezialisierungsszenario findet eine Weiterentwicklung von der vorbeugenden Instandhaltung zu einer wissensbasierten Instandhaltung statt, bei der Mitarbeiter Entscheidungen treffen und ihr Wissen in die Optimierung der Prozesse einbringen können. Dabei müssen die Daten der automatisierten Zustandsüberwachung über Anlagenzustände dem Mitarbeiter so zur Verfügung gestellt werden, dass sie zu dessen Unterstützung bei der Fehler-, Schadensbild- und Ursachenfindung dienen können. Autonome Instandhaltungsaufgaben verbleiben z. T. auf der unteren Qualifikationsebene, die Beseitigung von Problemen erfolgt durch die Kooperation spezialisierter TPM-Teams aus Experten und Facharbeitern, die über besonderes Anlagen-Know-how verfügen. In TPM-Workshops erarbeiten diese

interdisziplinären Teams beispielsweise Lösungen für zentrale Schwerpunktprobleme. Dabei wird eine der großen Herausforderungen die Beherrschung der Komplexität dieser Systeme sein. Eine Vielzahl von Informationen und Daten müssen richtig interpretiert und ausgewertet werden. Für die Beteiligten müssen die Daten und Informationen gezielt aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden.

Die Kategorie „Ausführen“ bleibt in Abb. 3 unbesetzt, da es sich hier im Falle der Instandhaltung nicht wie im Fall der Leichtbaurobotik und der Montage um direkte Produktionstätigkeiten, sondern um Dienstleistungstätigkeiten handelt.

2.2 Montage

Die Montage ist ein weiteres Feld von Industrie 4.0-Anwendungen. In teil- bzw. nahezu vollautomatisierten Montagesystemen findet sich eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten. So erkennen beispielsweise intelligente Montagestationen über einen RFID-Chip am Werkstück, wie das fertige Produkt zusammengestellt sein muss und welche Arbeitsschritte dazu notwendig sind. Displays zeigen den Mitarbeitern die entsprechenden Arbeitsanweisungen für die gerade zu bearbeitende Variante an. Einsatzmöglichkeiten von Industrie 4.0 in der Montage bestehen des Weiteren in der Informationslogistik für die Informationsbereitstellung zur richtigen Zeit am richtigen Ort in der richtigen Aufbereitung, der Nutzung von Social Media und mobilen Endgeräten in der Montage, in der Beseitigung von Medienbrüchen durch Datenerfassung und schnittstellenfreie Aufbereitung großer Datenmengen (Smart Data), in der Automatisierung zur Unterstützung und Entlastung manueller Arbeit (Leichtbauroboter) oder in der Informationsbereitstellung darüber, wo Material, Aufträge, Werkzeuge und Produkte sind (Tracking & Tracing) bzw. waren (Rückverfolgbarkeit).

Abb. 4 gibt eine Übersicht über sämtliche Funktionen der Montage, wobei offenbar wird, dass viele Funktionen in der Industrie 4.0 von der Technologie übernommen werden können.

Im Automatisierungsszenario einer Montage in der Industrie 4.0, in weiten Teilen also einer vollautomatisierten Montage entsprechend, ist davon auszugehen, dass nahezu alle Entscheidungen auf der Ebene der Hochqualifizierten getroffen werden. Entscheidungs- und Steuerungsaufgaben sind voraussichtlich so komplex, dass sie nahezu ausschließlich durch Hochqualifizierte gelöst werden müssen, sofern sie nicht bereits von der Technik übernommen werden. Für die Störungs- und Fehlerbehebung in derartigen Systemen gilt dies ebenso, wenngleich sehr erfahrene und spezialisierte Facharbeiter hier noch zum Einsatz kommen können, wenn auch in geringerem Umfang. Falls in solchen Systemen noch ausführende Aufgaben anfallen, so werden sie wahrscheinlich von Facharbeitern übernommen.

Im Spezialisierungsszenario für die Montage sind Entscheidungen und Steuerungsaufgaben ausgeglichener zwischen Hochqualifizierten und Facharbeitern verteilt. Durch die Dezentralität der Systeme und ihr praktisches Know-how der Anlagen sind Facharbeiter wichtige Akteure. Die Zusammenarbeit der beiden Ebenen bedarf allerdings neuer Formen der Kooperation und des Austausches. Gleiches gilt

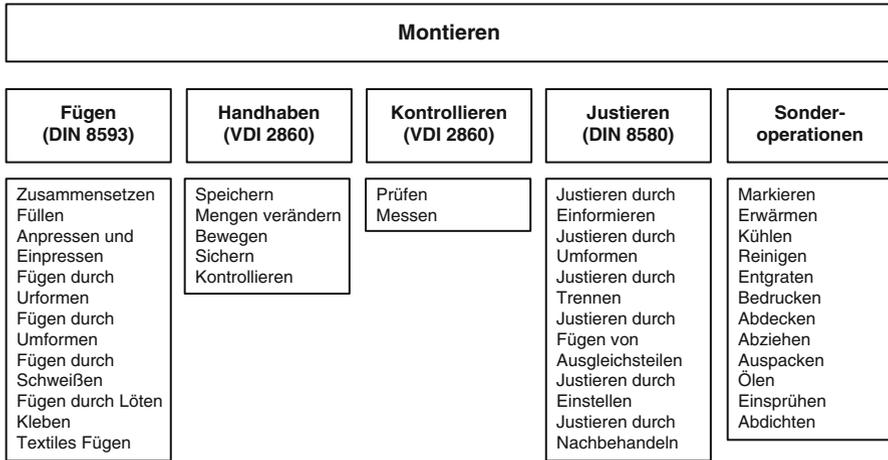


Abb. 4 Funktionen der Montage (eigene Darstellung nach Lotter 2012, S. 2)

Automatisierungsszenario

Qualifikations- niveau	Entscheiden Steuern	Störungs- und Fehler- behebung	Ausführen
hoch	100%	75%	-
mittel	-	25%	100%
niedrig	-	-	-

Spezialisierungsszenario

Qualifikations- niveau	Entscheiden Steuern	Störungs- und Fehler- behebung	Ausführen
hoch	50%	50%	-
mittel	50%	50%	75%
niedrig	0%	0%	25%

Abb. 5 Anforderungsprofil Montage Industrie 4.0 – Schwerpunkte der Aufgabenverteilung

für die Aufgaben und die Aufteilung im Rahmen der Störungs- und Fehlerbehebung. Wie im Automatisierungsszenario ist anzunehmen, dass verbleibende ausführende Aufgaben aufgrund ihrer Komplexität vornehmlich von Facharbeitern übernommen werden, wenngleich sich hier noch am ehesten Einsatzmöglichkeiten für An- und Ungelernte eröffnen, sofern diese über entsprechendes System- und Erfahrungswissen verfügen (Abb. 5).

3 Ermittlung von Kompetenzanforderungen in der Industrie 4.0

Wie können nun Kompetenzanforderungen in der Industrie 4.0 ermittelt werden? Der Beitrag beschreibt im Folgenden die „Früherkennung von Qualifikationsanforderungen“ sowie zunächst das „Tätigkeitsbewertungssystem (TBS)“ stellvertretend für eine Reihe von Verfahren und Ansätzen mit entsprechenden Methoden. Die Ausgangsbasis sind jeweils Überlegungen, welche Auswirkungen die Einführung der entsprechenden Industrie 4.0-Anwendung aktuell oder auch zukünftig auf die abgeforderte Kompetenz der betroffenen Beschäftigten hat. Folgende Leitfragen stehen dabei aus der Perspektive der jeweiligen Beschäftigtengruppe (Werker, Facharbeiter, Hochqualifizierte) im Mittelpunkt:

Was bedeutet die Einführung der Industrie 4.0-Anwendung für die Arbeitsaufgaben bzw. Tätigkeitsprofile der betrachteten Beschäftigtengruppe? Was sind typische Veränderungen der Arbeitsaufgaben und Tätigkeitsprofile, die durch die Einführung der Industrie 4.0-Anwendung hervorgerufen werden? Welche Aufgaben kommen hinzu, welche Aufgaben entfallen, welche Aufgaben gewinnen an Bedeutung, welche Aufgaben werden „vom System“ übernommen? Welche neuen Kompetenzen sind beispielsweise durch die Einführung neuer IT-Prozesse im Zuge von Industrie 4.0 für die betrachtete Beschäftigtengruppe erforderlich (entlang der Daten der Wertschöpfungskette: Arbeitsvorbereitung, Auftrag, Dokumentation, Wartung, Prozess/Produkt/Anlage, Service, Recycling)? Welche sind die entsprechenden Schlüsselkompetenzen? Gibt es neue Kooperationsanforderungen und Anforderungen an Teamarbeit (mit vor- und nachgelagerten Bereichen)?

Das „Tätigkeitsbewertungssystem (TBS)“ (Hacker et al. 2003) bietet hierfür eine Vielzahl an Anregungen und eine Vorgehensweise zur systematischen Ermittlung der Veränderungen für die Arbeitsaufgaben und Tätigkeitsprofile der jeweiligen Beschäftigtengruppe. Ausgewählte Merkmale betreffen z. B. (TBS o. J.):

- Ermittlung der Vielfalt und Variabilität von Teiltätigkeiten oder Teilaufgaben,
- Einstufung der Vollständigkeit der Tätigkeitsstruktur,
- Art und Ausmaß der übertragenen Vorbereitungstätigkeiten,
- Übertragene Organisationsfunktionen,
- Erforderliche Informationen über die Arbeitsorganisation,
- Art der Mensch-Maschine oder Mensch-Rechner-Interaktion,
- Umfang zeitlicher Freiheitsgrade bei der Auseinandersetzung mit vorhersehbaren Ereignissen,
- Bekanntheit beziehungsweise Unbekanntheit der Problemkomponenten,
- Zeitlicher Umfang und Inhalte erforderlicher Kooperation und Kommunikation mit Arbeitskollegen,
- Geforderte berufliche Vorbildung sowie
- Bleibende arbeitsbedingte Lernerfordernisse.

Mit der „Früherkennung von Qualifikationsanforderungen“ sollen neue oder veränderte Kompetenzanforderungen „früh“, d. h. hier bereits im Entstehen

erkannt werden. Dies ist nur mit Forschungsansätzen möglich, die mit zukunftsgerichteten, qualitativen Methoden verbunden sind. Die Forschungsergebnisse der Früherkennung beziehen sich auf einen Zeithorizont von zwei bis fünf Jahren. Die Fragestellung der Qualifikationsfrüherkennung lautet demnach nicht, wie viele Arbeitskräfte mit einem bestimmtem, vorhandenen Beruf in zehn bis 15 Jahren benötigt werden, sondern welche neuen oder veränderten Kompetenzen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in den nächsten zwei bis fünf Jahren gefragt sein werden.

Im Rahmen der am Fraunhofer IAO vernetzten Initiative zur Früherkennung von Qualifikationserfordernissen (www.frequenz.net) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wurden in einer Reihe von Projekten verschiedene Ansätze mit einem unterschiedlichen Mix von zukunftsgerichteten, überwiegend qualitativen Methoden durchgeführt. Neben dem „Berufswissenschaftlichen Ansatz zur Früherkennung von Qualifikationsbedarf“ (Spöttl und Windelband 2006), gehören hierzu vor allem zwei Ansätze (Abicht et al. 2007). Zum einen das auf Früherkennung von Veränderungen in der Arbeit und den Betrieben gerichtete „ADEBar“-Verfahren von Infratest Sozialforschung und Fraunhofer IAO. Zum anderen ein vom Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung (isw) entwickelter Ansatz, der sich auf „Trendqualifikationen“ bezieht, die zunächst nur in „Trendsetterunternehmen“ zu identifizieren sind, von denen aber angenommen werden kann, dass sie in zwei bis fünf Jahren breiter nachgefragt werden.

Der Mix qualitativer Methoden des Trendqualifikationsansatzes des isw kommt in vier Untersuchungsschritten zur Anwendung: Zunächst erfolgt eine Auswertung unterschiedlicher Datenquellen im Blick auf Entwicklungstrends, die neue Qualifikationsbedarfe auslösen oder beeinflussen könnten. Dann werden sekundär vorhandenes Expertenwissen und selbst durchgeführte Experteninterviews zur Identifikation von spezifischeren Trends im engeren Untersuchungsfeld sowie zur Auswahl von Trendsetterunternehmen und Schlüssellieferanten ausgewertet. Wahrscheinlich neu entstehende Kompetenzanforderungen und -profile werden dann gemeinsam mit Insidern aus dem Untersuchungsfeld, den Trendsetterunternehmen und Schlüssellieferanten aus der entwicklungsperspektivischen Untersuchung von Arbeitstätigkeiten abgeleitet. Im letzten Schritt dienen Expertenworkshops zur Validierung der Ergebnisse.

Der Trendqualifikationsansatz wurde unter anderem im FreQueNz-Projekt zum Bereich „Smart House“ angewandt. Dabei wurden neu entstehende und in den nächsten Jahren wahrscheinlich breiter nachgefragte Kompetenzanforderungen in Verbindung mit Gebäuden untersucht, die mit Technologien ausgestattet werden, die einen (teil-)autonomen oder automatisierten Gebäudebetrieb ermöglichen. Im Ergebnis wurden fünf Qualifikationsprofile identifiziert, die eine neue Kombination von Kompetenzanforderungen aufweisen. Unter anderem das Profil „Systemintegration“, das einer neuen Kombination von Elektronik- und IT-Anforderungen entspricht. Dessen Schwerpunkt liegt bei Anforderungen durch die Integration von Teilsystemen, wie etwa Audiosystemen, in das übergeordnete Haussystem und durch Vernetzung, z. B. der Sicherheitstechnik mit der Möglichkeit von Fernzugriffen durch „Facility Management“-Dienstleister (FreQueNz 2011).

Während für das Untersuchungsfeld „Smart House“ recht eindeutige Profile aus bestehenden und neu entstehenden Anforderungen identifiziert werden konnten, können für Felder mit einer noch offeneren Entwicklung wie „Industrie 4.0“ häufig noch keine so hinreichend eindeutigen Einschätzungen über wahrscheinliche Kompetenzentwicklungen getroffen werden. Die Arbeit mit Szenarien, wie sie in diesem Beitrag beschrieben werden, ist eine Möglichkeit, mit dieser Schwierigkeit umzugehen.

4 Weiterbildung in der Industrie 4.0

Es ist davon auszugehen, dass zur Kompetenzsicherung für offene Entwicklungsbereiche wie Industrie 4.0, eine anpassungsfähige Weiterbildung bzw. stetige Kompetenzentwicklung besonders wichtig ist. Dies lässt sich bereits anhand des Ausschnitts der produktionsnahen I4.0-Arbeit aufzeigen. Mit Blick auf den Produktlebenszyklus (in Abb. 1) findet die produktionsnahe Arbeit in der Phase der Produktherstellung statt. „Industrie 4.0“ bedeutet hier eine möglichst (daten- und medien-)bruchlose Integration der Fertigung und Montage mit der Produktionsplanung.

Es sei bewusst wiederholt, dass dies in Unternehmen, die eher dem Automatisierungsszenario folgen, von den technischen Teilen des sozio-technischen Systems übernommen wird, in die nur Hochqualifizierte eingreifen können. Im Spezialisierungsszenario sind die Mensch-Technik-Schnittstellen so gestaltet, dass neben den Hochqualifizierten zumindest Fachkräfte der mittleren Qualifikationsebene mit der Technik interagieren können.

In beiden Fällen ist Prozesskompetenz in zweifacher Hinsicht erforderlich: Zum einen zumindest ein die Phasen der Produktentwicklung und Produktherstellung übergreifendes Prozessverständnis mit überfachlichen Kompetenzen zur Kommunikation und Kooperation. Zum anderen Kompetenzen nicht nur in Bezug auf die physischen, sondern auch auf die digitalen Prozesse. Die fachlichen Anforderungen betreffen ein breites Feld von Fähigkeiten und Kenntnissen über Mechanik und Elektronik, Mikrosystemtechnik, Automatisierung sowie Produktions-IT und vor allem deren Integration.

Hinsichtlich der „oberen Qualifikationsebene“ bzw. hochschulischen Ausbildung scheinen für Industrie 4.0 derzeit zwei entgegengesetzte Arten von Studiengängen relevant zu sein: zum einen klassische, grundständige Studiengänge, wie z. B. Maschinenbau, Elektrotechnik oder Informatik, zum anderen enger spezialisierte Bachelorstudiengänge, wie beispielsweise Mikrosystemtechnik, Energietechnik oder IT-Sicherheit. Wie für andere Bereiche, in denen unterschiedliche Technologien konvergieren, wird für Industrie 4.0 sowohl die Notwendigkeit von interdisziplinärem Verständnis, Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit als auch von stärker interdisziplinär angelegten Studiengängen gesehen. Zumindest unter dem Blickwinkel der Eignung für Industrie 4.0 gibt es solche Studiengänge bisher wohl nur vereinzelt (vgl. Die Länder der Bundesrepublik Deutschland und Bundesagentur für Arbeit 2014). Ein breiteres Angebot scheint vor 2020 eher nicht erwartet zu werden (vgl. BMBF o. J.).

Auf der mittleren Qualifikationsebene sind die „produktionstechnologischen“ Berufe entstanden, die auf einem integrativen produktionstechnologischen Ansatz beruhen und nicht mehr ausschließlich den Metall-, Elektro- oder IT-Berufen zugeordnet werden können (vgl. Schlausch und Zinke 2009; Zinke und Wasiljew 2011). Neben Mechatroniker/-in, handelt es sich hauptsächlich um die Berufe Mikrotechnologe/-in und Produktionstechnologe/-in. Für die beiden letzteren bestehen Fortbildungsregelungen zum Prozessmanager bzw. zur Prozessmanagerin mit verschiedenen Spezialisierungsrichtungen. Die Ausbildungen der Mikrotechnologen und Produktionstechnologen sind auf Prozessbeherrschung ausgerichtet, wobei ein Schwerpunkt des Profils der Produktionstechnologen auf der Verbindung der direkten Produktherstellung mit Planung und Konstruktion liegt.

Doch selbst vor dem Hintergrund des Profils der Produktionstechnologen zeigen sich Gründe, warum weder die (hoch-)schulischen noch dualen Ausbildungen zur nachhaltigen I4.0-Kompetenzsicherung ausreichen. So decken selbst die produktionstechnologischen Berufe und relevanten hochschulischen Ausbildungen nicht das gesamte, bereits heute für die produktionsnahe I4.0-Arbeit erforderliche Spektrum an Kenntnissen und Fähigkeiten ab. Dies bedeutet, dass Weiterbildung sowohl zur Ergänzung und Erweiterung fachlicher Kenntnisse und Fähigkeiten als auch hinsichtlich der Kooperation in Teams aus Mitarbeitern unterschiedlicher (Fach-)Bereiche und Disziplinen notwendig ist. Wenn dies schon auf die Erwerbspersonen mit den relevantesten Ausbildungen zutrifft, dann umso mehr sowohl auf Werkerinnen und Werker als auch auf Angehörige der mittleren Qualifikationsebene, die noch nicht über die mit den neueren Abschlüssen verbundenen Kompetenzen verfügen.

Die tatsächliche, konkrete Kombination aus fachlichen und Kooperationsanforderungen hängt von der Kombination aus Organisationsformen und Technologieeinsatzvarianten ab, die ein Unternehmen für den jeweiligen Betrieb wählt. So muss auch Weiterbildung für Industrie 4.0 in anpassungsfähiger Weise auf die Aufgaben zur Beherrschung der Prozesse des betreffenden Betriebes ausgerichtet sein. Gleichzeitig sollte ein Weiterbildungskonzept überbetrieblich zertifizierbare Teile enthalten, um die Mobilität der Arbeitnehmer und ihrer Kompetenzen in und für die relevanten Branchen überbetrieblich zu sichern.

Aufgrund der nach wie vor sehr offenen weiteren Entwicklung des Feldes, gehört Industrie 4.0 zu den Feldern, in denen zuerst besonders stetig anzupassende Weiterbildungsaktivitäten notwendig sind, bevor sich die in einer gewissen Breite geforderten Kompetenzen herauskristallisieren und in duale sowie (hoch-)schulische Ausbildungen einfließen können.

Um die neuen und unvorhergesehenen Anforderungen erfüllen zu können, die für innovative Felder charakteristisch sind, sollte Weiterbildung Kompetenzentwicklung sein. Denn wie Röben (2005) unter Anlehnung an Bergmann et al. (2000) schreibt, handelt es sich bei Kompetenz um die Befähigung zur Weiterentwicklung von Wissen und Können, um gleichzeitig selbst umso deutlicher zu machen, dass diese Befähigung erschlossen und entwickelt werden muss.

Wie erwähnt, sollte ein Weiterbildungskonzept für Unternehmen überbetriebliche Teile beinhalten. Kompetenz scheint jedoch am wesentlichsten dadurch entwickelt zu werden, dass Mitarbeiter in den betrieblichen Arbeitsprozessen lernen, Aufgaben

zu erfüllen, die sie zuvor noch nicht beherrscht haben (Bremer 2005, S. 287). Ein Hauptbestandteil eines Weiterbildungskonzeptes für Unternehmen sollte deshalb ein lern- und kompetenzförderliches „Lernen im Prozess der Arbeit (LiPA)“ sein (Dehnbostel 2007; Schneider und Wilke 2005; Schröder 2009): Dabei werden die Arbeitsaufgaben durch Lernaufgaben und durch Lernformen wie etwa Lerninseln, Lernstationen oder Communities of Practice erweitert. Das Lernen soll sowohl selbstgesteuert als auch unterstützt mit Beratungs- und Begleitkonzepten erfolgen. Zu einem lern- und kompetenzförderlichen LiPA-Konzept gehört eine Arbeitsgestaltung, die sich an sechs Soll-Merkmalen von Arbeit orientiert:

- (1) Abwechslungsreichtum;
- (2) Handlungsspielraum;
- (3) Vollständigkeit der Handlung (Einbindung nicht nur in Ausführung, sondern auch Orientierung, Planung, Kontrolle);
- (4) Problemhaltigkeit: Aufgaben, die Problemlösungen fordern, aber nicht überfordern;
- (5) soziale Unterstützung: Aufgaben, die kooperatives Verhalten oder Vorgehen fördern;
- (6) qualifikatorischer Nutzwert: steigt, wenn in der Arbeit Kenntnisse und Fertigkeiten erworben werden, die an zukünftigen Arbeitsplätzen angewandt werden können.

Eine lern- und kompetenzförderliche Wirkung dieser Arbeitsmerkmale hängt neben der entsprechenden Gestaltung der Arbeitsaufgaben von Arbeitsorganisation und Unternehmenskultur ab.

Literatur

- Abicht L, Bott P, Dworschak B, Galiläer, L (Hrsg) (2007) Auf der Suche nach neuen Qualifikationen. Methoden der Früherkennung von Qualifikationsentwicklungen. Qualifikationen erkennen – Berufe gestalten, Bd 13. wbv, Bielefeld
- Bergmann B, Fritsch A, Göpfert P, Richter F, Wardanjan B, Wilczek S (2000) Kompetenzentwicklung und Berufsarbeit. Waxmann, Münster
- Biedermann H (2014) Anlagenmanagement im Zeitalter von Industrie 4.0. In: Biedermann, H (Hrsg) Instandhaltung im Wandel. Industrie 4.0 – Herausforderungen und Lösungen. TÜV Media, Köln, S 23–32
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (Hrsg) (o. J.) Zukunftsbild „Industrie 4.0“. Bonn. http://www.bmbf.de/pubRD/Zukunftsbild_Industrie_40.pdf. Zugriffen am 26.03.2015
- Bremer R (2005) Lernen in Arbeitsprozessen – Kompetenzentwicklung. In: Rauner F (Hrsg) Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv, Bielefeld, S 282–295
- Dehnbostel P (2007) Lernen im Prozess der Arbeit. Waxmann, Münster
- Die Länder der Bundesrepublik Deutschland, Bundesagentur für Arbeit (Hrsg) (2014) www.studienwahl.de. Thema des Monats. „Industrie 4.0“ – Digitalisierung in der Produktion (Stand 19.11.2014). <http://studienwahl.de/de/thema-des-monats/-industrie-4-digitalisierung-in-der-produktion01629.htm;jsessionid=CCDCE390C8AE6141027A77E8577CC850>. Zugriffen am 26.03.2015

- FreQueNz (2011) Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge im Bereich Smart House. Zusammenfassung der Studienergebnisse. http://www.frequenz.net/uploads/tx_freqprojerg/Summary_SmartHouse_final_01.pdf. Zugegriffen am 26.03.2015
- Hacker W, Fritsche B, Richter P, Iwanowa A (2003) Tätigkeitsbewertungssystem TBS. Verfahren zur Analyse, Bewertung und Gestaltung von Arbeitstätigkeiten. vdf, Zürich
- Hirsch-Kreinsen H (2014) Forschungsfragen und Entwicklungsstrategien. Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg) Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin, S 37–42. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/zukunft-der-arbeit-in-industrie-4-0.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>. Zugegriffen am 03.01.2015
- Kleinhempel K, Satzer, A, Steinberger, V (2015) Industrie 4.0 im Aufbruch? Ein beispielhafter Ausschnitt aus dem betrieblichen Stand. Mitbestimmungsförderung, Report Nr. 05.01.2015. http://www.boeckler.de/pdf/p_mbf_report_2015_5.pdf. Zugegriffen am 29.01.2015
- Lindner R, Friedewald M (2008) Ubiquitäres Computing und seine Auswirkungen auf die Industriearbeit. Arbeit 17(2):91–105
- Lotter B (2012) Einführung. In: Lotter B, Wiendahl H-P (Hrsg) Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis, 2. Aufl. Springer, Berlin/Heidelberg, S 1–8
- MFW BW, Fraunhofer IPA (Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA) (Hrsg) (2014) Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg“. SV Druck + Medien, Balingen. http://mfw.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mfw/intern/Dateien/Downloads/Industrie_und_Innovation/IPA_Strukturstudie_Industrie_4.0_BW.pdf. Zugegriffen am 24.02.2015
- Röben P (2005) Kompetenz- und Expertiseforschung. In: Rauner F (Hrsg) Handbuch Berufsbildungsforschung. wbv, Bielefeld, S 247–254
- Schlausch R, Zinke G (2009) Produktionstechnologische Ausbildungsberufe – Ausdruck eines Wandels in der gewerblich-technischen Berufsbildung. Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (bwp) 3/2009:40–43. <http://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/bwp/show/id/1714>. Zugegriffen am 25.03.2015
- Schneider P, Wilke J (2005) Arbeitsintegrierte Ansätze der Personalentwicklung. In: Ryschka J, Solga M, Mattenklott A (Hrsg) Praxishandbuch Personalentwicklung. Springer Gabler, Wiesbaden, S 117–136
- Schröder T (2009) Arbeits- und Lernaufgaben für die Weiterbildung. Eine Lernform für das Lernen im Prozess der Arbeit. wbv, Bielefeld
- Schuh G (2006) Produktionsplanung und -steuerung, 3. Aufl. Springer, Berlin/Heidelberg
- Spöttl G, Windelband L (2006) Berufswissenschaftlicher Ansatz zur Früherkennung von Qualifikationsbedarf. Europäische Zeitschrift für Berufsbildung 2006(3):72–91
- TBS, Tätigkeitsbewertungssystem – IPQR-Datenbank (ohne Jahr) <http://www.assessment-info.de/assessment/seiten/datenbank/vollanzeige/vollanzeige-de.asp?vid=305>. Zugegriffen am 15.09.2015
- Windelband L, Spöttl G (2011) Konsequenzen der Umsetzung des „Internet der Dinge“ für Facharbeit und Mensch-Maschine-Schnittstelle. FreQueNz-Newsletter 2011, S 11–12. http://www.frequenz.net/uploads/tx_freqprojerg/frequenz_newsletter2011_web_final.pdf. Zugegriffen am 29.06.2015
- Zinke G, Wasiljew E (2011) Implementation der Aus- und Fortbildungsberufe Produktionstechnologe/Produktionstechnologin, Prozessmanager/Prozessmanagerin. Abschlussbericht Entwicklungsprojekt 4.0.875. Bonn. https://www2.bibb.de/bibbtools/tools/fodb/data/documents/pdf/eb_40875.pdf. Zugegriffen am 25.03.2015

Verkürzte Entscheidungsfindung in der Produktion

Erweiterte Remote-Unterstützung mit Hilfe mobiler Endgeräte

Marcus Defranceski

Zusammenfassung

Technologischer Fortschritt hilft die Effizienz von Produktionssystemen stetig zu steigern. Auch der Mensch inmitten dieser Systeme ist darauf angewiesen neue Technologien zur Unterstützung seiner täglichen Arbeit zu erhalten. Damit Mitarbeiter gezielt und schnell die Hilfe anderer hinzuziehen können, wird ein Video- und Audio-Livestream zwischen Smartphones aufgebaut. Über diesen können spezifische Situationen diskutiert werden ohne dass alle Personen anwesend sein müssen, wobei grafische Interaktionsmöglichkeiten aller Teilnehmer die Kommunikation wesentlich vereinfachen. Augmented Reality wird genutzt, um die daraus gewonnenen Informationen nachhaltig zur Verfügung zu stellen.

1 Einführung

Die Anforderungen an eine Produktion und deren Mitarbeiter steigen stetig. Der technologische Wandel beeinflusst die Produktion, alte Maschinen bekommen Upgrades, werden ersetzt oder in ihrem Prozess durch weitere Anlagen einer ganz neuen Generation ergänzt.

Arbeitsprozesse und Umgangsformen ändern sich, müssen aber allen Maschinengenerationen gerecht werden. Sind bei alten Anlagen für eine Einschätzung des aktuellen Zustandes oder bei der Fehlersuche beispielsweise noch ein geschulter Blick und ein gutes Gehör maßgeblich, können neueste Anlagen, ausgestattet mit einer Vielzahl an Sensoren, deutlich mehr softwaregestützte Funktionen anbieten und präzisere Informationen über sich preisgeben. Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten an den Maschinen werden angepasst. Je nach Sachverhalt kann

M. Defranceski (✉)

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland

E-Mail: marcus.defranceski@ipa.fraunhofer.de

beispielsweise der Prozessingenieur, Servicetechniker, Elektroniker, Mechaniker oder auch Informationstechniker gefragt sein. Nicht selten sind allerdings Situationen, bei denen zeitgleich aus mehreren Fachbereichen Expertise gefragt ist. Die Anforderungen an jeden einzelnen Mitarbeiter sind sehr hoch. Problemursachen lassen sich häufig nicht mehr nur einem Fachbereich zuordnen, die Kommunikation untereinander ist wichtiger geworden. Neue unterstützende Technologien, die in die Produktion mit einfließen, fallen den jungen Leuten in der Anwendung oft leichter. Das Verständnis komplexer Zusammenhänge in der laufenden Produktion oder auch das Einschätzen von Problemsituationen benötigt meist jedoch langjährige Erfahrung. Dies macht einen Austausch zwischen den Generationen für ein Unternehmen besonders wertvoll. In einem derartigen Umfeld sind daher eine sehr hohe Lernbereitschaft aber auch interdisziplinäres Handeln und Denken wichtige Anforderungen an den Mitarbeiter. Dies gilt über alle Altersgruppen hinweg.

Die Entwicklungen im Umfeld von Industrie 4.0 ermöglichen einen hohen Grad an Automatisierung, insbesondere, was den Umgang mit Informationen betrifft. Integration neuer Anlagen und Applikationen werden erleichtert, Analysen, Planungen und Vorhersagen auch Anweisungsempfehlungen und Fehlerunterstützungen werden der aktuellen Situation entsprechend bereitgestellt. Trotz hoher Automatisierung im Hardware- wie auch Softwarebereich wird der Mensch weiterhin unverzichtbar sein. Laut einer Studie des Fraunhofer Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation zur Produktionsarbeit der Zukunft (Spath 2013) bildet der Mensch weiterhin die zentrale Größe im Gesamtsystem. Dabei spielt die menschliche Arbeit in der Produktion für über 60 % aller Befragten auch in Zukunft eine sehr wichtige Rolle.

Der Mitarbeiter wird weiterhin flexibel agieren und situationsspezifisch entscheiden müssen. In Problemfällen, wie auch in für einen Mitarbeiter noch neuen oder unerfahrenen Situation ist häufig eine Zweitmeinung hilfreich um schneller zu einem Entschluss zu kommen. Besonders bei akuten Problemen ist ein kurzfristiger Zusammenschluss mehrerer Personen von Vorteil, wenn ein möglichst breites Fehlerspektrum abgedeckt und diskutiert werden soll. Hier können die Erfahrungswerte der einzelnen Personen optimal genutzt werden um geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Um Personen optimal einzubeziehen, welche nicht vor Ort sein können, ist der Austausch von visuellen Informationen besonders wichtig (Fussell et al. 2000).

Nachfolgend werden erste Lösungen einer prototypischen Entwicklung aus einem laufenden internen Forschungsprojekt am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung aufgezeigt. Dabei werden aktuell Anwendungen entwickelt, welche den Informationsaustausch zwischen Menschen, die im Produktionsumfeld tätig sind, verbessert. Ziel ist es, in Problemsituationen aber auch bei Unsicherheit mit Hilfe einer beidseitig mobilen Remoteapplikation flexibel Unterstützung durch weitere Personen zu erlangen. Dadurch sollen Entscheidungen für den jeweiligen Mitarbeiter schneller herbeigeführt werden können aber auch der Erfahrungsaustausch und somit das Lernen des Einzelnen soll gefördert werden.

2 Existierende Ansätze zur Remoteunterstützung

Noch vor nicht allzu langer Zeit wurde die Einarbeitung an Maschinen lediglich durch den Maschinenverantwortlichen, durch gedruckte Handbücher, oder digitale Dokumente, welche nur am Arbeitsplatz bzw. zentralen Rechnern verfügbar waren, unterstützt. Das Durcharbeiten von Handbüchern oder die Suche nach bestimmten Hilfestellungen ist in gedruckten Dokumenten oft mühselig und zeitraubend. Digitale Dokumente zu durchsuchen ist wesentlich einfacher, zumindest wenn entsprechende Geräte zum Lesen verfügbar sind. Mit dem Einzug von Laptops und letztlich durch mobile Geräte in der Produktion ist die Arbeit mit digitalen Dokumenten an der Maschine kein Problem mehr. Auch haben dadurch neue Medien wie Videos erweiterte Möglichkeiten bei der Einarbeitung und bei Hilfestellungen eröffnet. Lediglich die Aktualität, wie auch die Spezifizierung der Dokumente und Videos auf den eigenen Anwendungsfall bleibt eine Herausforderung. Dafür ist für spezifische Problemlösungen wie auch individuelle Bedienungen der erfahrene Mitarbeiter eine sehr gute Anlaufstelle. War es früher noch aufwendig mit den richtigen Personen schnell in Kontakt zu treten, ist spätestens seit dem Mobiltelefon die Erreichbarkeit kein Problem mehr. Allerdings ist die Zeit dieser Mitarbeiter oft knapp bemessen. Daher sollten wiederholte Fragen um denselben Sachverhalt möglichst vermieden und Laufstrecken innerhalb der Firma, sowie Wartezeiten minimiert werden. Eine zusätzliche Schwierigkeit ist allerdings, dass bei komplexeren Anlagen oft mehrere unterschiedliche Experten bei einer Problemlösung notwendig sind, ein gemeinsamer Zeitpunkt aber schwerer zu finden ist.

Die Unterstützung durch und Zusammenarbeit mit externen Serviceteams und Zulieferern wurde schon früh technologisch bestmöglich unterstützt. Jeglicher Fortschritt bei mobilen Technologien, vom Handy über Laptops bis hin zum Smartphone half den Service flexibler und gleichzeitig planbarer zu gestalten. Über Remotezugriffe können schon lange Anlagenzustände analysiert, Situationen besser eingeschätzt und manche Fehler behoben werden. Ein klares Bild der Lage vor Ort konnte jedoch lange Zeit nur mühsam vermittelt werden. Aufwendige Erklärungen über das Telefon und versendete Bilder und Videos gaben nur langsam Aufschluss über den aktuellen Sachverhalt. Dank leistungsfähiger mobiler Technologien gibt es mittlerweile Lösungsansätze, welche mittels Video-Livestream und Fotos Eindrücke vor Ort an eine Servicestelle senden. Diese kann den Mitarbeiter anweisen und auch grafisch im Livebild dem Mitarbeiter Hilfestellung leisten. Augmented Reality (AR) ist hier der entscheidende Vorteil, da nun nicht nur verbal sondern auch visuell interagiert werden kann. Dies ermöglicht deutlich präzisere Anweisungen und hilft auch komplexere Fragestellungen zu erörtern. In einem Gemeinschaftsprojekt der Fachhochschule Osnabrück, Testia, Innovation Works und EADS (Kolesnikow et al. 2013) wurde eine Lösung entwickelt, welche am Beispiel der Flugzeugwartung eine Wartungsunterstützung zur Durchführung von zerstörungsfreien Tests in Kombination mit einem Online-Wartungsassistenten ermöglicht. Ein Tablet PC mit eingebauter Kamera, ein Mobiltelefon und ein

Ultraschall-Messgerät auf der Seite des Werkers, sowie ein Desktoprechner auf Seiten des Experten werden benötigt um eine Onlineverbindung aufzubauen. Mehrere Experten können hierbei parallel eine Verbindung aufbauen. Nach Aufbau der Verbindung ist es den Experten möglich die Messdaten auszuwerten und dem Operator mit Hilfe von Zeigern oder Freihandformen sowie über Audio genaue Anweisungen zu geben. In einem anderen Projekt wurde ein System zur kollaborativen Tele-Assistenz (Bottecchia et al. 2010) entwickelt, welches einem Operator über ein monokular orthoskopisches Head Mounted Display erlaubt, Anweisungen von Experten, welcher an seinem PC sitzt, zu erhalten. Im Wesentlichen kann der Experte den Operator mit den Funktionen Picking, Outlining und Adding Anweisungen geben. Beim Picking stehen beispielsweise Kreise und Pfeile zur Verfügung um auf Objekte zu zeigen, mit Outlining sollen farbige Umrandungen erzeugt werden und Adding erzeugt dreidimensionale AR-Animationen wobei es hier einen Katalog an vordefinierten Objekten für die zu wartenden Objekte gibt. Ein weiteres Beispiel für einen erweiterten Remote Support bietet die Firma Trumpf GmbH + Co. KG an. Zusätzlich zum Zugriff auf die Anlage ermöglicht der Visual Online Support (VOS) den Kontakt zu einem Trumpf Servicecenter aufzubauen. Angeleitet durch den Experten kann der Mitarbeiter vor Ort beispielsweise gerade aufgenommene Fotos mit dem Servicecenter teilen. Anschließend kann der Trumpf-Experte dem Operator darin grafisch aufzeigen, welche Objekte aktuell von Bedeutung sind und so den Sachverhalt genauer erläutern (Visual Online Support 2015).

Eine Anwendung für eine Remoteunterstützung, welche hauptsächlich von eigenen Mitarbeitern unter Verwendung handelsüblicher mobiler Geräte genutzt wird und zusätzlich die gewonnenen Informationen anderen Mitarbeitern zugänglich macht, lässt sich mit den vorgestellten Lösungen bisher nicht realisieren.

3 Anwendungsfokus

Im Rahmen eines internen Forschungsprojektes zur Entwicklung mobiler Remote-Assistenz-Systeme am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung werden Möglichkeiten gesucht den Informationsaustausch zwischen Personen nachhaltig zu fördern. Im Fokus stehen dabei mehrere Aspekte. Um eine optimale Erreichbarkeit von Personen zu gewährleisten muss eine mögliche Lösung vor allem von handelsüblichen Smartphones und Tablets ausführbar sein. Anstelle eines weisungsorientierten Systems sollen Interaktionen und Diskussionen auch zwischen mehreren Personen möglich sein um komplexere Sachverhalte schneller verständlich zu machen. Damit kleine und mittelständische Unternehmen direkt von der Lösung profitieren, soll die Anwendung auch ohne eigenen Implementierungsaufwand und mit minimalem Integrationsaufwand genutzt werden können. Eine geringe Einarbeitungszeit und einfache Handhabung sollen die Akzeptanz bei den Mitarbeitern erhöhen. Ein letzter wichtiger Aspekt stellt die Interaktion selbst dar. Es ist zu erwarten, dass die Interaktionen und Diskussionen einen hohen

Erfahrungswert beinhalten. Dieser soll wenn möglich auch über die Dauer der Anwendung hinaus zugänglich gemacht werden.

Um den Aufbau und die Funktionsweise der bisherigen Prototypen zu erläutern werden im Folgenden für den Einsatz der Anwendung zwei Szenarien betrachtet. Das erste Szenario beschränkt sich auf die Abläufe innerhalb eines produzierenden Unternehmens. Hier soll dem jungen Mitarbeiter eine gute Unterstützung in noch neuen Situationen gegeben werden und somit auch das Lernen erleichtern. Gleichzeitig sollen betreuende Mitarbeiter zeitlich entlastet werden. Außerdem soll dem Mitarbeiter die Möglichkeit gegeben werden, sich in Problemfällen kurzfristig Rat bei Kollegen einholen zu können.

Im zweiten Szenario wird die Anwendung zur Kommunikation zwischen dem eigenen produzierenden Unternehmen und einem Zulieferer oder externen Service-dienstleister eingesetzt. Hierbei soll die Anwendung hauptsächlich bei Bedienungsfragen und Fehlerfällen unterstützen.

Grundsätzlich erlaubt die Anwendung, mit Hilfe von Smartphones und Tablets eine Remoteverbindung zu starten, welche einen Audio- und Video-Livestream zwischen mehreren Nutzern aufbaut. Während der Remotesession können Teilnehmer Bilder des Video-Streams gemeinsam grafisch annotieren. Nachfolgend werden die grundlegende Architektur wie auch die Funktionsweisen der prototypischen Umsetzung erläutert.

3.1 Architektur

Für das erste Szenario ist die einfache Kommunikation für einen Informationsaustausch zwischen zwei Personen die sich kennen maßgebend. Dabei lässt sich die Architektur der Remoteapplikation zum Verbindungsaufbau und für die Interaktion in drei Bereiche aufteilen. Wie in Abb. 1 ersichtlich sind dies die Mitarbeiterapplikation, die Serverapplikation und die Expertenapplikation, wobei Mitarbeiter in diesem Fall die Person darstellt, welche die Kommunikation startet und der Experte der Angerufene ist, der unterstützen soll. Nur von der Mitarbeiterapplikation aus ist ein Verbindungsaufbau möglich. Die Serverapplikation kann innerhalb der eigenen Firma installiert und genutzt werden, lässt sich aber auch als Anwendung in der Cloud bereitstellen.

Über das User Interface können alle Elemente angesteuert werden; die Kameraebene kontrolliert und versendet den Livestream und sorgt zusätzlich dafür, dass innerhalb der Mitarbeiterapplikation eine Aufzeichnung der Session möglich ist. Die Ebene Zeichnen stellt die grafischen Interaktionsmöglichkeiten bereit und erlaubt das Erstellen von Freiformen auf dem jeweiligen Endgerät. Zeicheninformationen werden als eigener Stream sowohl gesendet wie auch empfangen. Die Ebene für den eingehenden Stream verarbeitet die ankommenden Zeicheninformationen und skaliert diese je nach Displaygröße und Auflösung. Der Audiostream wird separat gesendet wie auch empfangen. Da der Experte den Videostream des Mitarbeiters lediglich empfängt, wird für dessen Anwendung keine Kameraebene benötigt. Nur der Audiostream und die Zeicheninformationen werden

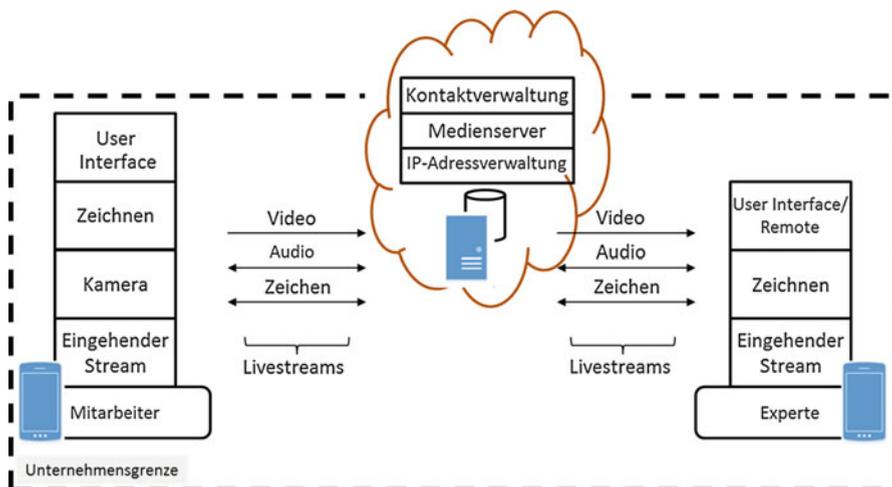


Abb. 1 Architektur für Szenario 1 – Einfacher Verbindungsaufbau zwischen zwei Mitarbeitern

kontinuierlich an den Mitarbeiter gesendet. Zusätzlich ist es dem Experten möglich, über einen Remotezugriff den Videostream auf Mitarbeiterseite zu pausieren um einen Sachverhalt näher zu erläutern. Der Server verwaltet die Kontaktinformationen. Hier werden die Mitarbeiter und Experten namentlich hinterlegt und automatisch registriert sobald sie online verfügbar sind. Aktuell kann so jeder Mitarbeiter mit jedem Experten in Kontakt treten. Die Hauptaufgabe des Servers besteht allerdings darin, die eingehenden Audio-, Video- und Zeichenstreams zu synchronisieren. Auch eine Skalierung der Videoauflösung in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Bandbreite gehört hier zu den wesentlichen Aufgaben.

Für das zweite Szenario wurde der Funktionsumfang auf Expertenseite wie auch auf Seiten des Mitarbeiters erweitert. Hierbei übernimmt der Experte mehr die Rolle eines Dienstleisters, während dem Mitarbeiter daran gelegen ist, im Servicefall Informationen darüber auch anderen Kollegen zur Verfügung zu stellen. Abb. 2 zeigt die Erweiterung der Architektur ausgehend von Szenario 1.

Auf einem zweiten Server werden die Anlagen und die zuständigen Dienstleister verwaltet. Zudem findet darüber die Verarbeitung und Bereitstellung von Daten aus der Remotesession mit einem Dienstleister statt wie auch die Synchronisation von Daten mit anderen mobilen Geräten innerhalb des Unternehmens. Es ist wichtig, dass hier die Anlagen eindeutig identifiziert werden können. Dies kann durch eine manuelle Auswahl am Gerät oder durch Anmeldung über einen NFC-Tag oder alternative Schnittstellen direkt an der Anlage erfolgen. Durch die eindeutige Bestimmung kann gewährleistet werden, dass der richtige Servicepartner kontaktiert wird. Innerhalb der Anlagenverwaltung findet nur eine Rollenzuteilung zu den jeweiligen Anlagen statt. In der Dienstleisterverwaltung werden gegebenenfalls unterschiedliche Arten von Leistungen und dadurch auch unterschiedliche Servicepartner verwaltet. Welche Person aktuell als Ansprechpartner verfügbar ist, wird in der

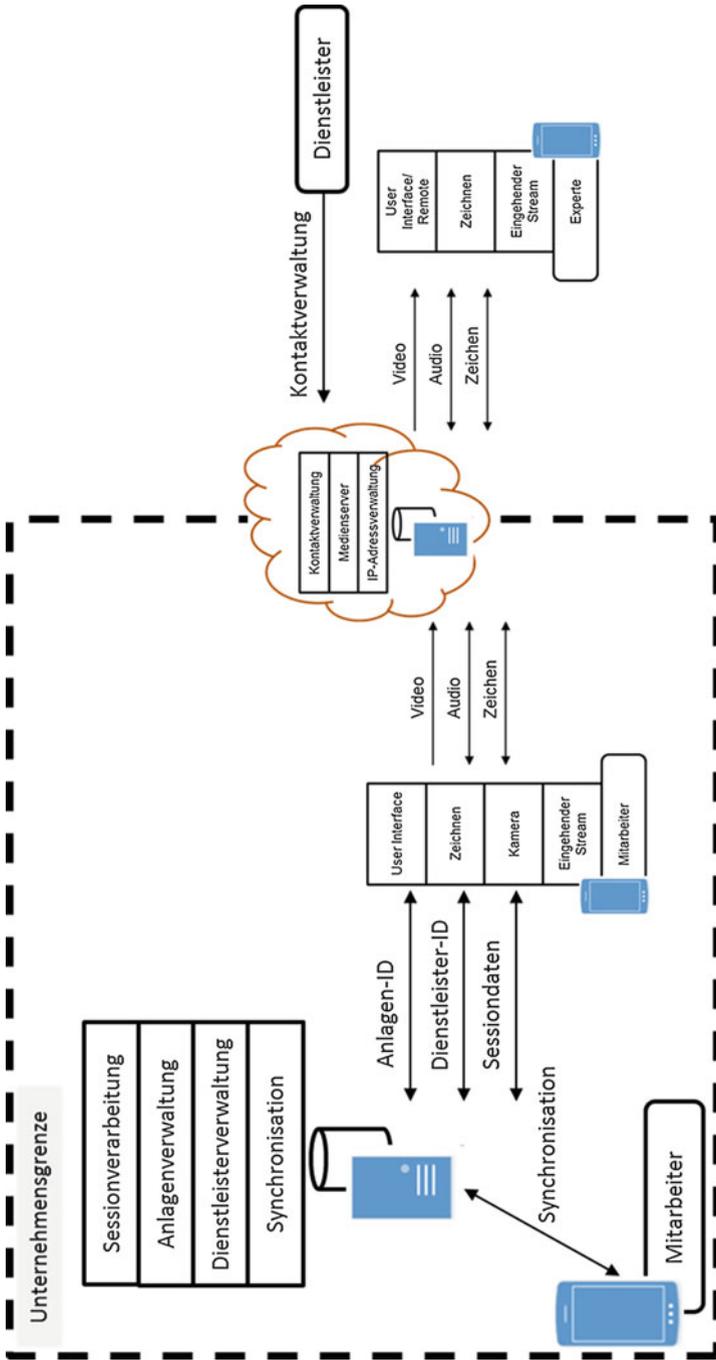


Abb. 2 Architektur für Szenario 2 – Verbindungsaufbau zu externem Support mit internem Wissenstransfer

Kontaktverwaltung durch den Dienstleister selbst bestimmt. Damit kann eine entsprechend hohe Verfügbarkeit erreicht werden. Welche Inhalte während einer Session verarbeitet und für andere Mitarbeiter bereitgestellt wird, ist vom jeweiligen Anwendungsfall abhängig. Dies kann von einer einfachen Information, dass eine Anfrage oder ein Problem bei dieser Anlage bestanden hat, bis hin zu einer detaillierten Verlaufsbeschreibung gehen.

3.2 Prototypische Umsetzung einer mobilen Remote-Applikation

Für die Implementierung und Tests einer ersten prototypischen Entwicklung der mobilen Anwendungen wurden handelsüblichen Nexus 5 Smartphones und Nexus 7 Tablets verwendet. Da die rückseitige Kamera des Mitarbeiters den Video-Livestream an den Experten sendet und eine Interaktion über das Display erfolgt ist für eine bessere Audiokommunikation ein Headset statt der Lautsprecher im Einsatz. Ein Mitarbeiter der sich im Produktionsumfeld bewegt hat nun die Möglichkeit bei Fragestellungen eine Livesitzung über das Smartphone oder Tablet zu starten. Dazu wird bei Anwendungsstart einer der verfügbaren Experten ausgewählt und angerufen. Der Mitarbeiter kann jederzeit während des Gesprächs einen Video-Livestream dazu schalten. Dies erlaubt zum einen eine einfachere Erläuterung der Problemstellung, gibt aber auch dem Experten eine bessere Möglichkeit einzuschätzen ob es notwendig ist persönlich zu erscheinen. Abb. 3 zeigt den Bildschirm des Mitarbeiters während einer Session mit Livebild-Übertragung.

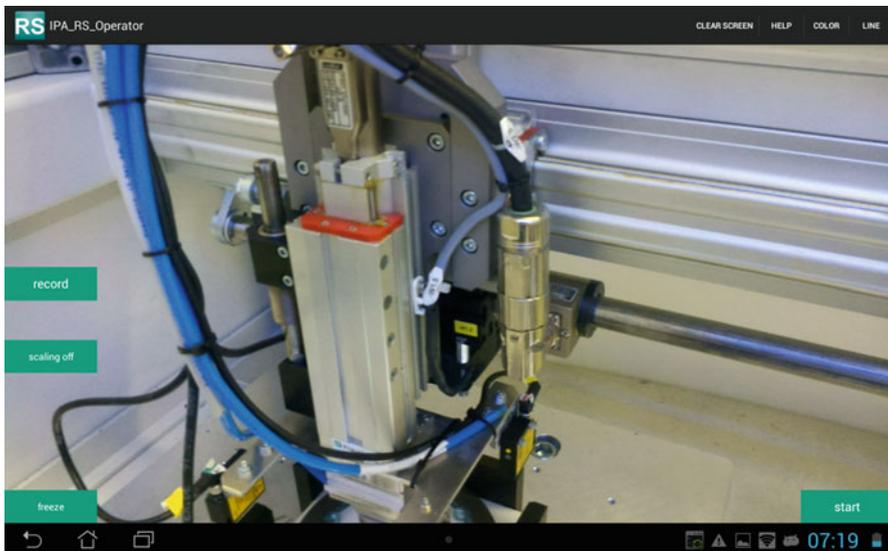


Abb. 3 Anwendung seitens des Mitarbeiters zur Livebild-Übertragung und Interaktion

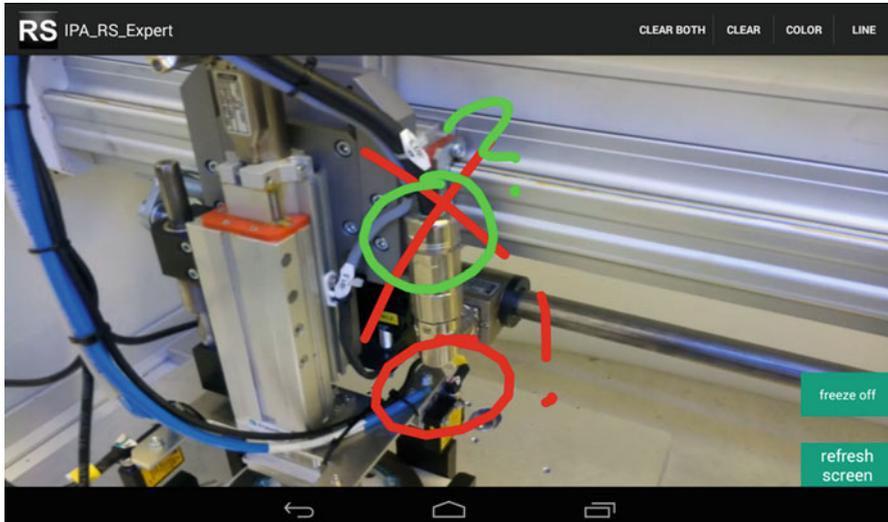


Abb. 4 Anwendung aus Sicht des Experten mit grafischer Interaktion

Über den Start-Knopf kann der Livestream kontinuierlich an den Experten übertragen werden. Der Mitarbeiter kann sich nun frei bewegen und je nach Bedarf die Bereiche aus verschiedenen Perspektiven erläutern oder nach Anweisung des Experten andere Umgebungen mit einbeziehen. Für den Mitarbeiter besteht zusätzlich die Möglichkeit, die gesamte Sitzung auch lokal aufzuzeichnen, um sie im Nachhinein beliebig betrachten zu können. Dies soll vor allem dem Mitarbeiter ermöglichen, die Zeit zum Verständnis zu bekommen, die er individuell benötigt. Damit bestimmte Objekte genauer untersucht und diskutiert werden können, gibt es die Möglichkeit den Livestream zu pausieren, wodurch auf beiden Geräten dasselbe Bild eingefroren wird. Dadurch muss der Mitarbeiter nicht mehr die Kamera auf das aktuelle Objekt richten und kann somit auch eine ergonomisch angenehmere Position einnehmen. Auf dem eingefrorenen Bild kann nun auch von beiden Seiten interagiert werden. Dazu können Freiformen vom Mitarbeiter wie auch vom Experten direkt auf das aktuelle Bild gezeichnet werden. Auf dem Screenshot in Abb. 4 ist die Anwendung aus Sicht des Experten zu sehen, jeder hat hier bereits mit einer eigenen Farbe entsprechende Markierungen hinzugefügt.

Diese hilft selbst ungenauen sprachlichen Ausdrücken wie „hier“ oder „dort“ den richtigen Kontext und Präzision zu vermitteln, wodurch die Kommunikation wesentlich vereinfacht wird. Auch ist dieselbe Bezeichnung eines Objektes nicht notwendig, was gerade für neue Mitarbeiter den Einstieg erleichtert. Die erstellten Grafiken können von beiden Seiten wieder gelöscht werden. Dazu gibt es sowohl die Möglichkeit jedes Element einzeln zu löschen, aber auch alle Markierungen oder nur die eines bestimmten Teilnehmers. Der Experte wie auch der Mitarbeiter können den Livestream erneut starten.

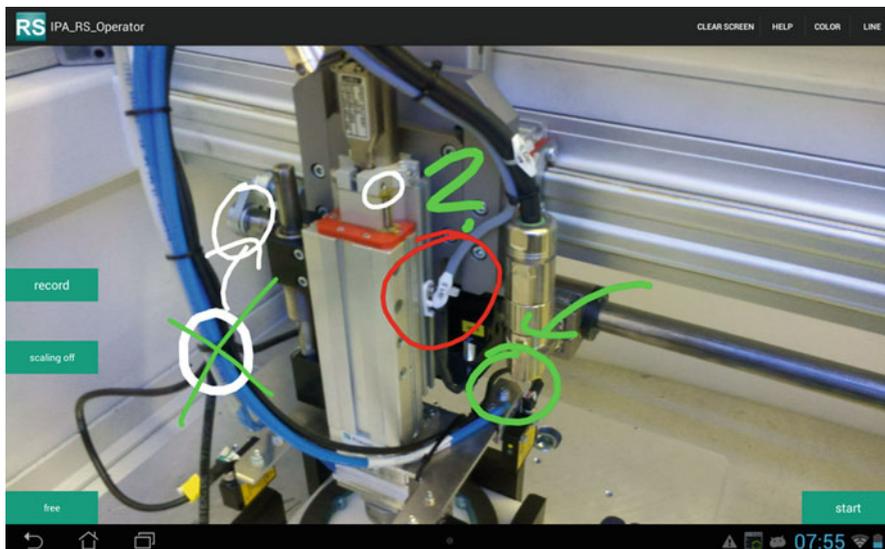


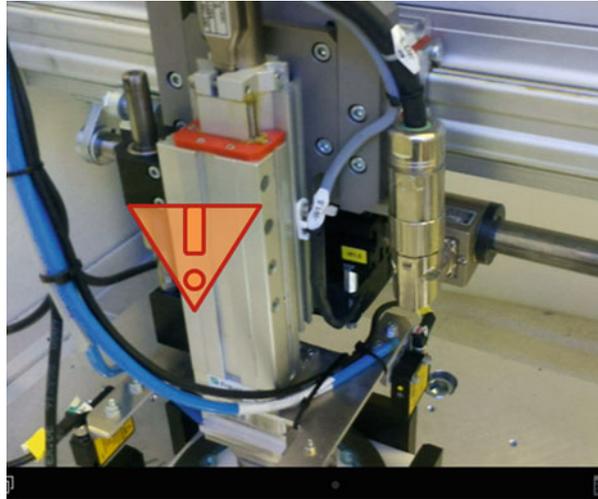
Abb. 5 Remoteinteraktion mit drei Teilnehmern

Mit der Wiederaufnahme des Livestreams verschwinden die Markierungen, da nun das aktuelle Bild nicht mehr dem eingefrorenen entspricht. Jedoch werden die Markierungen erneut eingeblendet, sobald die vorher markierten Objekte wieder von der Kamera erfasst werden. Dieses Mal werden die Elemente positionsgetreu in das Livebild eingeblendet. Dadurch ist es möglich, mehrere Bereiche während einer Sitzung zu betrachten, ohne dass die Informationen neu erstellt werden müssen. Die hieraus resultierende Augmented Reality Anwendung ist verfügbar, solange die Anwendung noch läuft. Sobald die Sitzung mit dem Experten beendet und die Anwendung geschlossen wurde, steht dem Mitarbeiter nur noch das eventuell aufgezeichnete Video in seinem Profil zur Verfügung.

Für das zweite Szenario ändert sich die Anwendung in Bezug auf die Interaktion nicht. Neu ist allerdings, dass sich der Mitarbeiter jetzt an der Anlage über einen NFC-Tag oder einer vergleichbaren Schnittstelle anmelden muss und daraufhin einen Kontakt eines externen Servicedienstleisters zur Verfügung gestellt bekommt. Zudem können jetzt mehr als 2 Teilnehmer zu einer Sitzung eingeladen werden. In Abb. 5 ist eine Sitzung mit drei Teilnehmern zu erkennen, wobei jeder Teilnehmer eine Farbe zugeteilt bekommt.

Die Möglichkeit, mehr als einen Experten hinzuziehen zu können hilft unter anderem zu entscheiden, welcher Experte am besten vor Ort unterstützen kann und um fachübergreifende Diskussionen zu ermöglichen. Der Experte kann in diesem Fall weitere Personen hinzuziehen und in die Sitzung mit einbinden. Zusätzlich ist es den Experten möglich, eigene Bilder, Videos oder Dokumente mit einzubringen und zur Verfügung zu stellen.

Abb. 6 Automatischer Hinweis für geleisteten Support



Der Mitarbeiter hat auch bei dieser Form der Sitzung wieder die Wahl, ein Video der Session aufzunehmen, weiterhin ist auch die AR-Funktionalität aktiv. Neben der lokalen Speicherung von Videos hat der Mitarbeiter die Möglichkeit Informationen über die eigene Sitzung anderen Mitarbeitern verfügbar zu machen. Die Aufbereitung und Verteilung der Daten erfolgt dabei auf einem internen Server (siehe Abb. 2). Standardmäßig kann in dem betrachteten Bereich auch ein Hinweis hinterlassen werden, der auf einen geleisteten Support hindeutet. Die von Experten bereitgestellten Dateien können sowohl im automatisch generierten Hinweis, wie auch in den während der Sitzung erstellten Grafiken verlinkt werden. Somit sind auch diese Informationen zusammen mit den eigenen für andere Mitarbeiter zugänglich. Eine Erweiterung der Anwendung erlaubt es, eine Auflistung aller Hinweise für die gesamte Anlage aufzurufen. Diese Hinweise können bei Auswahl und Betrachtung des jeweiligen Bereichs im Livebild des Smartphones an entsprechender Position eingeblendet werden. Wird die Markierung angewählt, zeigt sie auf, wer in den letzten Tagen Support über den jeweiligen Bereich der Anlage angefordert hat. Für eventuelle Rückfragen kann die Person ggf. gleich kontaktiert werden. Abb. 6 zeigt einen solchen Hinweis. Damit wird die Transparenz über geleistete Tätigkeiten oder aufgetretene Probleme erhöht und der Kommunikationsweg verkürzt. Der einzelne Mitarbeiter ist somit besser informiert und bekommt die Möglichkeit gezielt einen Erfahrungsaustausch zu starten.

Neben dem Standardhinweis kann der Mitarbeiter auch eigene, oder bereits gesetzte Marker mit zusätzlichen Kommentaren versehen. Dies kann sowohl in schriftlicher Form wie auch durch Audioaufzeichnungen erfolgen. Betrachtet ein Mitarbeiter den Anlagenbereich zu einem späteren Zeitpunkt können die Elemente, wie beim Standardhinweis auch, eingeblendet werden. Ein Beispiel dazu ist in Abb. 7 zu sehen.

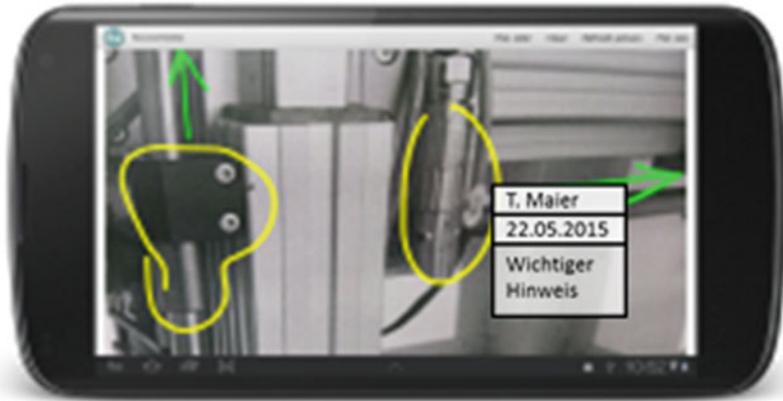


Abb. 7 Kommentierte Markierung nach einer Expertensitzung bereitstellen

Durch Anwahl der jeweiligen Grafiken werden die entsprechenden Informationen bereitgestellt. Praktische Hinweise oder Problemlösungen von Experten können so aus einer Sitzung heraus direkt an der betroffenen Stelle der Anlage ergänzt und bereitgestellt werden. Auch eigene Erfahrungswerte und Hinweise können so anderen Mitarbeitern zugänglich gemacht werden. Alle erstellten Grafiken, Kommentare und Hinweise in Szenario 2 werden zentral gesichert und verwaltet. Somit können Anpassungen oder Löschungen von zentraler Stelle erfolgen. Zusätzlich hat jeder Mitarbeiter die Möglichkeit, seine eigenen Objekte zu verwalten, abzuändern und zu löschen.

4 Ausblick

Die Anforderungen und Erwartungen an den einzelnen Produktionsmitarbeiter steigen zunehmend an. Schnellere Reaktionszeiten bei Problemfällen, fachübergreifende Kompetenzen zur Lösungsfindung, gute Erreichbarkeit sowie ein Umfeld, welches zunehmend aus technisch immer komplexeren Anlagen besteht sind nur einige der Gründe warum der Mensch als zentraler Akteur mehr Unterstützung benötigt. Wesentliche Ansätze für eine verbesserte Unterstützung sind hier zum einen eine direkte und formlose Zugänglichkeit von Informationen, zum anderen eine einfache und eindeutige Form der Kommunikation. Dies erlaubt eine schnelle Erörterung des jeweiligen Sachverhalts und ermöglicht Personen, Entscheidungen auf Grund einer besseren Informationsbasis treffen zu können. Die hier aufgeführten Lösungsansätze zeigen eine erste Möglichkeit langfristig Wissen im Unternehmen problem- und lösungsorientiert unter Zuhilfenahme der Erfahrung der Mitarbeiter aufzubauen. Der Aufbau einer kontextbezogenen Historie über die verschiedenen Probleme an einer Anlage ist ebenfalls möglich. Dies kann als Basis für Schlussfolgerungen sowohl bei neu auftretenden Problemen, wie auch bei zukünftigen Optimierungen und Neuentwicklungen genutzt werden. Ein weiterer

Schwerpunkt für kommende Entwicklungen bildet die Aufbereitung gewonnener Informationen, damit diese proaktiv auf weiteren baugleichen und relevanten Anlagen bereitgestellt werden können. Mit dem aktuellen Prototyp ist es bereits möglich einen intuitiven Informationsaustausch zu realisieren. Das daraus resultierende Potential Erfahrungswerte über Anlagen von Person zu Person zu übertragen und zu teilen ist groß. Auch bieten sich dadurch Möglichkeiten, die Unternehmenskommunikation grundlegend zu erweitern und so neue Wege zu schaffen, Wissen langfristig im Unternehmen aufbauen zu können. Die dafür verwendeten Technologien stehen gerade erst am Anfang und lassen lediglich erahnen, was die Zukunft an neuen Lösungen bieten wird.

Literatur

- Bottecchia S, Cieutat J-M, Jessel J-P (2010) T.a.c. Augmented reality system for collaborative Cele-assistance in the field of maintenance through Internet. In the 1st augmented human international conference Algeria
- Fussell SR, Kraut RE, Siegel J (2000) Coordination of communication: effects of shared visual context on collaborative work. In Computer Supported Cooperative Work, Conference, S 21–30
- Kolesnikow A, Behrens R, Westerkamp C, Kremer H, Rafrafi M, Colin N (2013) Remote engineering solutions for industrial maintenance. In IEEE 11th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), S 488–493
- Spath D (Hrsg) (2013) Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Fraunhofer Verlag, Stuttgart
- Visual Online Support TRUMPF GmbH + Co. KG. <http://www.de.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/services/servicevereinbarungen/visual-online-support.html>. Zugegriffen am 02.10.2015

Der Mensch in der Industrie – Innovative Unterstützung durch Augmented Reality

Jana Jost, Thomas Kirks, Benedikt Mättig, Alexander Sinsel und Thies Uwe Trapp

Zusammenfassung

Durch die fortschreitende Technisierung und Automatisierung industrieller Prozesse im Zuge der vierten industriellen Revolution stellt sich immer häufiger die Frage, was der Mensch in der Fabrik von Morgen für eine Rolle spielt. Damit er nicht als Fremdkörper, sondern als steuernder sowie als überwachender Akteur in diese modernen Prozesse eingebunden wird, bedarf es innovativer und adaptiver Benutzerschnittstellen. Augmented Reality (AR) erlaubt es, dem Benutzer Informationen situationsabhängig dort anzuzeigen, wo sie benötigt werden: Direkt im Blickfeld und auf dem betreffenden Objekt. Innerhalb des Forschungsprojektes SmARPro wird ein System entwickelt, das Informationen kontext- und rollenbasiert aufbereitet und über Augmented Reality dem Benutzer zur Verfügung stellt.

1 Datenflut in der Industrie 4.0

Die Durchdringung des beruflichen Alltags mit moderner Informationstechnologie (IT) führt zu gewaltigen Datenfluten. Als Konsequenz daraus wird ein großer Teil der Arbeitszeit mit der Suche nach relevanten Informationen verschwendet.

J. Jost (✉) • T. Kirks • B. Mättig
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund, Deutschland
E-Mail: jana.jost@iml.fraunhofer.de; thomas.kirks@iml.fraunhofer.de;
benedikt.maettig@iml.fraunhofer.de

A. Sinsel
Product Management, FORCAM GmbH, Ravensburg, Deutschland
E-Mail: alexander.sinsel@gmail.com

T.U. Trapp
Diesel Systems, Plant Homburg, PJ-I4.0, Robert Bosch GmbH, Homburg, Deutschland
E-Mail: thies-uwe.trapp2@de.bosch.com

In Bereichen des Enterprise Resource Planning (ERP) bewährten sich mobile Anwendungen als ein effektives Mittel zur Reduktion der für die Informationsbeschaffung benötigten Zeit (Zeitler 2011). Allein die Möglichkeit, an jedem beliebigen Ort Zugang zu den Daten des ERP-Systems zu erhalten, verringert den Aufwand der Informationssuche. Darüber hinaus gestattet die technologische Fähigkeit der Ortung mobiler Endgeräte, Informationen vorzuselektieren und kontextbezogen aufzubereiten. Ein Ziel dabei ist es, die Suche nach Informationen deutlich zu minimieren oder gar überflüssig werden zu lassen. In der Fertigung eröffnen sich dadurch neue Perspektiven, dem Personal die im situativen Kontext erforderlichen Informationen vor Ort vollkommen automatisiert zur Verfügung zu stellen.

Schon in Manufacturing Execution Systemen (MES) wurde das ursprünglich lediglich für die Betriebsdatenerfassung vorgesehene Shop Floor Terminal um vorgangsbezogene Informationen für das Fertigungspersonal erweitert. Im Rahmen der Betriebsdatenerfassung werden an dem Shop Floor Terminal eines Arbeitsplatzes die dort bearbeiteten Arbeitsvorgänge gemeldet. Basierend auf diesen Meldungen werden beispielsweise die produzierte Stückzahl und die hierfür aufgewandten Maschinen- und Personalstunden auf den entsprechenden Fertigungsauftrag gebucht. Nach der Anmeldung eines Arbeitsvorgangs können vorgangsbezogene Informationen im Shop Floor Terminal abgerufen werden. Diese Informationen berücksichtigen bereits den situativen Kontext des Personals insofern, als sie sich auf den jeweils angemeldeten Arbeitsvorgang beziehen. Dadurch, dass in einem MES jedem Arbeitsplatz ein individuelles Industrieterminal zugeordnet ist, kann bei der Informationsaufbereitung auch der Arbeitsplatzkontext berücksichtigt werden.

Es gibt verschiedene Gründe, warum die in den vergangenen Jahren eingesetzten Manufacturing Execution Systeme das Fertigungspersonal nicht optimal unterstützen. Ortsgebundene Shop Floor Terminals verursachen zusätzliche Wege. Insbesondere für das Instandhaltungspersonal kann es sich als eine Zumutung erweisen, nach jeder geplanten und ungeplanten Instandhaltungsmaßnahme eines der hierfür auf dem Betriebsgelände bereitgestellten Industrieterminals aufzusuchen, um Meldung zu erstatten. Der dem Meldeaufwand gegenüberstehende Nutzen als Informationsquelle für das Fertigungspersonal ist indes vergleichsweise gering, weil die Shop Floor Terminals des MES nur die im eigenen System verfügbaren Informationen anzeigen. Das mit dem monolithischen Ansatz des MES verfolgte Ziel, auf Shop Floor Ebene alle Systeme durch ein einziges MES abzulösen, ist de facto gescheitert. In der Praxis führt die fehlende Interoperabilität derartiger Systeme heute zu einem erhöhten Meldeaufwand und einer Zerstreung der Informationen auf den Shop Floor Terminals verschiedener Softwareanbieter.

Das moderne Shop Floor Management geht davon aus, dass sich nachhaltige Prozessverbesserungen nur dadurch durchsetzen lassen, dass die Mitarbeiter in ihrer täglichen Arbeit soweit wie möglich unterstützt werden (Peters 2009). Für die dabei zum Einsatz kommenden IT-Systeme ist die einfache Handhabbarkeit (Usability) ein wesentliches Entscheidungskriterium. In einer dementsprechend

optimierten Arbeitsumgebung soll das Fertigungspersonal befähigt werden, notwendigen Handlungsbedarf und die Priorität einzelner Maßnahmen selbst zu erkennen. Die größere Eigenverantwortung des einzelnen Mitarbeiters ermöglicht eine dezentrale Koordination der zunehmend komplexeren Aufgaben in der Produktion. Bei der dezentralen Organisation von Produktions- und Logistiksystemen handelt es sich um eines der wesentlichen Ziele, die mit dem Zukunftsprojekt Industrie 4.0 verfolgt werden. Da zu diesem Zweck dem Personal Vorort alle erforderlichen Informationen zur Verfügung gestellt werden müssen, ist die Interoperabilität aller innerhalb des Produktionsumfelds verwendeten IT-Systeme hierbei als eine grundlegende Voraussetzung zu betrachten.

In Shop Floor Management Systemen werden dem Fertigungspersonal Informationen auf Basis schlanker Webapplikationen (Web-Apps) bereitgestellt, die sowohl auf klassischen Industrieterminals als auch auf mobilen Endgeräten aufgerufen werden können. Diese Webapplikationen sind beliebig konfigurierbar und können wechselseitig verlinkt oder ineinander eingebunden werden. Die Serviceorientierte Architektur moderner Shop Floor Management Systeme ermöglicht eine zusehends umfassendere Integration aller Informationen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg. Dadurch können heute schon Daten der Werkzeugverwaltung, CAD-Modelle, NC-Programme, Aufbauskizzen, Montagepläne, Stücklisten oder Prüfpläne in der jeweils aktuellen Version an jedem beliebigen Ort in der Fertigung abgerufen werden.

Mit dem Einzug solcher Integrationsplattformen ist die Menge der auf Shop Floor Ebene verfügbaren Daten immens gewachsen. Auf der einen Seite resultieren daraus neue Möglichkeiten zur Unterstützung der Mitarbeiter als steuernde und regulierende Entscheider innerhalb vernetzter und dezentraler Produktions- und Logistiksysteme. Auf der anderen Seite stellt die wachsende Flut von Daten, anhand deren der Mensch seine Entscheidungen in einem immer komplexer werdenden und von turbulenten Veränderungen geprägten Produktionsumfeld zu treffen hat, schon heute eine beachtliche Herausforderung dar.

Das in diesem Beitrag vorgestellte Projekt SmARPro (SmARt Assistance for Humans in Production Systems) greift diese Problematik auf. Die Bereitstellung von Daten aus der Produktion zur richtigen Zeit am richtigen Ort sowie deren semantische Aufbereitung in einer dem Menschen weitgehend intuitiv verständlichen und ergonomischen Weise ist zentrales Anliegen des Projektes. Hierzu werden unter anderem Technologien der computergestützten Erweiterung menschlicher Realitätswahrnehmung (Augmented Reality) für den Einsatz in der Produktion adaptiert.

2 Erweiterte Realität im industriellen Einsatz

Augmented Reality ist in der Forschung und Entwicklung schon seit längerer Zeit ein Thema, das intensiv betrachtet wird. Wie die Überführung dieser Technologie in den industriellen Alltag gestaltet werden kann, wird in den folgenden Abschnitten beleuchtet.

2.1 Ziele für den Einsatz von Augmented Reality im industriellen Umfeld

Der Einsatz von Augmented Reality in der Industrie ist mit einer Reihe von Zielen verbunden, die im Fokus der Verbesserung der Informationsdarstellung für Mitarbeiter in der Produktion und Logistik stehen. Diese Ziele lassen sich in zwei Kategorien einteilen. Auf der einen Seite stehen die funktionalen bzw. technischen Ziele, die durch den Einsatz von AR erreicht werden sollen. Auf der anderen Seite ergeben sich daraus Chancen für die Verbesserung bzw. Optimierung von Prozessen in der Produktion und Logistik, die ihrerseits zu Kosten- und Zeiteinsparungen sowie einer Qualitätsverbesserung führen können.

Die funktionalen Ziele resultieren aus dem Wunsch, Informationen in einer verbesserten und vereinfachten Form dem Mitarbeiter zur Verfügung zu stellen. Kernaspekt ist hierbei die minimierte Belastung des Mitarbeiters durch die Informationsaufnahme. Das bedeutet, dass dem Fertigungspersonal nur absolut notwendige Informationen in einem überschaubaren Maß und in intuitiver Darstellungsform angezeigt werden müssen. Dies führt zu einer Reduktion der Informationen, mit denen das Fertigungspersonal konfrontiert wird, indem nur relevante Informationen dargestellt werden, ohne den benötigten Informationsgehalt selbst zu verringern. Beispielsweise werden keine Informationen zu Normalsituationen, sondern nur bei etwaigen Handlungsbedarfen angezeigt. Diese kontextsensitive Vorselektion ist ein entscheidender Aspekt, der die üblicherweise durch den Benutzer durchzuführende Auswahl der situationsabhängig auszuwählenden Funktion (Selection Rules nach dem GOMS-Modell) entfallen lässt (Card et al. 1983). Als zusätzliche Unterstützung fungiert die Tatsache, dass durch die adaptive Darstellungsweise die Informationen, die sich das Fertigungspersonal merken muss, minimiert werden, indem es automatisch an Informationen oder Aufgaben erinnert wird, sobald diese benötigt werden. Eine weitere Unterstützung wird durch die Verwendung verständlicherer Darstellungsformen für Informationen erzielt. Dies umfasst neben symbolischen Darstellungen auch Animationen oder Piktogramme, die sich der aktuellen Situation und Position des Mitarbeiters anpassen und ihn somit durch seine Arbeitsabläufe führen können. Durch die Projektion der Informationen in das Sichtfeld des Mitarbeiters und somit in dessen räumliche Umgebung an gezielten Orten lässt sich zudem erreichen, dass die Informationsaufnahme ohne einen zusätzlichen Blick auf Displays erfolgen kann. Dies ermöglicht beispielsweise die Illustration von Bewegungsrichtungen im Raum oder Hinweise auf Orte in der Arbeitsumgebung bzw. auf Stellen am Werkstück, s. Abb. 1. Allgemein lassen sich so die benötigten Augenbewegungen minimieren, wodurch die benötigte Zeit für die Informationsaufnahme stark reduziert wird.

Zu den prozessrelevanten Zielen gehört an aller erster Stelle die vereinfachte und schnellere Informationsbereitstellung, die eine Suche nach Informationen durch den Mitarbeiter im optimalen Fall vollständig entfallen lässt. Durch die

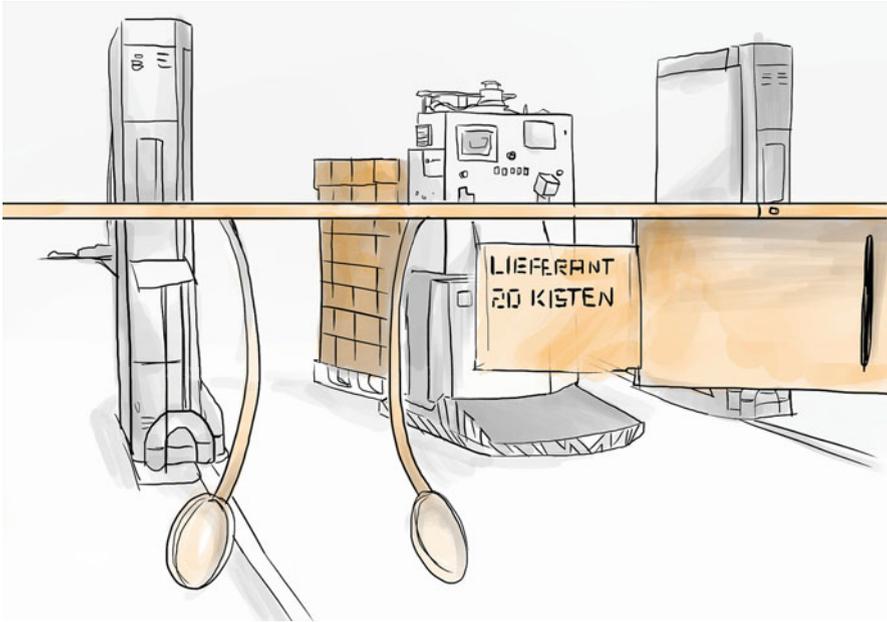


Abb. 1 Augmented Reality in der Logistik. (Quelle: Fraunhofer IML)

verbesserte und adaptiv anpassbare Informationsaufbereitung und Darstellung ergeben sich in der Folge unter anderem minimierte Suchzeiten für physische Objekte wie Werkzeuge, Material oder Fertigungshilfen. Dies verdeutlicht, dass die Informationsdarstellung in diesem Kontext nicht zum Selbstzweck wird, sondern vielmehr an den Schnittstellen zwischen Informationen und Prozessen optimierende Auswirkungen auf andere Bereiche der Produktion und Logistik hat. So können durch die optimale Darstellung der benötigten Informationen Wegzeiten minimiert werden. Auch die Reduzierung von Fehlern durch missverständliche oder fehlende Informationen steht im Fokus des AR Einsatzes. Hierdurch kann die allgemeine Qualität der Arbeit verbessert werden. Darüber hinaus wird auf Kosteneinsparungen durch schnellere Wartungs- und Serviceprozesse aufgrund der verbesserten Informationsbereitstellung abgezielt. Ein weiterer Aspekt, der im industriellen Umfeld eine erheblich vereinfachte Integration von Mitarbeitern in bestehende oder neue Prozesse ermöglicht, ist die Option, mit Hilfe von AR gestützten Informationsdarstellungen die Einarbeitung bzw. das Einlernen durchzuführen. Dies wird vor allem bei immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen wichtig, in denen das Fertigungspersonal ständig mit neuen Anforderungen konfrontiert wird. So kann der stetige Verlust von Routinen ausgeglichen werden. Verallgemeinernd lässt sich sagen, dass sich durch AR im industriellen Umfeld ein „effizienteres Arbeiten“ umsetzen lässt, insofern es richtig angewandt wird.

2.2 Industrielle Einsatzmöglichkeiten von Augmented Reality

Augmented Reality ist ein Hilfsmittel der Mensch-Produktionssystem-Interaktion, das den Menschen durch Überlagerung seines realen Bildes mit zusätzlichen Informationen unterstützt. Als Medien der Überlagerung sind Tablet- und Smartphone-Anwendungen denkbar, in denen die Kamera des Gerätes ein Livebild erzeugt, in das die Zusatzinformationen eingeblendet werden. Ihr Nachteil liegt darin, dass das Gerät vom Bediener gehalten werden muss. Ein Beispiel, das dem Menschen die volle Bewegungsfreiheit erhält, wären Brillen, in die Zusatzinformationen projiziert werden.

Die Anwendungsfälle sind vielfältig und sehr unterschiedlich. Aus dem Bereich der Logistik sind Anwendungen bekannt, in denen die Augmented Reality mit Datenbrillen sogenannte Pick-by-Vision-Verfahren darstellt. Durch eine Einfärbung des betreffenden Regalfaches wird der Mitarbeiter zur richtigen Position geführt.

Im Bereich der Instandhaltung sind Anwendungen denkbar, in denen der Servicetechniker eine „Schritt-für-Schritt“-Anleitung erhält und angezeigt bekommt, welches Teil defekt ist und wie er es austauschen muss. Voraussetzung dafür ist, dass das zu wartende Teil zuverlässig erkannt wird. Andernfalls würde das AR-Modell versagen und sich schnell Frustrationen auf Seiten des Anwenders im Umgang mit AR einstellen.

Der Einsatz von AR in Unternehmen und Fabriken stellt schon seit längerer Zeit einen Forschungsschwerpunkt dar. So wird beispielsweise die virtuelle Unterstützung des Mitarbeiters bei der Montage von komplexen Produkten im Forschungsprojekt Cognito (www.ict-cognito.org) betrachtet. Über Sensoren an Armen und Händen wird die Belastung des Mitarbeiters anhand von biomechanischen Daten ausgewertet. Die Daten werden in einem nutzerzentrierten Assistenzsystem auf Basis von AR genutzt. Mit der SmartFactoryKL (www.smartfactory-kl.de) konnte ein Systemdemonstrator implementiert und getestet werden. Neben der reinen Informationsaufbereitung wird AR auch genutzt, um Maschinen vom Menschen mittels Gestik, Berührung, Sprache oder Blicken zu steuern. Diese Form der Mensch-Maschine-Interaktion sowie die Lernfähigkeit von Maschinen werden in einem Forschungsprojekt des Technologie-Netzwerks Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (www.its-owl.de) näher betrachtet.

Nicht nur der laufende Betrieb, auch der Einstieg von neuen Mitarbeitern in ein Unternehmen oder die Bewältigung neuer Aufgaben kann mittels AR erleichtert werden. Die Analyse von umgebungs- und personenbezogenen Einflüssen hierbei wird mittels Wissen aus der Lernpsychologie sowie Erfahrungswerten der Arbeitnehmer im Projekt ALUBAR (www.alubar.de) betrachtet.

Schnell wird deutlich, dass gerade der Einsatz von AR nicht nur dem Unternehmen, sondern auch den Menschen zu Gute kommt. Gerade im Zeitalter einer alternden Gesellschaft nimmt der Mensch in den Fabriken und Unternehmen eine wichtige Rolle ein und im Gegensatz zum Trend der computerintegrierten Fertigung (CIM) aus den 80er-Jahren erkennt auch die Industrie 4.0 den Menschen als wichtigen Bestandteil in der Industrie an.

2.3 Nutzen von Augmented Reality für den Menschen in der Industrie

Der demografische Wandel wird in den nächsten Jahrzehnten die Bevölkerungsstruktur in Deutschland, wie auch in vielen anderen industrialisierten Volkswirtschaften, grundlegend verändern. Das statistische Bundesamt hat berechnet, dass sich bis ins Jahr 2030 der Anteil der Menschen über 65 um 33 % erhöhen wird (Statistisches Bundesamt 2011). Damit wird der Anteil der älteren Menschen an der Gesellschaft innerhalb der nächsten 20 Jahre so stark zunehmen, dass sich auch die Altersstruktur der Mitarbeiter in Unternehmen verschieben wird. Das Durchschnittsalter der Mitarbeiter steigt und der Anteil der jüngeren Belegschaft wird geringer. Durch die sich weitende Altersspanne der Mitarbeiter spreizt sich auch die Erfahrungsbasis mit den unterschiedlichen Maschinen und Technologien in Unternehmen.

Außerdem zeichnet sich im Kontext der vierten industriellen Revolution, der Industrie 4.0, eine starke Zunahme der Komplexität der Technologien und Systeme in der Industrie ab. Die Beherrschung dieser Systeme wird nicht mehr mit herkömmlichen Benutzerschnittstellen und Bedienungsweisen möglich sein. Auch die industrielle Automatisierungstechnik hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Durch die neu verfügbaren Konzepte von Cyberphysischen Systemen (CPS) können heute sehr große, vernetzte, eingebettete Systeme bestehend aus Sensoren, Aktuatoren und Steuergeräten zur weitestgehend automatisierten Fabrik oder Infrastruktur eingesetzt werden. Bislang beschäftigen sich Lösungsansätze für Industrie 4.0-Anwendungen und SmartFactory-Visionen vor allem mit Fragestellungen der Effizienzsteigerung im Bereich der Automatisierungsebene. Dennoch wird dem Menschen mehr und mehr eine entscheidende Position in der Industrie 4.0 zu gewiesen. Nicht länger ist es Ziel und Wunschenken, den Menschen durch Automatisierung aus der Produktion und den Fabriken zu verdrängen. Vielmehr wird er als entscheidender Bestandteil der Produktion und Fabriken angesehen und ist nicht wegdenkbar. Lediglich seine Rolle vom reinen Ausführer hin zum Entscheider hat sich geändert. Diese neue Verantwortung bietet dem Menschen viele Optionen sich zu verwirklichen, birgt aber auch ein hohes Belastungspotential.

Für die Beschäftigten ergeben sich somit nicht nur längere Lebensarbeitszeiten, sondern sie werden noch im höheren Alter mit neuen komplexen Systemen konfrontiert. Deshalb muss in Zukunft mehr denn je ein Schwerpunkt auf die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion gelegt werden. Hierbei steht nicht die allgemeine, einfache Bedienbarkeit für einen Durchschnittsbenutzer im Vordergrund. Vielmehr muss hinsichtlich des demografischen Wandels die Nutzervielfalt und damit der individuelle Umgang eines einzelnen Benutzers mit der Maschine und den Prozessen betrachtet werden. Dieser individuelle Umgang ist nicht allein durch physische Benutzungsmuster gekennzeichnet, sondern eher durch ein Zusammenwirken physischer, ethischer und sozialer Eigenschaften des jeweiligen Benutzers. Zudem zeichnen sich Menschen durch individuelles Lernverhalten aus, welches in Kombination mit den unterschiedlichen Lernhintergründen aufgrund des

demographischen Wandels und gerade im Kontext komplexer Systeme die Adaption von Lern- und Anpassungsprozessen an die jeweils beteiligte Person erfordert.

Somit muss auf den Menschen als zentrales Element der Produktion und Logistik im Zuge der Industrie 4.0 eingegangen werden. Komplexe Systeme im Arbeitsalltag und die Arbeit mit Maschinen sollten möglichst unabhängig vom Alter und etwaigen körperlichen Einschränkungen der beteiligten Mitarbeiter möglich sein und sich flexibel an den jeweiligen Bediener anpassen und das individuelle Lernverhalten berücksichtigen können.

Die sich hieraus ergebende Notwendigkeit neuer Benutzerschnittstellen und Interaktionsmöglichkeiten des Menschen mit den Maschinen und Prozessen kann durch Augmented Reality gerade im industriellen Umfeld erfüllt werden. Von dem Smartphone, über das Tablet und die SmartWatch bis hin zu SmartGlasses bieten die unterschiedlichen Bedienschnittstellen mit Augmented Reality für jeden Menschen die richtige, auf seine Fähigkeiten und sein Lernverhalten angepasste Interaktionsmöglichkeit mit den Maschinen und Prozessen. Aber nicht nur die Bedienweise an sich, sondern auch die Informationsdarstellung kann individuell an die jeweiligen Aufgaben und das jeweilige Know-How des Mitarbeiters angepasst werden. So kann der ansonsten mit den komplexen Systemen und den damit verbundenen großen Datenmengen auftretenden Überforderung des Mitarbeiters entgegengewirkt werden. Informationen können ihn kontextbasiert und am Ort des Geschehens durch Unternehmensprozesse führen, so entfallen aufwändige Einarbeitungsprozesse – der Mitarbeiter lernt an der Maschine direkt. Das Vorwissen des Mitarbeiters über die einzelnen Prozesse und die weit gefächerte Maschinenlandschaft kann aufgrund von Augmented Reality sehr gering gehalten werden. Dies ist insbesondere bei der heterogenen Altersstruktur der Mitarbeiter förderlich. Durch Augmented Reality wird der Mitarbeiter bei seinem Arbeitsalltag unterstützt. Dies geht vom reinen Informationsfiltern und Anzeigen über die Aufbereitung von Daten bis hin zur Fusion mit Daten anderer Maschinen und Systeme. Gerade diese Fusion der Daten dient einer leichteren Entscheidungsfindung für den Mitarbeiter, da er nicht länger nur den Zustand der Maschine oder den Status des Prozesses, an dem er arbeitet, kennt, sondern auch den gesamten Zustand der Fabrik und somit aller Systeme und Maschinen in der Fabrik. Die eingeschränkte Sichtweise des Mitarbeiters wird durch Augmented Reality geweitet, ohne dass er in einer aufkommenden Datenflut überfordert wird.

Auch in Hinblick auf die Darstellungsform, in der die Informationen aufbereitet werden, bieten sich große Potentiale, das Personal im Umfeld moderner Shop Floor Management Systeme zusätzlich zu entlasten. Der Mensch kann bei größter Anstrengung maximal 50 Zeichen pro Minute bewusst verarbeiten. Dagegen steht die Fähigkeit bei der visuellen Wahrnehmung unwillkürlich innerhalb eines Sekundenbruchteils ein bewegtes Objekt zu segmentieren und dessen weiteren Bewegungsverlauf zu antizipieren. Der Vergleich verdeutlicht, dass eine Aufbereitung von Informationen entsprechend den kognitiven Fähigkeiten des Menschen, diesem das Verständnis komplexer Sachverhalte maßgeblich erleichtern kann. Auf dieser Einsicht gründen didaktisch motivierte Anwendungen der AR, welche an das ausgeprägte visuelle Wahrnehmungsvermögen des Menschen anknüpfen. Beispielsweise

kommen bei der ZF Friedrichshafen AG visuell gestützte Erklärungsmodelle für komplexe und erklärungsbedürftige Industriegüter mit der mobilen App XtraFair in einem Tablet zur Anwendung (Ehling 2013).

Nicht zuletzt haben auch die zur Informationsbereitstellung verwendeten Geräte große ergonomische Bewandnis. Am Körper des Anwenders befestigte mobile Computersysteme, sogenannte Wearables, bieten den Vorteil, dass sie die Bewegungsfreiheit des Fertigungspersonals nicht einschränken. Bereits bei der Hannover Messe 2014 wurde am Stand des Lemgoer Centrum Industrial IT (CIIT) eine Datenbrille vorgestellt, welche die Unterstützung von Montagearbeiten anhand des Zusammenbaus von Legofiguren demonstrierte. Die Datenbrille zeigt unter anderem an, welcher Legostein im nächsten Fertigungsschritt benötigt wird, wo er im Regalsystem zu finden ist und wie er der entstehenden Figur hinzugefügt werden muss (Hinrichsen et al. 2014). Solche den Arbeitsvorgang begleitenden kontextabhängigen Informationen gewinnen mit zunehmender Variantenvielfalt und kürzeren Produktlebenszyklen in allen Produktionsbereichen an Bedeutung.

2.4 Nutzen von Augmented Reality für Unternehmen

AR leistet einen Beitrag, dem Menschen in seiner komplexen Umgebung bessere Orientierung zu bieten und ihn mit Informationen zu versorgen, die er ohne AR aufwändig suchen und eventuell sogar interpretieren müsste. Insofern geht AR über die vordergründige Informationsbereitstellung weit hinaus. Für den Einsatz von AR ist es erforderlich, ein digitales Abbild des Anwendungsfalles in seiner ganzen Komplexität zu erstellen und alle denkbaren Eventualitäten von Aktionen und Reaktionen des cyberphysischen Systems abzubilden sowie die für das Verhalten des Mitarbeiters relevanten Informationen und Handlungsalternativen vorzudenken. Warum lohnt sich dieser hohe Aufwand für das Unternehmen?

Durch die vorgefertigte Informationsbereitstellung ist der Mitarbeiter wie bereits zuvor dargestellt, sehr viel besser auf seine wertschöpfende Tätigkeit fokussiert, unproduktive Informationssuche und langes Überlegen der nächsten Schritte entfallen. Daraus entsteht für das Unternehmen der erste deutliche Produktivitätsfortschritt. Zusätzlich wird der richtige Arbeitsablauf dem Mitarbeiter besser dargestellt und dadurch im Idealfall bereits beim ersten Mal richtig ausgeführt, Einlernphasen können erheblich kürzer und Standards eindeutig auch über Schicht- und Teamgrenzen hinweg kommuniziert werden. Die Weiterentwicklung von Standards und Übernahme von Best-Practice-Erfahrungen zur Durchführung bestimmter Tätigkeiten kann schnell flächendeckend bekannt gemacht und vom Mitarbeiter leicht verstanden werden, Abb. 2. Neben dem Zugewinn an Produktivität, der aus dieser schnellen Umsetzung des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses entsteht, entwickelt sich aus den Möglichkeiten der Standardisierung und optimierten Einarbeitung auch ein deutlicher Fortschritt bei der Fehlervermeidung und folgerichtig ein erheblicher Zugewinn an Prozess- und Produktqualität.

Als weiteren Schritt zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens ist eine Reduzierung von Verlusten aufgrund von Fehlzeiten anzusehen.



Abb. 2 Werkzeughandling per Smartphone und Augmented Reality. (Quelle: Fraunhofer IML)

Durch die Darstellung optimaler Prozess- und Bewegungsabläufe und die Integration von Warnhinweisen wird der Mitarbeiter zu gesundheitsbewussterem Verhalten angeleitet und vor schädigenden Situationen gewarnt. Ein erheblicher Anteil der Fehlzeiten von Mitarbeitern in produzierenden Unternehmen resultiert aus Muskel- und Skeletterkrankungen, zu deren Reduzierung AR einen wichtigen Beitrag leisten kann. Die positive Wirkung des Einsatzes von Augmented Reality ist also vielfältig und reicht, wie zuvor gezeigt, von der Steigerung der Produktivität durch Standardisierung und Reduzierung von Verschwendung über Qualitätsverbesserungen bis zum Schutz des Mitarbeiters und reduzierten Fehlzeiten. Der oftmals sehr enge Zusammenhang zwischen dem Nutzen einer Technologie für den Mitarbeiter und dem für das Unternehmen ist jedoch schwer belegbar und wird in der Praxis vielfach unterschätzt. Für die Einführung von IT-Systemen in der Produktion ist die Wirtschaftlichkeit der entscheidende Gesichtspunkt (Gronau 2006). Ausschlaggebend für die Investitionsentscheidung ist hierbei eine positive Kosten-Nutzen Bewertung (Westkamp 2012). Gerade im Umfeld von Industrie 4.0 wird aus Sicht vieler produzierender Unternehmen bemängelt, dass die entscheidende Frage nach dem ökonomischen Nutzen für das eigene Unternehmen unzureichend beantwortet sei (Schäfer 2015; Sommerhäuser 2015). Wandlungsfähigkeit und Flexibilität bedeuten zwar klare Wettbewerbsvorteile, lassen sich in dieser Allgemeinheit allerdings nur schwer in der Investitionsrechnung operationalisieren.

Dagegen sind Fallbeispiele, die eine signifikante Produktivitätssteigerung durch den Einsatz von IT demonstrieren, zwar nachvollziehbar und konkret, stellen

umgekehrt aber deren Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit auf das eigene Unternehmen gleichermaßen in Frage. So werden einerseits Beispiele angeführt, in denen internationale Konzerne, aber auch mittelständische Unternehmen, nach der Einführung moderner Shop Floor Management Systeme in den betreffenden Werken Produktivitätssteigerungen um die 30 Prozent innerhalb eines Jahres verzeichnen (Lorenz 2014). Andererseits sind die Beispiele aus den vergangenen Jahrzehnten in Erinnerung, in denen Softwaresysteme mit ähnlichem Leistungsversprechen nach kostspieliger Inbetriebnahme wieder abgeschafft wurden (Soder 2014).

Offensichtlich kann die Einführung verschiedener Softwaresysteme, die aus fachlicher Sicht einen vergleichbaren Leistungsumfang bieten, zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen. Der hierbei erfolgskritische Faktor, um den erwarteten Nutzen aus einer Investition in Software zu ziehen, ist die Akzeptanz der Mitarbeiter in der Produktion. Wenn die wahrgenommene Nützlichkeit und die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit seitens der unmittelbaren Anwender in der Produktion gering sind, werden sie die betreffende Software nicht akzeptieren. Dies ist die Kernaussage des 1989 entwickelten Technology Acceptance Model (TAM), das in nachfolgenden Erhebungen vielfach bestätigt und verfeinert wurde (Davis 1985; Venkatesh und Bala 2008). Bei der wahrgenommenen Nützlichkeit handelt es sich um die subjektive Empfindung von Personen, dass die Anwendung einer bestimmten Technologie ihre Arbeitsleistung verbessert. Dies entspricht dem beim Shop Floor Management verfolgten Anspruch, die Mitarbeiter in ihrer täglichen Arbeit soweit wie möglich zu unterstützen. Wenn dagegen der Umgang mit einer entsprechenden Software – etwa infolge eines erhöhten Bedien- oder Meldeaufwands – als hinderlich empfunden wird, bleibt die erfolgskritische Akzeptanz und Meldedisziplin der Mitarbeiter aus. Insofern stellt der auf Basis von Augmented Reality gewonnene Nutzen für den Menschen im Umgang mit IT-Systemen zugleich auch einen Nutzen für das Unternehmen dar.

2.5 Best Practices für den industriellen Augmented Reality Einsatz

Augmented Reality steht an der Schwelle zum industriellen Einsatz. Seit mehreren Jahren werden zwar Machbarkeit und Einsatzmöglichkeiten dargestellt und auch im Consumer-Markt den Kunden angeboten, jedoch erfährt der produktive Einsatz erst in der letzten Zeit einen Aufschwung. LEGO hat bereits 2010 (Metaio 2010) den Einsatz von AR bei seinen Produkten eindrucksvoll gezeigt und bietet seinen Kunden so einen Mehrwert an. Mit dem Smartphone kann der Kunde sich das fertig zusammengesetzte Produkt dreidimensional anzeigen lassen, indem er lediglich die Packung mit der von LEGO bereitgestellten App filmt. Auch Ikea bietet seit 2013 seinen Kunden die Möglichkeit mit Hilfe einer App Produkte von Interesse in den eigenen vier Wänden passgerecht per Tablet oder Smartphone virtuell zu platzieren (Ikea 2013). Systeme von Knapp, SAP und Ubimax sind momentan in der Testphase (Deutsche Post 2015) und BMW und VW zeigen wie Instandhaltung und Wartung mit virtueller Unterstützung dem Menschen die Arbeit vereinfachen kann.

BMW (BMW 2015) zeigt mit der „See-Through-Technologie“ wie in Zukunft der Fahrer virtuell durch das Auto hindurchsehen kann und so Gefahren rechtzeitig erkennen kann. Zu diesem Zweck hat MINI mit der Firma Qualcomm zusammen an der Entwicklung einer AR-Brille gearbeitet. VW zeigte bereits mit MARTA ein innovatives Assistenzsystem bei dem für Werkstattmitarbeiter Informationen zu Arbeitsvorgängen auf Tablets bereitgestellt werden (Metaio 2013).

Bosch nutzt AR zukünftig, um die Kfz-Werkstätten bei Wartungs- und Reparaturarbeiten zu unterstützen. Augmented-Reality-Lösungen zeigen dem Mechatroniker in dreidimensionalen Darstellungen beispielsweise Arbeitsanleitungen, benötigte Werkzeuge oder auch ein Schulungsvideo an. Sobald die Kamera des mobilen Tablets für die Werkstatt zum Beispiel ein Motorbauteil erfasst, werden die passenden Informationen genau dort in das reale Bild eingeblendet, wo sie benötigt werden. Über den Touchscreen kann der Mechatroniker die eingeblendeten Objekte steuern und weitere Inhalte aufrufen. Zeitaufwändiges Nachschlagen in Service-Handbüchern entfällt. Hinter Verkleidungen versteckte Bauteile oder die Verkabelung unter dem Armaturenbrett können mit Augmented Reality ebenso maßstabgerecht dargestellt werden. So werden die nächsten Arbeitsschritte klar und unnötige Montagearbeiten lassen sich vermeiden. Damit erleichtert Augmented Reality den Reparaturprozess, verbessert die Qualität des Arbeitsergebnisses und verringert zudem den Aufwand. Dazu können selbst komplexere Reparaturen dank der Unterstützung durch die neue Technologie auch von weniger erfahrenen Mitarbeitern durchgeführt werden.

Für die Erstellung der aufwändigen Augmented Reality-Lösungen nutzt Bosch eine moderne Software-Plattform, mit der sich die Anwendungen aus Konstruktionszeichnungen, 3D-Daten und Animationen erstellen lassen. Anwendungsmöglichkeiten für Augmented Reality sieht Bosch neben der Unterstützung bei Diagnose-, Wartungs- und Reparaturarbeiten beim technischen Training und für Service-Informationen.

3 Das Forschungsprojekt SmARPro

Wie in den vorherigen Kapiteln bereits beschrieben, ergeben sich für den Einsatz von AR als Informationsanzeige und Eingabemethode für den Anwender viele Möglichkeiten der Umsetzung. Die Dynamik des industriellen Alltags stellt hier jedoch auch eine große Herausforderung für die Entwicklung einer solchen Lösung dar. Auf der einen Seite stehen die Daten, die als Quelle für die anzuzeigenden Informationen dienen sollen. Diese können in den verschiedensten Ausprägungsformen sowie Mengen auftreten und werden von unterschiedlichen Quellen geliefert. Aus diesem heterogenen Datenbestand müssen Informationen generiert werden, die dem Anwender kontext- und rollenabhängig aufbereitet werden müssen. Zudem erfordert die Informationsanzeige auf unterschiedlichen Wearables eine flexible Darstellungsweise. Innerhalb des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes SmARPro soll ein Gesamtsystem entwickelt werden, das diese Anforderungen erfüllt und den flexiblen AR-Einsatz in Produktion und Logistik realisierbar macht.

3.1 Entwicklung einer Gesamtlösung für den Einsatz von Augmented Reality in Produktion und Logistik

Intelligente Objekte und moderne, sich selbst steuernde Prozesse rücken durch das Thema „Industrie 4.0“ immer mehr in den Fokus. Für die Prozesssteuerung und die Koordination verteilter Anlagen werden Informationen benötigt, die auf der einen Seite ermittelt und auf der anderen Seite dem Bediener von Produktions- und Logistikanlagen zur Verfügung gestellt werden müssen. Hierbei ergeben sich mehrere Herausforderungen, deren Bewältigung im Fokus des Forschungsprojektes SmARPro steht. Diese erstrecken sich von der Informationsgewinnung direkt an der Maschine über die Informationsaufbereitung in der SmARPro Plattform bis hin zur Informationsdarstellung für den Menschen auf Wearables.

Das im Projekt SmARPro angestrebte Gesamtsystem soll die Auftragsebene bestehend aus Leitsystem, Warehouse Management-Systemen und dem Enterprise-Resource-Planning-System mit der Device-Ebene, bestehend aus Wearables und Maschinen verbinden. Dabei wird durch die Nutzung der SmARPro Plattform die Möglichkeit zur standardisierten Erfassung und Aufarbeitung von Betriebsdaten geschaffen. Die Anzeige der Informationen soll hierbei durch den Einsatz von Augmented Reality realisiert werden.

Jegliche Devices im System sollen über die SmARPro Plattform miteinander agieren können, ohne dass Restriktionen aufgrund von Herstellerabhängigkeiten oder verschiedener Schnittstellen auftreten. Mit der SmARPro Plattform können neue Elemente hinzugefügt und in das System integriert werden sowie alte oder defekte entfernt und vorhandene angepasst werden. Geschehen soll dies durch Verwendung existierender de-facto-Standards sowie der Erweiterung bestehender Technologien. Diese flexible und auf standardisierten Schnittstellen und Abläufen basierende Systemarchitektur ist gerade in Zeiten mobiler Fabriken, die eine steigende Flexibilität innerhalb der Produktion ermöglichen, essentiell.

Bevor Daten dem Menschen adäquat präsentiert werden können, müssen die entsprechenden Informationen ermittelt werden. Dies geschieht in SmARPro mit den sogenannten Smart-Devices. Diese dienen als technische Komponente, um die notwendigen Betriebsdaten der verschiedenen Maschinen und Anlagen standardisiert zu erfassen, aufzubereiten und an die SmARPro Plattform weiterzuleiten. Dort erfolgt die anschließende Aufarbeitung der Daten, die unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren alle eingehenden Informationen für die Darstellung vorbereitet. Betrachtet werden hierbei unter anderem die Rolle, die Lokation und die Aufgabe des jeweiligen Mitarbeiters, für den die Informationen aufbereitet werden sollen. Abhängig von diesen Parametern verändern sich die Informationstiefe sowie die Informationsausrichtung. So benötigt ein Mitarbeiter am Fließband in der Qualitätssicherung vollkommen andere Informationen als ein Mitarbeiter in der Fertigung oder ein Kommissionierer in der Logistik. Auch entscheidend ist hierbei, auf welcher Art auf dem Wearable die Daten dargestellt werden sollen und welchen Detailgrad das entsprechende Endgerät zulässt.

Der Mensch stellt auch in der Produktion und Logistik von Morgen einen entscheidenden Faktor dar. Daher muss der Mensch so in Unternehmensprozesse eingebunden werden, dass er durch die immer größer werdende Datenmenge nicht

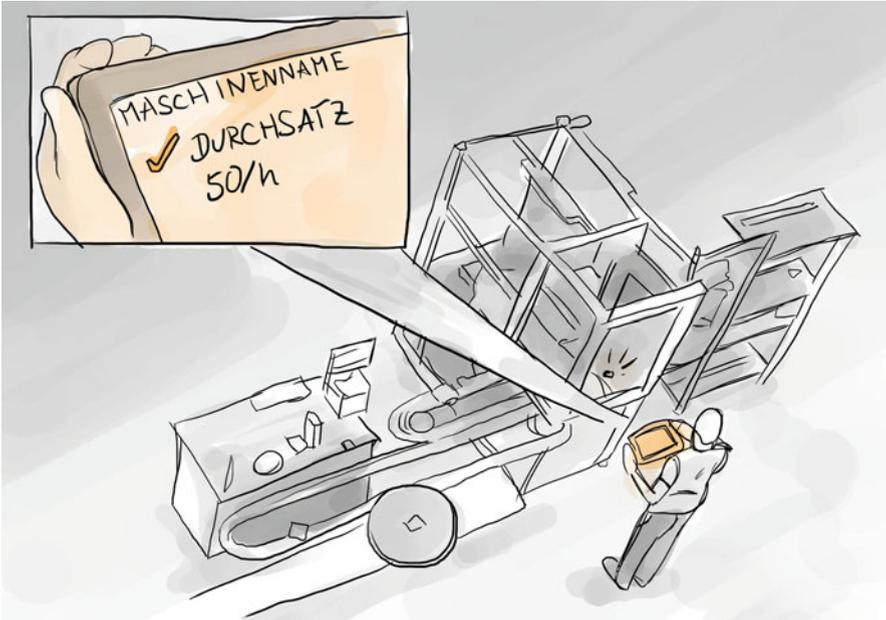


Abb. 3 Direkte Kommunikation mit Maschinen in der Produktion über Wearables. (Quelle: Fraunhofer IML)

überfordert wird. Auf der anderen Seite sollen die existierenden Informationen so eingesetzt werden, dass sie den Menschen bei seiner Arbeit unterstützen können. Unter diesem Aspekt werden mit Hilfe der SmARPro Wearables zuvor aufbereitete Informationen dem Mitarbeiter kontextbasiert und abhängig von seiner aktuellen Position in Form einer Augmented Reality-Darstellung angezeigt. Informationen erscheinen direkt auf dem betreffenden Objekt. Dadurch geben die Wearables dem Mitarbeiter die Fähigkeit, das Wissen, der ihn umgebenden Maschinen und Objekte unmittelbar sichtbar zu machen.

Das Systemkonzept im Projekt SmARPro wird auf drei Szenarien in unterschiedlichen Bereichen abgebildet. So wird der Einsatz in der Produktion, Logistik und im Werkzeugmanagement als Use Case umgesetzt.

In der *Logistik* werden die aufkommenden Informationen entlang der Prozesskette am jeweiligen Ort bedarfsgerecht angezeigt. Der Gesamtprozess besteht im Wesentlichen aus Wareneingang, Einlagerung, Kommissionierung, Bereitstellung und dem Transport mit Fahrerlosen Transportfahrzeugen als verbindendes Element. Personen mit bestimmten Rollen werden Informationen mit Hilfe von Augmented Reality direkt im Sichtfeld angezeigt, wobei diese gleichzeitig perspektivisch über der betrachteten Maschine mit rollenbezogenen Inhalten präsentiert werden, Abb. 3. Darüber hinaus ist es möglich, einzelne Prozessschritte über das Wearable durch Eingaben des Benutzers zu beeinflussen. Teile des Gesamtprozesses bilden

jeweils einen aggregierten Kontext aus Ort, Benutzerrolle, Zeit und Bearbeitungsfortschritt. Dieser Kontext wird in der SmARPro Plattform erstellt und entsprechend an die Bediener wiedergespiegelt. Dies ermöglicht eine Reduzierung der Informationsmenge und eine Konzentration der dargestellten Information mit einem Satz an Handlungsempfehlungen. Somit ist es möglich, einem Kommissionierer, der einen Kommissionierauftrag bearbeitet und sich dazu an einem bestimmten Regal befindet, Instruktionen zur Entnahme einer Menge von Artikeln zu geben. Die Greifrichtung des Zielfachs wird mit Hilfe von Pfeilen, die dem Regal passend überlagert werden, im Sichtfeld eingeblendet. Folgt der Kommissionierer dieser visuellen Unterstützung und blickt schließlich auf das Zielfach werden ihm zusätzlich Abbildungen mit dem gewünschten Artikel und Anzahl der zu entnehmenden Teile eingeblendet.

Den zweiten Use Case stellt das *Werkzeugmanagement* in der Produktion des Werks Homburg der Robert Bosch GmbH dar. Das Werkzeugmanagement als Unterstützungsprozess für die Fertigung gliedert sich in einen Werkzeug-Bereitstellungsprozess und einen Werkzeug- bzw. Prozessentwicklungsprozess auf. Dadurch sind die Planungsabläufe einer Vielzahl verschiedenster Einflüsse unterworfen und laufen unter der Beteiligung unterschiedlicher Abteilungen ab. Daraus entsteht eine hohe Komplexität in Bezug auf die sehr heterogene Struktur der aufkommenden Daten, involvierten Rollen und relevanten Funktionen. Mit Hilfe des SmARPro-Systems wird der nicht wertschöpfende Aufwand der Informationssuche minimiert und die Aufgabe für den Mitarbeiter beherrschbar gemacht. Durch die Verknüpfung der Datenquellen und Aufbereitung der Daten zu relevanten Informationen werden diese automatisiert bereitgestellt und die derzeit aufwändige Plausibilisierung von Planungsvorgängen oder Ursachenforschung bei Abweichungen deutlich vereinfacht.

Der dritte Use Case spiegelt den Einsatz der SmARPro Plattform, SmartDevices und Wearables in der *Produktion* wieder. Bei der Fertigung unterschiedlicher Teiletypen kann der Mitarbeiter die Prüfung der gefertigten Teile an einer hinter der Produktionsmaschine gelagerten Prüfstation veranlassen. Die Prüfung kann abhängig vom Auftragsstyp nie, immer, auf Anweisung oder in Abhängigkeit vom Teiletyp erfolgen. Die Teile werden bei einer Prüfung durch eine Weiche zur Prüfstation ausgeschleust. Der Mitarbeiter legt über sein Wearable für die entsprechende Prüfstation fest, wie die Weiche geschaltet werden soll. Ebenfalls erhält er an seinem Wearable Warnhinweise bei geprüften Teilen, die Mängel aufweisen. Diese entsprechenden Teile kann er näher betrachten und defekte Teile über einen Befehl an seinem Wearable aus dem Prozess ausschleusen. Durch das SmARPro-System wird somit die Qualitätskontrolle verbessert – der Mitarbeiter kann Teile, die fälschlicherweise für defekt erklärt wurden, direkt wieder in den Prozess eingliedern. Zudem bietet das SmARPro-System eine hohe Flexibilität bei dem Prozessablauf. So können ortsflexible Prüfstationen nicht nur mechanisch über eine Weiche schnell in den Prozessablauf eingegliedert werden, sondern auch softwareseitig kann die Weichensteuerung direkt durch den Mitarbeiter Vorort über sein Wearable erfolgen. Gerade im Zuge von wandelbaren Fabriken ist diese Flexibilität und schnelle Reaktionszeit erforderlich.

3.2 Mehrwert der SmARPro-Lösung für Mitarbeiter und Unternehmen

Mit Hilfe der SmARPro Wearables werden zuvor aufbereitete Informationen dem Mitarbeiter kontextbasiert und abhängig von seiner aktuellen Position in Form einer Augmented Reality-Darstellung angezeigt. Informationen erscheinen direkt auf dem betreffenden Objekt. Dadurch geben die Wearables dem Mitarbeiter die Fähigkeit, das Wissen, der ihn umgebenden Maschinen und Objekte unmittelbar sichtbar zu machen. Außerdem können dargestellte Arbeitsanweisungen vom Menschen aufgenommen werden, ohne dass dieser seinen Arbeitsprozess unterbrechen muss. Durch SmARPro verändert sich die Informationsanzeige grundlegend. Informationen erscheinen genau da, wo der Mensch sie zum jeweiligen Zeitpunkt braucht. Durch die vereinfachte Bedienung und schnellere Erlernbarkeit wird komplexe Technik beherrschbar. Die hoch technologisierte Arbeitsumgebung eröffnet sich somit, auch mit Blick auf den demographischen Wandel, einem größeren Personenkreis – respektive Arbeitnehmern mit unterschiedlichsten Qualifikationshintergründen, Fähigkeiten und Voraussetzungen.

Nachdem die Vorteile für die produzierenden Unternehmen durch den Einsatz von AR auf der Nutzenseite bereits ausgiebig dargelegt wurden, gilt es, einen Blick auf die Kostenseite und das Investitionsrisiko zu werfen. Im Zusammenhang mit der Einführung von Systemtechnologien erklären sich viele Fehlinvestitionen daraus, dass entscheidende Kosten bei der herkömmlichen Investitionsrechnung nicht berücksichtigt werden. Die Transaktionskostentheorie versucht dieser Unzulänglichkeit zu begegnen.

Die Beschaffung von Systemtechnologien ist generell mit einer großen Unsicherheit und entsprechend hohen Transaktionskosten verbunden. Dies gilt in besonderem Maße dann, wenn es sich – wie hierbei üblich – um ein Systemgeschäft handelt. Ein Systemgeschäft ist durch die Vermarktungsstrategie des Anbieters gekennzeichnet, einen Kaufverbund herbeizuführen, auf den sich der Nachfrager mit Zustandekommen der Transaktion einlässt. Letzterer nimmt bei einem Systemgeschäft zudem eine außerordentlich spezifische Investition vor, wodurch auf dessen Seite eine Quasi-Rente und somit eine überwiegend einseitige Abhängigkeit generiert wird (Backhaus und Voeth 2010). Unter einer Quasi-Rente wird der fiktive Geldbetrag verstanden, den eine Investition in der gewählten Verwendung im Vergleich zur nächst besten Verwendung mehr erbringt. Im Falle eines opportunistischen Verhaltens des Anbieters, wird dieser versuchen, die Quasi-Rente des Nachfragers abzuschöpfen, woraus für den Nachfrager eine große Unsicherheit entsteht (Klein et al. 1978). Infolge dieser Unsicherheit steigen die Kosten für die Informationsbeschaffung über potentielle Anbieter, Vertragsverhandlungen nehmen größere Zeit in Anspruch und ebenso steigen die Abwicklungs- und Kontrollkosten. Werden nachträglich Änderungen erforderlich, entstehen zusätzlich Anpassungskosten. Somit lastet die aus der Spezifität von Systemgeschäften resultierende Unsicherheit dem Nachfrager hohe Transaktionskosten auf.

Ein Musterbeispiel für ein Systemgeschäft mit totaler Spezifität ist die Maschinen- und Prozessdatenerfassung durch ein MES. Die Spezifität einer solchen

Investition wird durch die niedrige Integralqualität des MES, d. h. dessen fehlende Interoperabilität verursacht. Dadurch ist die Maschinen- und Prozessdatenerfassung in jeder anderen Verwendung als der innerhalb des monolithischen Systems für den Investor wertlos. Die Quasi-Rente des Investors entspricht den Einführungskosten der Maschinen- und Prozessdatenerfassung eines anderen Anbieters.

Wenn die im MES erfassten Daten zu einem späteren Zeitpunkt beispielsweise dem Computer Aided Quality Management (CAQ) zur Verfügung gestellt werden sollen, kann das MES Systemhaus die Kosten für solch eine Schnittstelle in gleicher Höhe wie die Lizenzkosten für die eigene CAQ-Lizenz veranschlagen. Das MES Systemhaus profitiert in diesem Fall von dem technologisch forcierten Lock-in-Effekt einer monolithischen Systemarchitektur.

Derartige Unsicherheiten, die erst nach Zustandekommen einer Transaktion, wie etwa bei Folgeinvestitionen relevant werden, aber bereits im Vorfeld seitens des Nachfragers Berücksichtigung finden sollten, werden als ex-post-Unsicherheiten bezeichnet. Sie steigen mit dem Spezifitätsgrad einer Investition, welcher in der klassischen Investitionsrechnung keine Bewandnis hat.

Ex-post-Unsicherheiten und die durch sie verursachten Transaktionskosten werden bei der Anbindung von Anlagen und Maschinen an eine Integrationsplattform vermieden. Mit einer Hersteller- und Schnittstellen-unabhängigen Plattform, bei der jederzeit neue IT-Systeme hinzugefügt, entfernt oder angepasst werden können, stellt das SmARPro-System eine unspezifische Investition dar. Auf Seite des Investors entsteht keine Quasi-Rente und demzufolge auch keine Abhängigkeit gegenüber dem Anbieter. Investitionsrisiko und Transaktionskosten der produzierenden Unternehmen entfallen dadurch nahezu vollständig.

Gewöhnlich werden Systemtechnologien als Bestandteil eines vielseitigen Leistungsbündels angeboten, sodass kein reines Systemgeschäft vorliegt, sondern auch zahlreiche Dienstleistungen involviert sind. Auf Shop Floor Ebene handelt es sich dabei typischerweise um Beratungsleistungen, Systemintegration, Schulungen, Funktionsspezifikationen, Softwareanpassungen, Anpassung der Schnittstellen, Inbetriebsetzung, Erstellung von Konfigurationen, Testinstallationen sowie Unterstützung bei der Einbindung in den betrieblichen Ablauf.

Durch die einfache Integrierbarkeit von Anlagen und Maschinen sowie die hohe Kompatibilität zu den heute verbreiteten Systemen innerhalb der Automatisierungspyramide, die mit der SmARPro Plattform angestrebt wird, werden auch jene Dienstleistungskosten deutlich sinken. Insbesondere dürften die für das Unternehmen entstehenden Aufwände für Inbetriebsetzung, Systemintegration, Software- und Schnittstellenanpassung eine deutliche Verringerung erfahren.

4 Zukunftsansichten für Augmented Reality in der Industrie

Die dezentrale Koordination der zunehmend komplexeren Aufgaben in der Produktion wird als ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt des Zukunftsprojektes Industrie 4.0 erachtet (Kagermann et al. 2012). Dabei werden in erster Linie zwei

verschiedene Ansätze diskutiert, die sich nach dem heutigen Stand der Wissenschaft methodologisch wechselseitig ausschließen. Dies sind zum einen das aus der Theorie dynamischer Systeme stammende Konzept der Selbstorganisation und zum anderen die heute noch auf dem Prinzip der Fremdorganisation beruhenden semantischen Technologien in der Ausprägung formaler Systeme. Letztere konstituieren sich aus Regeln, die von dem menschlichen Entwickler aufgeprägt und somit als fremdorganisiert zu qualifizieren sind (v. d. Malsburg 2003).

Selbstorganisierte Systeme bilden globale Muster (im Sinne topologischer Strukturen) allein durch die lokalen Wechselwirkungen ihrer Konstituenten aus (Haken 2004). Ein vielfach angeführtes Beispiel sind Ameisenstraßen, obgleich jede organische Daseinsform in der Biologie als das Ergebnis selbstorganisierter Prozesse betrachtet wird. Während natürliche Beispiele selbstorganisierter Systeme ein zielgerichtetes und in hohem Maße adaptives, selbstoptimierendes Verhalten aufweisen, sind formale Systeme grundsätzlich statischer Natur und verfügen über keinerlei semantische Plastizität. Da semantische Technologien kein zielgerichtetes Suchen innerhalb des Gesamtraumes allen impliziten Wissens erlauben, zeigen sie ein schlechtes Konvergenzverhalten. Hinreichend mächtige Systeme sind zudem mit dem Problem der Unentscheidbarkeit behaftet. Infolge der fehlenden semantischen Plastizität lassen semantische Technologien aber auch die Fähigkeit vermissen, bei unvollständiger Informationslage oder in einer unvorhergesehenen Situation zweckmäßige und zielgerichtete Entscheidungen zu treffen. Weil solche Situationen für den Alltag in der Produktion allerdings charakteristisch sind, wird der Mensch als Entscheider und steuernde Instanz in absehbarer Zeit nicht durch diese Technologien zu ersetzen sein. Denn für die Einbettung formaler Systeme in eine topologische Struktur, welche zum einen ein zielgerichtetes Suchverhalten und zum anderen die erforderliche semantische Plastizität gewährleistet, bietet die Grundlagenforschung im Bereich der künstlichen Intelligenz heute noch keine Konzepte (Sinsel 2011).

Mit dem SmARPro Projekt wird ein dritter Weg zur dezentralen Steuerung der Produktions- und Logistiksysteme beschritten. Dabei behält der Mensch die Rolle des steuernden und regulierenden Entscheiders. Das SmARPro-System unterstützt eine dezentrale Organisation der Fertigungsbetriebe und eine dezentrale Organisation der Datenhaltung. Es wird aber kein selbstorganisierter Ansatz verfolgt, demzufolge der globale Wertschöpfungsprozess als kollektives Phänomen aus den auf Basis lokaler Informationen getroffenen Entscheidungen hervorgehen würde. Im SmARPro-System können Informationen nicht mehr als lokal oder global qualifiziert werden, weil die Verfügbarkeit von Daten vollkommen unabhängig vom Ort der Datenhaltung ist. Alle Informationen sind bei Bedarf überall verfügbar. Im Gegensatz zu durchgängig selbstorganisierten Ansätzen für eine dezentrale Steuerung der Produktion gestattet das SmARPro-System bereits mit der heute vorhandenen Technik, Nutzenpotentiale für Unternehmen und deren Mitarbeiter anhand von Use Cases zu demonstrieren.

Das Spektrum zukünftiger industrieller Anwendungsszenarien von AR ist heute noch gar nicht abzuschätzen. Denn die Erfahrungen der Vergangenheit zeigen, dass die Einsatzmöglichkeiten technologischer Neuerungen oft drastisch

unterschätzt werden. Hier sei an die Aussage erinnert, die der IBM-Vorsitzende Thomas J. Watson 1943 geäußert haben soll: „Ich denke, dass es einen Weltmarkt für vielleicht fünf Computer gibt“ (Maney 2003). Ken Olson, der Vorstandsvorsitzende von Digital Equipment, äußerte noch im Jahre 1977: „Es gibt keinen Grund, warum irgendjemand einen Computer in seinem Haus wollen würde“ (Schein et al. 2003).

Demgegenüber wird die Entwicklungsgeschwindigkeit der Grundlagenforschung im Bereich der KI regelmäßig überschätzt. Diesbezüglich kann exemplarisch die mit dem Autonomous Computing, Organic Computing oder Grid Computing um die Jahrtausendwende aufgekommene Euphorie angeführt werden. So wurde in einem VDE/ITG/GI-Positionspapier aus dem Jahre 2003 bereits für das Jahr 2010 die „Smart Factory“ prognostiziert, in der autonome Roboter mit Hilfe spontaner Vernetzung Föderationen bilden, um anstehende Aufgaben zu erledigen und die als „selbst-konfigurierend, selbst-heilend und selbst-optimierend“ charakterisiert wurde (Allrutz et al. 2003). Auch wenn die Namen der jeweils aktuellen Zukunftsprojekte sehr kurzlebig sind; die Ziele sind dieselben und bis heute noch immer Visionen geblieben.

Die Grenzen für Augmented Reality gehen mit den technischen Einschränkungen der verwendeten Komponenten einher und betreffen aber auch Fragen der Sicherheit, ergonomische Aspekte und nicht zuletzt die ELSI-Thematik – also ethische, rechtliche, soziale Belange. Aus technischer Sicht werden Sensoren für die Erfassung des aktuellen Status der Person verwendet. Es muss also möglichst genau abgebildet werden, was der Mensch in seiner Wahrnehmung als real ansieht. Nebenbei, dies bezieht idealerweise alle Sinnesmodalitäten ein. Somit kann eine Berechnungsgrundlage für die Vermischung der virtuellen und realen Informationen geschaffen werden. Parameter für die Berechnung sind beispielsweise momentane Aufenthaltsort der Person, Ausrichtung im Raum, Blickrichtung des Menschen, Akustik aber auch die Rolle des Benutzers im Kontext. Aus dieser Fülle an Informationen wird bedarfsgerecht errechnet was dem Menschen an zusätzlichen Informationen präsentiert werden muss. Daraus folgt, je genauer die Erfassung der Umgebung und je besser die Abbildung der für den Menschen erfassten Realität, desto genauer ist die Augmentation und desto besser die Immersion. Zur Verarbeitung der Daten werden eingebettete Systeme verwendet. Insbesondere audiovisuelle Daten erzeugen große Datenmengen, die verarbeitet werden müssen und teilweise, so die Rechengeschwindigkeit nicht ausreicht, zur externen Verarbeitung versendet werden müssen. Hier werden demzufolge leistungsfähige Architekturen benötigt, die jedoch gleichzeitig auch dem Konzept des Wearables – tragbar, leicht und anpassbar – nicht widersprechen dürfen. Dies erfordert eine Miniaturisierung und Flexibilisierung der elektronischen Module. Die bildgebenden Module wie Displays müssen auch angemessene Auflösungen und Formfaktoren haben. Dabei ist es wichtig, dass diese arbeitsergonomische Anforderungen erfüllen. Schließlich muss auch die Kommunikation mit externen Systemen adäquat ermöglicht werden. Eingesetzte Funktechnologien müssen Datentransfers in Echtzeit erlauben. Wenn über Kommunikation mit externen Systemen und Erhebung von Daten gesprochen wird, taucht auch immer die Frage der Datensicherheit auf. Unterliegen die Daten vertraulicher Handhabung, sind personenbezogene Daten

ausreichend verschlüsselt und ist das Gesamtsystem gegen Angriffe von außen stark genug abgesichert. Bei AR-Systemen, insbesondere in Bezug auf Wearable-Technologien, sprechen wir von mobilen Systemen, die schneller entwendet werden können. So wachsen auch schnell die Anforderungen für die Authentifizierung am Wearable selbst. Ein anderer Gesichtspunkt betrifft die Kompatibilität der Wearables verschiedener Hersteller, die teils unterschiedliche Betriebssysteme betreiben und unterschiedliche Backend-Software verwenden. Im industriellen Einsatz größeren Maßstabes wird in Zukunft auch die Frage von einheitlichen Beschreibungen der Assets, respektive virtueller Objekte, aufkommen und damit die Forderung nach Standardisierung in bestimmten Teilbereichen von Augmented Reality aufkommen. Die Güte von Augmented Reality liegt zusammengefasst im Zusammenspiel verwendeten Technologien für Sensorik, Informationsverarbeitung, -aufbereitung und Informationsdarstellung.

5 Fazit

Die an den Fortschritt bei der Lösung grundlegender wissenschaftlicher Fragestellungen gerichteten Erwartungen der Forscher sind in vielen Fällen zu optimistisch. Das Innovationspotential vergleichsweise junger Technologien wird hingegen regelmäßig unterschätzt.

Vor diesem Hintergrund erscheint der im SmARPro Projekt verfolgte Ansatz noch weitaus vielversprechender als die in den Demonstratoren geschilderten Szenarien vermuten lassen. Weil die Möglichkeiten der Augmented Reality sowie die hierzu bereitstehenden Entwicklungswerkzeuge heute nur wenigen Softwareanbietern im industriellen Umfeld bekannt sind, stellen Multimedia und digitale Spiele noch immer deren überwiegenden Einsatzbereiche dar. Auf diesen Gebieten sind sehr elaborierte Anwendungen insbesondere in Kombination mit Computer-Vision basierten Tracking-Verfahren entwickelt worden. Ideen für Innovationen im Bereich des industriellen Einsatzes hinken den technologischen Möglichkeiten derzeit noch deutlich hinterher. Sobald aber professionelle Softwareentwickler in größerer Anzahl Kenntnis und Zugang zu den vorhandenen Entwicklungswerkzeugen erhalten, dürfte dies einen inspirativen Effekt haben. Neue Anwendungsideen sind auch dadurch zu erwarten, dass umgekehrt die bislang hauptsächlich im Segment der digitalen Spiele zu findenden AR-Experten zukünftig verstärkt auf die industrielle Produktion als weiteres Tätigkeitsfeld aufmerksam werden.

Literatur

- Allrutz R, Cap C, Eilers S, Fey D, Haase H, Hochberger Ch, Karl W, Kolpatzik B, Maehle E et al (2003) Organic Computing – Computer- und Systemarchitektur im Jahr 2010 (VDE/ITG/GI-Positionspapier, VDE – Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik e.V., Frankfurt)
- Backhaus K, Voeth M (2010) Industriegütermarketing. 9. Aufl. Vahlen, München
- BMW Group (2015) Mini Augmented Vision. (Pressemitteilung am 10.04.2015 in München)

- Card S, Moran TP, Newell A (1983) The psychology of human computer interaction. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale
- Davis F (1985) A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems – theory and results. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology
- Deutsche Post DHL Group (2015) Augmented reality in logistics. Studie. http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2014/augmented_reality_revolutioniert_logistikprozesse/_jcr_content/mainpar/cols2_1/rightcolpar/downloadarticle/daitems/downloadarticleitem_0.download. Zugegriffen am 22.04.2015
- Ehling G (2013) ZF-Produkte im App Store (Presseinformation der ZF Friedrichshafen AG am 04.03.2013 in Friedrichshafen)
- Gronau N (2006) Wirtschaftlichkeitsbewertung einer MES-Einführung. IT Production 10/2006:30–33
- Haken H (2004) Synergetics: introduction and advanced topics. 3. Aufl. Springer, Berlin/Heidelberg
- Hinrichsen S, Jasperneite J, Schrader F, Lücke B (2014) Versatile assembly systems – requirements, design principles and examples. In: Villmer F-J, Padoano E (Hrsg) Production engineering and management. Proceedings of the 4th international conference. 25.- 26.09.2014 in Lemgo, Schriftenreihe Logistik, Bd 10/2014 S 37–45
- IKEA (2013) Katalog. www.ikea.com. Zugegriffen am 05.08.2013
- Kagermann H, Wahlster W, Helbig J (2012) Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Forschungsunion im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, Berlin
- Klein B, Crawford RG, Alchian AA (1978) Vertical integration, appropriable rents, and the competitive contracting process. J Law Econ 21(2):297–326, University of Chicago Press, Chicago
- Lorenz J (2014) Steigerung der Produktivität durch effizientes Shop Floor Management – neue Tools als Schlüssel zum Erfolg im Werk Leibertingen. Mahle Global 06/14
- Maney K (2003) The Maverick and his machine. Wiley, New York, S 355 f.
- Metaio GmbH (2010) Next generation of augmented reality using Intel technology (Pressemitteilung am 17.02.2010 in München)
- Metaio GmbH (2013) MARTA augmented reality service support for new XL1 concept car (Pressemitteilung am 30.09.2013 in München und Wolfsburg)
- Peters R (2009) Shopfloor Management: Führen am Ort der Wertschöpfung. LOG_X Verlag, Stuttgart
- Schäfer R (2015) Industrie 4.0: Die Zeit drängt – Vernetzte Produktion, 05.02.15. www.maschinenmarkt.de. Zugegriffen am 15.10.2015
- Schein EH, Delisi PS, Kamps PJ, Sonduck MM (2003) DEC is dead, long live DEC: the lasting legacy of digital equipment corporation. Berlett-Koehler, San Francisco, S 38
- Sinsel A (2011) Organic Computing als Konzept zur Steuerung interagierender Prozesse in verteilten Systemen. Optimus Wissenschaftsverlag, Göttingen, S 104–118
- Soder J (2014) Use case production: Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0. In: Bauernhansl T, ten Hompel M, Vogel-Heuser B (Hrsg) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer Fachmedien, Wiesbaden, S 85–102
- Sommerhäuser L (2015) Industrie 4.0 braucht ‚Dirigenten‘. IT-ZOOM. 11.03.2015. <http://www.it-zoom.de/it-director/e/industrie-40-braucht-dirigenten-10366/>. Zugegriffen am 15.10.2015
- Statistisches Bundesamt (2011) <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/DemografischerWandel/BevoelkerungsHaushaltsentwicklung.html>. Zugegriffen am 22.04.2015
- v d Malsburg C (2003) Self-organization: the unfinished revolution. In: Greiner W, Reinhardt J (Hrsg) Idea-finding symposium for the Frankfurt Institute for Advanced Studies, EP Systema, Frankfurt, S 127–138
- Venkatesh V, Bala H (2008) Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. Decis Sci 39(2):273–315
- Westkamp M (2012) Löhnen Mühe und Investment? Nutzenpotentiale von Manufacturing Execution Systems. Qualität und Zuverlässigkeit 57(4):28–30
- Zeitler N (2011) 40 Prozent Arbeitszeit für Informationssuche – Falsche ERP-Strategie. CIO Magazin. <http://www.cio.de/a/falsche-erp-strategie,2275963>. Zugegriffen am 15.10.2015



SMART
SENSOR
BUSINESS

SMARTER **PRODUCT** USABILITY

SMARTER **APPLICATION** KNOW-HOW

SMARTER **CUSTOMER** SERVICE



Teil V

Plattformen für Industrie 4.0 und IT-Sicherheit

Sichere Industrie-4.0-Plattformen auf Basis von Community-Clouds

Johannes Diemer

Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt die Konzeption und prototypische Realisierung einer föderativen und zugleich hochsicheren IKT-Plattform für die Kooperation in horizontalen Wertschöpfungsnetzwerken, die im Rahmen der Forschungsinitiative Virtual Fort Knox erstellt wurden. Beschrieben werden die technischen Aspekte der IKT-Infrastruktur, Konzepte und Lösungen für die Sicherheit sowie die sozio-emotionalen Einflussfaktoren, insbesondere die Rolle von Vertrauen und Akzeptanz beim Aufbau und Betrieb solcher kooperativen Plattformen. Abschließend wird auf neue Geschäftsmodelle und deren Bewertung eingegangen.

1 Industrie 4.0: Vom Konzept zur Infrastruktur

Die deutschen Anlagen- und Maschinenbauer haben eine führende Position im Weltmarkt. Durch ihr vorausschauendes und mittelständisch geprägtes Management haben sie die jüngste Wirtschaftskrise gemeistert und gelten als die Konjunkturmotoren Europas. Die zunehmende Dynamisierung von Produktlebenszyklen und die Individualisierung von Produkten sowie neue Technologien im Kontext der Globalisierung fordern nun eine weitere Erhöhung der Produktivität und eine ständige Weiterentwicklung. Gleichzeitig herrscht in Deutschland ein Mangel an ausgebildeten Ingenieuren, es gilt also insbesondere die Produktivität des Einzelnen zu erhöhen.

Der Wandel der Produktions- und Geschäftsparadigmen hin zu firmenübergreifenden kooperativen Produktions- und Wertschöpfungsverbänden (sog. horizontalen Wertschöpfungsnetzwerke, s. Abb. 1) soll den Maschinen- und Anlagenbau in Deutschland befähigen, die Herausforderungen zu meistern.

J. Diemer (✉)
Hewlett-Packard GmbH, Berlin, Deutschland
E-Mail: Johannes.diemer@hp.com

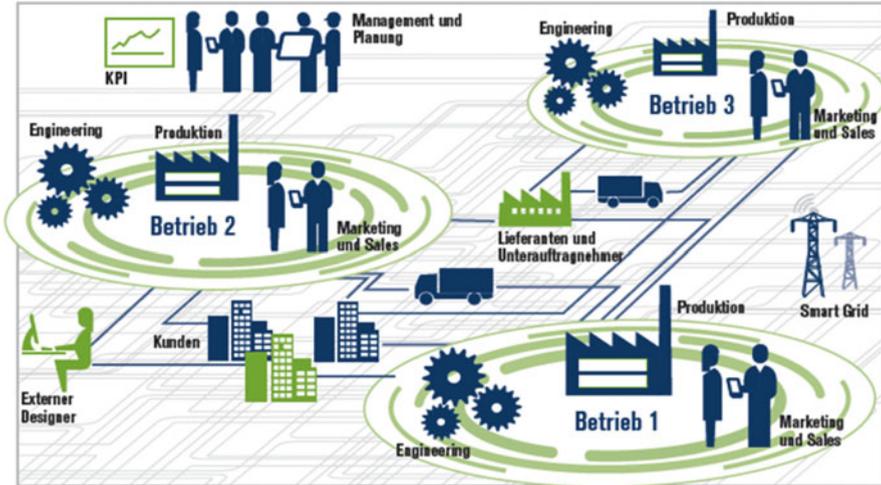


Abb. 1 Horizontales Wertschöpfungsnetzwerk, HP

Dieser Ansatz hat große Potenziale, die u. a. in der Umsetzungsempfehlung für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 (vergl. Kagermann et al. 2013) ausführlich beschrieben sind, wie zum Beispiel:

- Vernetzung von autonomen, sensorgestützten und räumlich verteilten Produktionsressourcen und der Komponenten (Antriebe, Maschinen, Roboter, Förder- und Lagersysteme, Betriebsmittel) inklusive deren Planungs- und Steuerungssysteme mit wirtschaftlichen Daten und Prozessen (z. B.: bei der Auftragsabwicklung)
- Flexibilisierung und dynamische Gestaltung von Geschäfts- und Produktionsprozessen
- Optimierte Entscheidungsfindung
- Berücksichtigung von individuellen kunden- bzw. produktspezifischen Kriterien bei Entwurf, Konfiguration, Bestellung, Planung, Produktion, Betrieb und Recycling
- Integration von intelligenten Produkten, die über das Wissen ihres Herstellungsprozesses und künftigen Einsatzes verfügen
- Wertschöpfungspotenziale durch neue Dienstleistungen
- Ressourceneffizienz

Andererseits sind die Anforderungen an solche horizontalen Wertschöpfungsnetzwerke immens, da diese die zunehmende Flexibilisierung robust auf höchstem Qualitätsniveau von Engineering-, Planungs-, Produktions-, Betriebs- und Logistikprozessen gewährleisten sollen. Sie zeichnen sich durch eine neue Intensität sozio-technischer Interaktion aller an der Produktion beteiligten Akteure, Ressourcen und Daten aus, die in den Lebenszyklen des Produkts, der Technologie, der Fabrik und

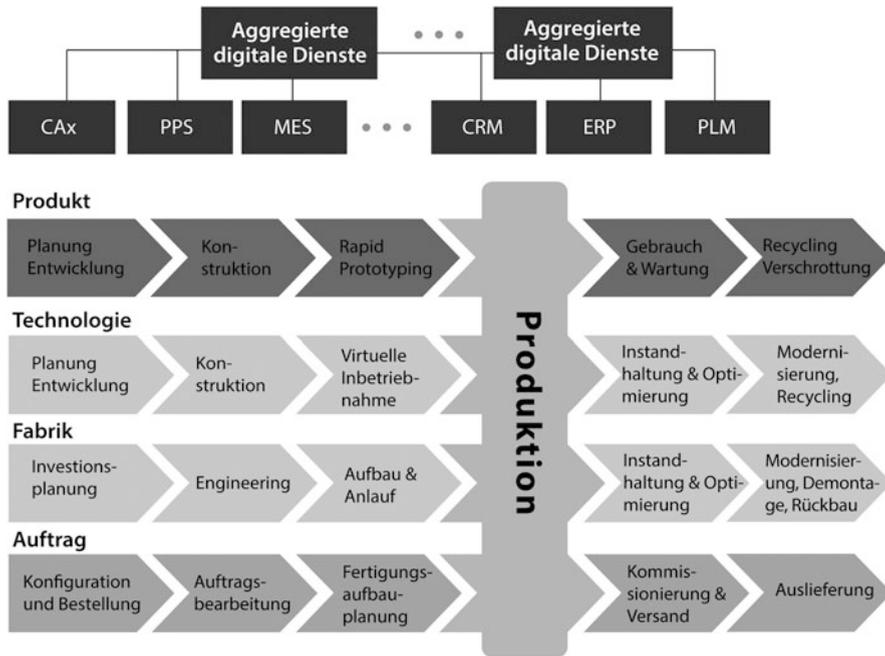


Abb. 2 Vier Lebenszyklen in der Produktion und digitale Dienste, Prof. Bauernhansl, Fraunhofer IPA

letztlich des kommerziellen Lebenszyklus eines Auftrages auftreten. Es werden digitale Werkzeuge benötigt, die über alle Lebenszyklen hinweg Dienste anbieten und aggregieren können (s. Abb. 2).

Die Umsetzung der horizontalen Wertschöpfungsnetzwerke erfordert offene, föderative und zugleich hochsichere ITK-Infrastrukturen bzw. Plattformen. Für den Betrieb dieser Plattformen werden neue Ansätze und Organisationen der Kooperation zwischen Maschinen- und Anlagenbauer sowie den IT-Firmen entstehen. Sie werden in ihrem ökonomischen Umfeld zu neuen Geschäftsmodellen führen, die die geschilderten Potenziale von Industrie 4.0 nutzen und umsetzen.

2 Virtual Fort Knox – Baden-Württembergs Industrie-4.0-Plattform für die Kooperation im Maschinen- und Anlagenbau

In Baden-Württemberg, dem Land mit einem überproportionalen Anteil an produzierenden Unternehmen in Deutschland, wurden die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Potenziale und Herausforderungen horizontaler Wertschöpfungsnetzwerke sowie die daraus folgende Notwendigkeit der Zusammenarbeit der Maschinen-

und Anlagenbauer mit IT-Unternehmen früh erkannt. Deshalb unterstützt die Landesregierung eine Forschungsinitiative mit dem Namen „Virtual Fort Knox“ (VFK), die vom Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) und der Hewlett-Packard GmbH (HP) 2012 gestartet wurde. Ein besonderes Anliegen der Initiative ist die Einbeziehung kleiner und mittelständischer Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, damit diese durch Kooperation ihre Effizienz steigern können und dadurch im globalen Wettbewerb ihre weltweit führende Rolle weiter ausbauen können. In einem Pilot-Projekt des Landes Baden-Württemberg wurde ein Referenzmodell für eine föderative, sichere IKT-Plattform für produzierende Unternehmen konzipiert und ein Prototyp implementiert.

Virtual Fort Knox lässt sich aus zweierlei Blickwinkeln beschreiben:

- Einerseits inhaltlich-technisch. Hier geht es um die technischen Aspekte der IT-Infrastruktur einschließlich der Integration der sogenannten „cyber-physische Systeme“ (CPS) sowie um die notwendigen Konzepte, Lösungen für die Sicherheit (Schutz des Wissens und geistigen Eigentums (Intellectual Property – IP)) und Verlässlichkeit. Die Umsetzung der Initiative zielt darauf ab, im Sinne von Industrie 4.0 mit der Plattform die folgenden drei Merkmale sicher und verlässlich zu realisieren: (1) Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke, (2) digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette sowie (3) vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme (vergl. Kargermann et al. 2013) Schließlich stellt sich die Frage nach dem geeigneten Betreiber-Modell bzw. der Organisationsform des/der Betreiber(s) und den entsprechenden Geschäftsmodellen.
- Andererseits stand die Frage, welche Rolle Vertrauen und Akzeptanz beim Aufbau einer solchen Plattform spielen, von Anfang an im Zentrum des Forschungsprojekts. Warum soll ich die Plattform Virtual Fort Knox nutzen? Werden mein Wissen und IP im Rahmen der Kooperation ausreichend geschützt? Ist die Kooperation für mich rentabel, bringt sie zusätzlichen Umsatz, Gewinn oder reduziert sie wesentlich meine Kosten? Dies sind die typischen Fragen, die durch die Initiative nicht nur technisch fundiert, sondern auch unter Berücksichtigung sozioemotionaler Aspekte beantwortet werden müssen.

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die technischen Kernelemente beschrieben (Abschn. 3) und dann auf die Rolle und Schaffung von Akzeptanz und Vertrauen als wesentliche Aspekte zum Thema Sicherheit eingegangen (Abschn. 4). Akzeptanz wird durch die richtigen Konzepte für die Themen „Sicherheit und Vertrauen“, „Nutzen“ und letztlich mit geeigneten „Geschäftsmodellen“ geschaffen. Deshalb wird ein Abschnitt (Abschn. 5) sich mit der für Industrie 4.0 wichtigen Frage der Geschäftsmodelle für kooperative Plattformen am Beispiel der konkreten Realisierung einer solchen Plattform, eben dem Virtual Fort Knox, beschäftigen und ein entsprechendes „Framework“ vorstellen.

3 Technische Kernelemente

Aus technischer Sicht sind zunächst der Zweck und die daraus abzuleitenden Eigenschaften der VFK-Plattformen zu betrachten. Der Zweck ist im Sinne von Industrie 4.0 die Unterstützung der unternehmensübergreifenden Kooperation durch die intelligente Vernetzung aller Ressourcen in den Unternehmen und über die Unternehmensgrenzen hinaus. Informationen bzw. Daten werden in unterschiedlichen Unternehmen und Unternehmensbereichen erfasst und auf der Plattform zusammengeführt. Zu den technischen und physischen Datenquellen zählen unter anderem intelligente Lager, Werkzeuge und Materialien, mobile Ressourcen, Maschinen und Anlagen, Mitarbeiter, intelligente Robotersysteme bis hin zu ganzen Fabriken. Jedes intelligente, mit Sensoren oder Aktoren ausgerüstete System, auch „cyber-physische Systeme“ (CPS) genannt, unterstützt zukünftig neben der Informationsverarbeitung die Kommunikation zwischen den Ressourcen untereinander.

Die entscheidende Eigenschaft der Plattform ist dabei ihr föderativer Charakter, der den Schutz von Wissen und geistigem Eigentum sicherstellt. Föderativ bedeutet in diesem Kontext, dass die VFK-Plattform, Dienste und Anwendungen von unterschiedlichen Teilnehmern gemeinsam für kooperative Aktivitäten genutzt werden, wobei jedoch für jeden der Teilnehmer die eigene Komponente beziehungsweise der eigene Kontext gesichert bleibt, s. Abb. 3. Es werden nur die Daten und Informationen zwischen den Teilnehmern ausgetauscht, die für das gemeinsame Agieren notwendig sind.

Der Zugang erfolgt über ein Marktplatz-Portal, in dem ein Broker für das Aufsetzen und die Verwaltung (einschließlich der Abrechnung) von aggregierten Diensten, die mehrere Dienste in Workflows zusammenfassen, zuständig ist. Die Mitarbeiter in produzierenden Unternehmen (Kunden) nutzen über das Portal anforderungsgerechte Softwarelösungen und Dienste bei der Ausführung ihrer Tätigkeiten. Anbieter von Software und Diensten, im Folgendem auch „Independent Software Vendors“ (ISVs) genannt, und Partner bieten über das Marktplatz-Portal ihre Leistungen an.

Die Offenheit der Plattform wird durch die Konzeption eines systemoffenen Kommunikationssystems realisiert. Dabei handelt es sich um einen „Manufacturing Service Bus“ (MSB) mit Schnittstellen zur Vernetzung der föderativen Plattform mit Diensten für betriebswirtschaftliche Verwaltungs- und Planungssysteme (Customer Relation Management – CRM, Enterprise Resource Management – ERP), Systemen zur Verwaltung der Produktlebenszyklen (Product Lifecycle Management – PLM) und Produktionsplanungssysteme (PPS) mit integrierter Fertigungssteuerung (Manufacturing Execution System – MES). Über den MSB werden auch die Datenschnittstellen der CPS sowie mandantenfähige föderative Datenbanken angebunden.

Bereits in einer sehr frühen Projektphase fiel die Entscheidung, die Plattform des Virtual Fort Knox auf Basis bereits existierender Hardware- und Software-Architekturen zu konzipieren, die aufgrund ihrer modularen Struktur und Flexibilität im Verlaufe des Projekts iterativ angepasst und erweitert werden können. Dafür wurde

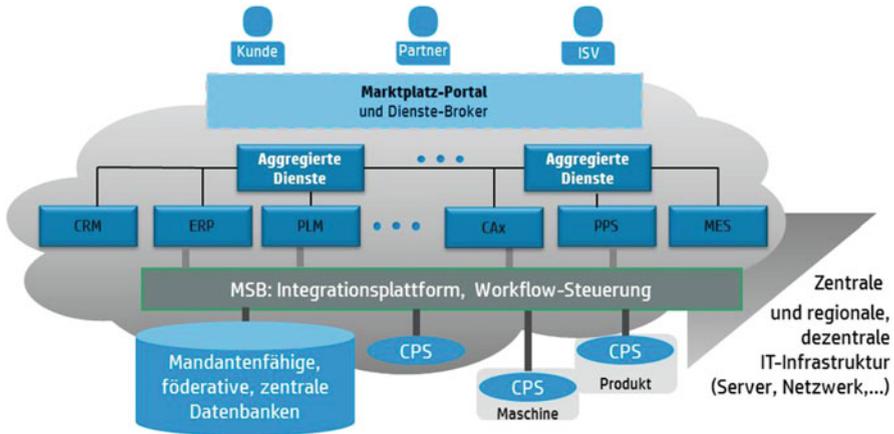


Abb. 3 Übersicht der VFK-Plattform

ausgehend von der HP-Cloud-Referenzarchitektur eine Referenzarchitektur für die Plattform entwickelt und in einem Pilotprojekt implementiert.

3.1 Referenzarchitektur

In der HP-Cloud-Referenzarchitektur (Abb. 4) werden die Funktionen für die Steuerung und Verwaltung von Diensten und Ressourcen in die folgenden drei Ebenen untergliedert:

- Nachfrage (Demand)
Auf dieser Ebene werden alle Aspekte der Erfassung, Registrierung und Authentifizierung von internen und externen Nutzern (Kunden, Dienste- und Softwareanbietern) sowie die Erfassung, Realisierung und individuelle Abrechnung ihrer angeforderten Dienstleistungen behandelt, basierend auf dem Prinzip „konfiguriert auf Bestellung“. In ihr werden die gesamten Lebenszyklen der Beziehungen zwischen Verbrauchern und den von ihnen verwendeten Dienstinstanzen abgebildet.
- Lieferung (Delivery)
Auf der Ebene der Lieferung werden im Sinne des Designs von aggregierten Diensten alle Aspekte des Zusammenstellens und der Verwaltung der einzusetzenden Ressourcen sowie deren Bereitstellung als Instanz eines Dienstes geregelt. Diese Ebene umfasst den gesamten Lebenszyklus hinsichtlich der Verfügbarkeit von Diensten, die dem Kunden automatisiert zur Verfügung gestellt werden, sowie deren Instanzen und verknüpft diese mit den entsprechend einzusetzenden Ressourcen.

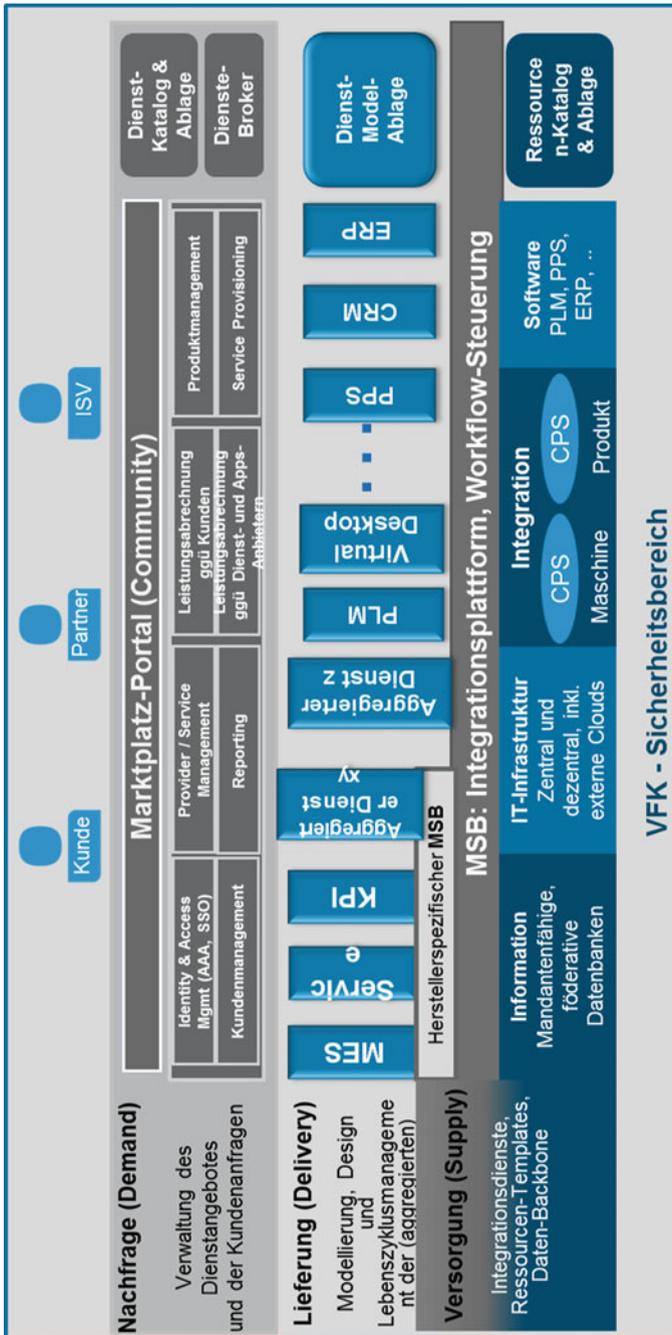


Abb. 4 VFK-Referenzarchitektur

- **Versorgung (Supply)**

Diese Ebene versorgt die Instanzen der höher liegenden Lieferungsebene mit allen benötigten Ressourcen, die Bestandteil eines Dienstes sind. Diese können als reine IT-Infrastruktur (Kombination aus Rechner-, Speicher- oder Netzwerkressourcen), als Zugang zu Informationen, zu Datenbanken sowie zu Software-Lösungen vorliegen. Diese Ressourcen können innerhalb der Plattform, aber auch extern z. B. als Dienst von externen Cloud-Angeboten, existieren. Innerhalb der Versorgungsebene wird der Lebenszyklus all dieser Ressourcen dokumentiert und verwaltet. Im Fall der VFK-Plattform beinhaltet die Versorgungsebene auch die Anbindung von Maschinen und Anlagen sowie deren Einbindung in Workflows komplexer und aggregierter Dienste. Die Referenzarchitektur des VFK sieht deshalb innerhalb der Versorgungsschicht einen „Manufacturing Service Bus“ (MSB) vor, der genau diese Anbindung und Integration in Workflows ermöglicht.

Über alle drei Ebenen hinweg agieren Prozesse zur Bereitstellung, Weiterentwicklung und Freigabe eines Dienstes, dessen Nutzung (Zugriff auf den bereitgestellten Dienst) sowie ggf. dessen Integration in den Workflow eines übergeordneten aggregierten Dienstes. Ebenfalls stellen Prozesse die Einhaltung von Service Level Agreements sicher und liefern Messkriterien bezüglich der Nutzung des bereitgestellten Dienstes (zur Überprüfung der Service-Garantie). Alle diese Prozesse dienen also dem „Service Portfolio Management“ in der Plattform und müssen während der Implementierung für den Endanwender transparent gestaltet werden.

Die folgenden Themen sind unabhängig von der technischen Implementierung der Ebenen und müssen grundsätzlich innerhalb der Organisation der Plattform angegangen und in Prozessen abgebildet werden:

- „Governance“ (Risiko-, Policy-, Standards- und Architektur-Management sowie deren Compliance)
- „Business“ (Strategie, Nachfrage, Finanzierung, Rechnungslegung, Beschaffungsprozess und Kundenbeziehungen)
- „(IT-) Management“ (Betrieb der Gesamtumgebung)
- „Security“ (Identity Management sowie Applikations-, Informations- und Infrastruktur-Sicherheit)

3.2 Prototypische Umsetzung der Referenzarchitektur

Für ein erstes „Proof of Concept“ (PoC) wurde ein Demonstrator für ausgewählte Anwendungen implementiert. Der Demonstrator enthält die Kernmodule der Plattform über alle notwendigen technischen Ebenen hinweg, wobei die Integration von Softwarelösungen als Dienste im Sinne von „Software as a Service“ (SaaS) umgesetzt wurde. Um die Umsetzung der avisierten Einsatzszenarien nicht durch die Komplexität der Gesamtplattform zu gefährden, wurden nur die als absolut notwendig erachteten Hard- und Software-Komponenten der Cloud-Services berücksichtigt. Dies sind:

- Nachfrageebene: Föderative Plattform inklusive Portal-Komponente zur Definition, Bereitstellung und Verknüpfung von Diensten
- Lieferungsebene: Software zur automatischen Orchestrierung von Infrastrukturen und Software als Dienste.
- Versorgungsebene: Hardware inkl. logischer Abstraktionsschicht, um diese als (Teil-)Ressourcen bereitzustellen

Aufgrund der Entscheidung, den Demonstrator auf Basis existierender Komponenten zu konzipieren und gemäß dem Bedarf anzupassen, stellen die folgenden Produkte des Technologie-Lieferanten und -Partners HP eine Schlüsselrolle in der Plattformarchitektur dar:

- HP Aggregation Plattform für die Nachfrageebene (Ap4SaaS),
- HP Cloud Service Automation Suite für die Lieferungsebene (CSA/OO),
- HP Cloud System Matrix für die Versorgungsebene (CSM).

Wegen ihrer offenen und dokumentierten Schnittstellen können diese durch Produkte anderer Hersteller und zukünftige Entwicklungen ergänzt bzw. auch ersetzt werden.

In der Nachfrageebene wurden die folgenden Komponenten realisiert:

- Marktplatz (Darstellung),
- Haupt- und Admin-Komponente (Logik),
- Dienste-Aktivierungskomponente (Service Provisioning),
- Abrechnungskomponente.

Aus der Sicht der Endanwender und Dienstanbieter stellt der Marktplatz die zentrale Komponente der föderativen Plattform des Virtual Fort Knox dar. Die Dienstanbieter haben einen Zugang, um ihre Lösung auf dem Marktplatz einzubringen, die Anwender können über ihren Zugang zum Marktplatz die Dienste nutzen und bei Bedarf für ihre Bedürfnisse konfigurieren. Dabei können sowohl vom Anbieter als auch vom Anwender mehrere Dienste zu einem aggregierten Dienst zusammengefasst werden. Der Marktplatz stellt eine Übersicht über alle verfügbaren Dienste (Produktkatalog) inkl. Preisinformationen sowie eine Bestellfunktionalität zur Verfügung. Die zur Verfügung stehenden Dienste werden zum Zweck der Nutzung und Administration in der Haupt- und Admin-Komponente in Form eines Dienste- und Produktkatalogs gepflegt. Auch die an der Plattform beteiligten Parteien, wie Software- und Dienstanbieter, Partner, Kundenorganisationen und Endanwender, werden hier verwaltet. Die Plattform stellt somit die Verknüpfung zwischen technischen (Diensten), kommerziellen (Produkte/Preisinformationen) und administrativen (Anwender) Aspekten dar.

Die Aktivierung verschiedenster technischer Dienste nach Bestellung wird über die Dienste-Aktivierungskomponente gewährleistet. Dies geschieht durch sogenannte Dienste-Adapter, die im Kontext der Aktivierung von Diensten ausgeführt werden. Im Virtual Fort Knox kommt hier ein generischer Adapter zum Einsatz, der

eine möglichst flexible Verknüpfung mit den Komponenten der Lieferungs- und Versorgungsebene ermöglicht.

Neben funktionalen Aspekten (Dienste-Nutzung) ist die Abrechnung eine wichtige Grundlage für die kommerzielle Nutzung des Virtual Fort Knox. Diesen Zweck erfüllt die Abrechnungskomponente. Sie überwacht die Endanwender-Nutzung der erbrachten Services und rechnet diese nach Kriterien wie Zeit oder anderen dienstspezifischen „Pay Per Use“-Messgrößen ab.

In der Lieferungsebene kommt die HP Cloud Service Automation Suite (CSA/OO) zum Einsatz. Intern gliedert sich diese in die zwei Bestandteile

- HP Cloud Service Automation (CSA) und
- HP Operations Orchestration (OO),

die einen nicht trennbaren Verbund bilden.

Die HP Cloud Service Automation bildet die Schnittstelle zur Dienste-Aktivierungskomponente der Nachfrageebene. In ihr wird die logische technische Bereitstellung der Dienste unter Verwendung einer offenen Ablage (Repository) verwaltet. Die Struktur der Ablage kann an die unterschiedlichen Gegebenheiten und Anforderungen angepasst werden.

Der interne Prozessablauf wird mithilfe der „Operations Orchestration“ abgebildet. Sie ermöglicht das Modellieren von Prozessabläufen, mit denen wiederkehrende Tätigkeiten, die zur Konfiguration eines technischen Dienstes notwendig sind, automatisiert werden können. Die „Operations Orchestration“ bildet die technische Grundlage für die schnelle, automatische Verfügbarkeit von Diensten beinahe aller Anwendungen und ist die Schnittstelle zur Versorgungsebene. Die offenen Schnittstellen der CSA-Ablage und die weitreichende Anpassungsfähigkeit des Datenmodells lassen eine modulare Erweiterbarkeit zu. Auf Seiten der Prozess-Automatisierung durch die „Operations Orchestration“ wird die Integration von Infrastruktur, Betriebssystemen und Anwendungen in die Abläufe durch zahlreiche vorgefertigte Schnittstellen unterstützt. Die offene Architektur erlaubt die Einbindung der in der Referenzarchitektur erwähnten Ressourcen der Versorgungsebene, wie den Zugang zu Informationen, zu Software-Lösungen und externen Cloud-Angeboten. Darüber hinaus ermöglicht sie die Eigenentwicklung von spezifischen Automatisierungsabläufen. Im Demonstrator wird als Infrastruktur-Komponente das HP Cloud System Matrix (CSM) mit seinen Funktionen im Rahmen der Bereitstellung von Infrastruktur als Dienst, „Infrastructure as a Service“ (IaaS), eingebunden.

Die Versorgungsebene der Demonstrationsplattform besteht aus Hardware, Betriebssystemen, Datenbanken und Management-Software, mit der diese Ressourcen in logische Ressourcen abstrahiert werden können. Im Demonstrator wird die Management-Software des CSM eingesetzt. Diese legt eine Abstraktionsschicht über die verfügbare Hardware, die sich grob in physikalische und virtuelle Ressourcen untergliedern lässt. Ressourcen sind dabei Server, Hauptspeicher, Plattenspeicher sowie Netzwerke und komplette Storage-Lösungen. Dabei können verschiedene Technologien für die Virtualisierung verwendet werden.

Alle in den verschiedenen Ebenen verwendeten Komponenten können modular, je nach Anforderung eines Dienstes, miteinander verknüpft werden, um verschiedene lauffähige Dienste „end-to-end“ bereitzustellen.

3.3 Der Manufacturing Service Bus

Innerhalb der Versorgungsebene muss dann weiterhin die Integration der cyber-physischen Systeme erfolgen sowie die Anbindung mandantenfähiger, föderativer Datenbanken für PLM, ERP, CRM, PPS etc. gewährleistet werden. Die Unterstützung von Workflows, insbesondere im Sinne der horizontalen Integration von Diensten unterschiedlicher Anbieter in Wertschöpfungsnetzwerken, erfordert die Anbindung und Steuerung über einen offenen Manufacturing Service Bus (MSB), der dann auch Zugriff auf den Datenbackbone und die cyber-physischen Systeme hat. Für deren Anbindung existieren erste Standards (wie OPC UA, ROS, . . .), die in der Architektur des MSB integriert werden sollten.

Für die bisherigen Anwendungen auf dem Demonstrator werden herstellerebene Lösungen für den MSB und die Anbindung von Maschinen genutzt, die eine horizontale Integration von Diensten in einem Wertschöpfungsnetzwerk nur wenigen Partnern ermöglicht.

Hier besteht noch weiterer Entwicklungsbedarf im Rahmen des VFK und langfristig müssen gemeinsame Standards berücksichtigt werden, sobald sich der Maschinen- und Anlagenbau, die Automatisierungs- sowie die IKT-Branche im Kontext von Industrie 4.0 auf diese geeinigt haben.

Da im Rahmen des Virtual Fort Knox keine eigenen Standards gesetzt werden sollen, wurde ein Konzept für den MSB entwickelt, das die Anbindung unterschiedlicher Protokolle vorsieht (Abb. 5). Der Service-Bus wird aus drei Ebenen bestehen:

- dem eigentlichen „Bus“ in der Mitte, der für die Kommunikation zwischen den Diensten, den Maschinen und Anlagen sowie intelligenten Produkten zuständig ist,
- der darunter liegenden Ebene mit Integrationsdiensten für die Anbindung der Maschinen- und Anlagenkomponenten mit unterschiedlichen Protokollen
- sowie der darüber liegenden Ebene, die für die Ausführung der entsprechenden Dienste zuständig ist.

Der Bus wird mittels eines „Message Transformator“ realisiert. Für diesen wird ein geeignetes Protokoll entwickelt, das die Anbindung möglichst vieler unterschiedlicher Technologien vorsieht. Dabei soll dieses Protokoll den MSB befähigen, mit unterschiedlichen Architekturstilen umgehen zu können. Der MSB muss sowohl für datenorientierte synchrone und kurz laufende Prozesse als auch lang laufende, prozessorientierte Dienste mit synchroner und asynchroner Kommunikation funktionieren. Die Unterstützung der folgenden Architekturstile wurde dabei angedacht:

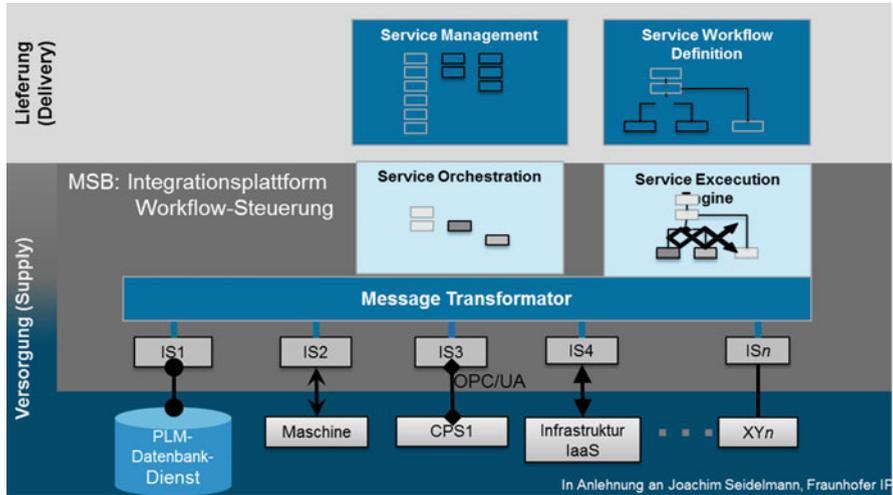


Abb. 5 MSB des Virtual Fort Knox (in Anlehnung an Joachim Seidelmann, Fraunhofer IPA)

- **Schnittstellenorientierter Ansatz,**
bei dem jeder Dienst über eine eigene Schnittstelle verfügt und die Kommunikation bevorzugt synchron erfolgt. Das Nachrichtenformat kann der Webservice-Spezifikation des „Simple Object Access Protocol“ (SOAP) entsprechen und die Schnittstelle kann per „Web Service Description Language“ (WSDL) definiert sein.
- **Nachrichtenorientierter Ansatz,**
bei dem der Schwerpunkt auf auszutauschenden Nachrichten liegt, was bedeutet, dass die Kommunikation asynchron, teilweise indirekt über vermittelnde Instanzen erfolgt. Das Nachrichtenformat kann der schnittstellenorientierten Architektur entsprechen.
- **Ressourcenorientierter Ansatz,**
auch bekannt unter dem Begriff „Representational State Transfer“ (REST), bei dem der Schwerpunkt analog dem Web und seinem HTTP-Protokoll auf eindeutig identifizierbaren Ressourcen (per „Unified Resource Identifier“ (URI)) liegt, die über ihren Inhalt unterscheidbar repräsentiert sind (Repräsentation mittels Content-Type) und dabei mittels Hypermedia sowie über einheitliche Schnittstellen agieren. Die Ressource ist nicht das gespeicherte Objekt oder der Dienst selbst, sondern eine abstrakte Schnittstelle für eine konzeptionelle Zuordnung eines URI zu einem Objekt oder Dienst. Beim diesem Ansatz können Ressourcen in beliebiger Form Informationen, Daten und auch Dienste zur Verfügung stellen.

Als eine der großen Herausforderungen von Industrie 4.0 wird die Einbindung von echtzeitfähigen Steuerungen gesehen. Die Integration solcher Steuerungssysteme in eine dienstorientierte Plattform erfordert ein deterministisches Verhalten aller beteiligten Prozesse. Diese Anforderung muss zunächst innerhalb des MSB gelöst werden, hat aber auch Auswirkungen auf die Prozesse der Liefer- und Nachfrageebene.

Für die eigentliche Anbindung der unterschiedlichen Technologien wird dann in der Ebene unter der Kommunikation die Übersetzung der Protokolle von sogenannten Integrationsdiensten, „Integration Services“ (IS), vorgenommen. In der Umsetzung ist die Anbindung über die „OPC Unified Architecture“ (OPC/UA), Web Services und REST. Insbesondere bei der Anbindung von Maschinen, Teilkomponenten und ganzen Anlagen wird die Integration über den Integrationsdienst für OPC/UA erfolgen. OPC/UA verfügt bereits über eine Reihe von Schnittstellen zu herkömmlichen Steuerungen.

Die Integration in den Workflow der aggregierten Dienste erfolgt auf der obersten Ebene des MSB. Dabei ist die „Service Execution Engine“ für die Ausführung der von der „Service Orchestration“ aufgesetzten Dienste innerhalb des Workflows zuständig. Beide haben entsprechende Schnittstellen zum „Message Transformator“, um die richtigen Integrationsdienste und das entsprechende Protokoll auszuhandeln und auszuführen.

3.4 IT-Sicherheitstechnologie

IT-Sicherheitstechnologie wird auf allen Ebenen der Referenzarchitektur implementiert. IT-Sicherheitslösungen werden in diesem Abschnitt als notwendige Werkzeuge gesehen, die im Rahmen einer umfassenden Sicherheitsarchitektur für die kontinuierliche Umsetzung von Sicherheitsrichtlinien genutzt werden. Das Produktportfolio zu Sicherheitslösungen ist vielfältig und kann hier nicht im Einzelnen beschrieben werden. Abb. 6 gibt einen Überblick über die IT-Sicherheitslösungen im Kontext der Referenzarchitektur. Die meisten Lösungen sind komponentenorientiert, was

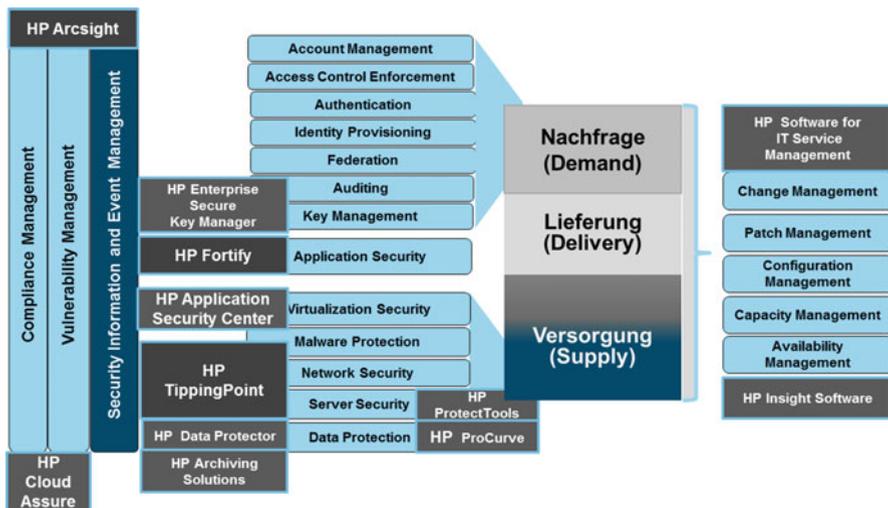


Abb. 6 Software-Sicherheitslösungen im Überblick

bedeutet, dass sie die Sicherheit zum Beispiel für das Netzwerk, mit seinen Routern und Switchen, für Server, virtuelle Systeme oder für Anwendungen realisieren.

Neben komponentenorientierten Lösungen wird im Virtual Fort Knox eine „Security Information und Event Management“-Lösung (HP Arcsight) eingesetzt, die das Monitoring und die Verwaltung aller sicherheitsrelevanten Geräte, seien es IT-Infrastruktur-, Netzwerk- oder auch Maschinen- und Anlagenkomponenten, in ein System integriert. Das System wertet die sicherheitsrelevanten Daten dieser Komponenten aus, aggregiert die Information und rekonstruiert mithilfe eines Data-Mining-Ansatzes auf Korrelationsbasis reale Angriffsmuster. Für spätere forensische Untersuchungen wird eine revisions sichere Archivierung der Daten unterstützt. Zudem liefert das System eine Statuszusammenfassung mit grafischen Elementen aus aussagekräftigen Berichten. So wird sichergestellt, dass jederzeit der Status der IT-Sicherheit in Verantwortungsbereichen aufgezeigt, bewertet und gegebenenfalls abgesichert werden kann. Da die Plattform gerade auch für viele mittelständische Softwarehersteller vorgesehen ist und eine Vielzahl von Applikationen relativ einfach, aber auch sicher auf der Plattform verfügbar sein sollen, wird auf der Plattform eine Software-Lösung zur Quellcode-Analyse (HP Fortify) angeboten, die bestehende Anwendungen auf Schwachstellen und Sicherheitslücken untersucht und dann Code-Modifikationen zur Behebung vorschlägt. Dieser Dienst kann auch als „SaaS“ genutzt werden. So kann bei entsprechenden Sicherheitsklassen gefordert werden, dass alle Anwendungen vor dem Einsatz auf der Plattform einen Sicherheitscheck durchlaufen müssen.

4 Vertrauen und Akzeptanz: Das Vertrauensmodell des VFK

4.1 Subjektive Wahrnehmungen als Kernelement einer technischen Plattform

Die zukünftigen Kooperationspartner werden hohe Ansprüche an die Sicherheit der Plattform stellen, da sie Teile ihres geistigen Eigentums in Form von Daten und Informationen in den Verantwortungsbereich des VFK übertragen werden. Das können beispielsweise Informationen über Geschäftsprozesse oder Daten über das technische Know-how des Kunden sein (unter anderem in Form von Konstruktionsdaten von Maschinen). Des Weiteren stellt die Bereitschaft, Kooperationen mit bislang unbekanntem Partnern einzugehen, eine zusätzliche Komplexitätsstufe dar, die den Aufbau und die Aufrechterhaltung von Vertrauen verlangt (vergl. Lee et al. 2011).

Vertrauen ist ein vielfältiger Begriff, der aus unterschiedlichen Perspektiven definiert werden kann. Im Kontext der Kollaboration im Engineering wird Vertrauen von Kern als „subjektive Erwartung eines Entwicklungspartners bezüglich des Verhaltens seiner Interaktionspartner“ und als „die Voraussetzung für jede Interaktion“ beschrieben (vergl. Kern 2005). Aus der Sicht des Informationssicherheitsmanagements „basiert Vertrauen auf der Einschätzung, ob ein Anbieter alle Risiken ausreichend, angemessen und nachhaltig abgedeckt hat, sowohl diejenigen aus dem

Bereich der Informationssicherheit als auch jene aus Bereichen wie Datenschutz, Technik und Recht“ (vergl. BSI 2012). Nach Schweer gründet sich Vertrauen in eine Organisation auf der Wahrnehmung von Transparenz, Partizipationsmöglichkeiten, Kooperationsbereitschaft, Orientierung an ethischen und moralischen Prinzipien, langfristiger Glaubwürdigkeit und Gerechtigkeit für alle Mitglieder der Organisation (vergl. Schweer 2012). Es geht also um die subjektive Wahrnehmung der Personen, deren Vertrauen man gewinnen will, und nicht um eine objektive Sicherheit, die gewährleistet wird. Dies wurde auch in Expertengesprächen bestätigt, die im Rahmen des Projekts geführt wurden. Vertrauen ist für die Gesprächspartner kein statischer Wert, sondern sollte sich aus der Interaktion der kooperierenden Partner auf persönlicher Ebene entwickeln. Deshalb lässt sich Vertrauen in die Plattform nicht direkt durch deren funktionelle und sicherheitstechnische Spezifikation erreichen. Notwendig ist eben die menschliche Interaktion in Form von Kommunikation, Kooperation sowie Koordination.

Im Rahmen des Projekts wurde ein Vertrauenskonzept entwickelt, das Akzeptanz als Ergebnis von planbaren Maßnahmen und Prozessen erzeugt, die den Aufbau sowie die Aufrechterhaltung von Vertrauen fördern, Abb. 7.

Akzeptanz wird im Kontext des VFK als der Zustand angesehen, der einen Anwender motiviert, sich dem Konsortium anzuschließen. Das ist genau dann der Fall, wenn er Vertrauen in das Plattformkonsortium hat, er sich einen Nutzen aus den Plattformfunktionen verspricht und wirtschaftlichen Erfolg erwartet. Das Vertrauensmodell des VFK geht davon aus, dass sich Akzeptanz nur indirekt über die drei Komponenten „Geschäftsmodell“, „Nutzen“ sowie „Sicherheit und Vertrauen“ beeinflussen lässt, Abb. 8. Dafür stehen Mittel der Transparenz- und Kommunikationsgestaltung sowie die Möglichkeit zur Partizipation zur Verfügung (vergl. Rapp 2012).

Die Partizipation ist dabei der entscheidende Gedanke. Sie wird durch Mitwirkungsrechte und -pflichten über die Leistungserbringung der VFK-Plattform erreicht.

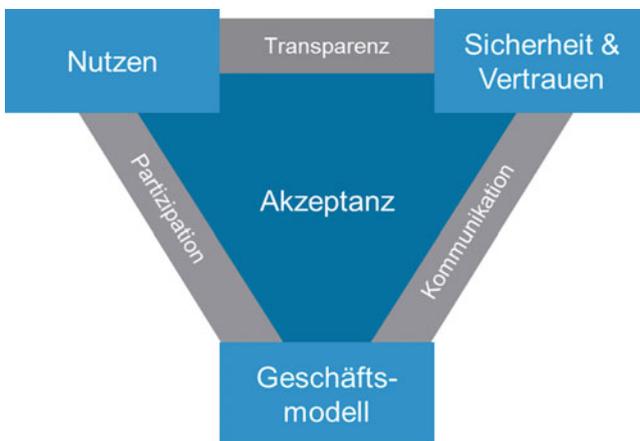


Abb. 7 Akzeptanz als Kernelement des Virtual Fort Knox

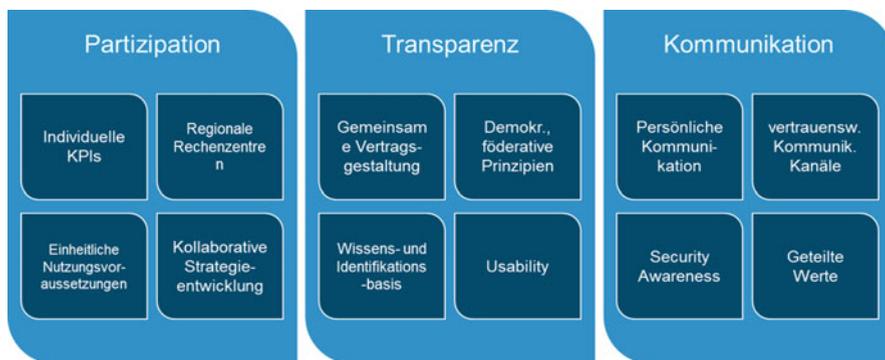


Abb. 8 Integrationsmodell zur Schaffung von Akzeptanz im VFK

Die beteiligten Partner und Kunden werden in die Entwicklung und die Regelung des Betriebs der Plattform einbezogen und erhalten somit eine Identifikationsmöglichkeit mit der Plattform, die über eine Kunde-Dienstleister-Beziehung hinausgeht. Die Einbeziehung soll eine effiziente Abdeckung und Abstimmung der unterschiedlichen Anforderungen durch Kunden, Software- und Dienste-Anbieter ermöglichen. Formal wird dies in Regeln für das föderative Kooperationsmodell und in der Gesellschaftsform des VFK verankert.

Dabei ist der Grad der Mitwirkung auf ein sinnvolles und angemessenes Maß zu beschränken. Es ist angedacht, in Abhängigkeit des Engagements der Partner hier verschiedene Klassen der Mitwirkung zu realisieren. Beteiligte Partner können direkt Gesellschafter werden oder aber Anteile an der Gesellschaft erwerben. So entscheiden sie durch ihr Investment in die Gesellschaft über den Grad ihrer Mitwirkung sowie ihrer Beteiligung an Gewinnen der VFK-Plattform. Angestrebt wird eine Beteiligung insbesondere der Maschinen- und Anlagenbauer, um den besonderen Anforderungen dieses Leitmarktes gerecht zu werden.

4.2 Umsetzung

Grundsätzlich bietet sich bei der technischen Umsetzung zunächst eine Orientierung an den Standards des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), die in der sogenannten 100er Reihe beschrieben sind. So wird im BSI-Standard „100-2 IT-Grundschutz und Vorgehensweise“-der Aufbau eines Informationssicherheitsmanagements vorgeschlagen (vergl. BSI 2008b). Das Umsetzen dieser Maßnahmen bietet eine sehr gute Möglichkeit, ein grundlegendes Informationssicherheitsniveau zu erreichen.

Im Rahmen des Projekts wurde jedoch festgestellt, dass die Maßnahmen nach IT-Grundschutz nicht vollständig geeignet sind, um die besonderen Anforderungen für eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit auf der VFK-Plattform abzubilden. Das Eckpunktepapier des BSI (vergl. BSI 2012) geht auf die besonderen

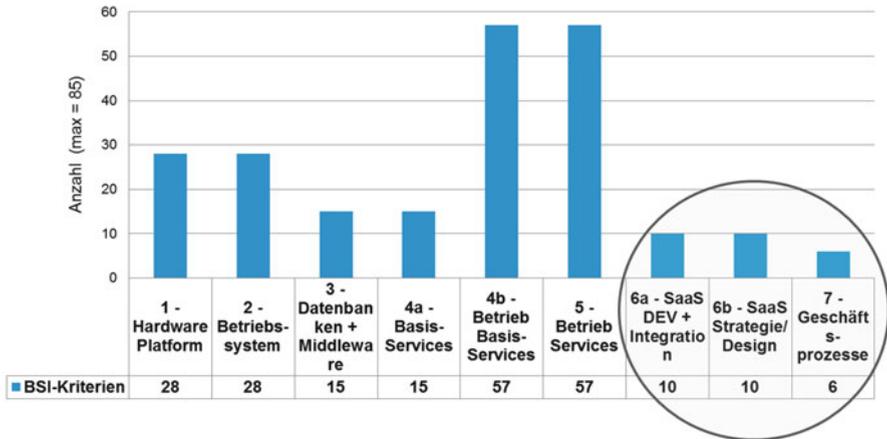


Abb. 9 Verteilung der BSI-Kriterien auf die Cloud-Referenzarchitektur gemäß Eckpunktepapier. (Quelle: interne HP Studie)

Anforderungen des Cloud Computing ein, fokussiert sich dabei aber auf die Ebenen bis zu SaaS (siehe Abb. 9) und macht zu den noch relativ jungen Geschäftsprozessen in Wertschöpfungsnetzwerken keine konkreten Aussagen. Es ist nicht detailliert genug, um daraus eine konkrete, die Geschäftsprozesse einschließende Sicherheitsarchitektur für eine Community Cloud abzuleiten.

Klar ist: Die bisher weit verbreitete Reduzierung der Sicherheit auf die Darstellung der technischen Leistungsfähigkeit von IKT-Schutzmechanismen reicht nicht aus, um Vertrauen zu schaffen. Die Komplexität dieser Schutzmechanismen ist oft für den Anwender nicht mehr nachvollziehbar und behindert sogar eher die Akzeptanz neuer IKT-Leistungsmodelle. Daraus ergibt sich, dass ein über die Sicherheitsarchitektur hinausreichendes Vertrauensbildungskonzept erforderlich ist, um der Sorge um Daten- und Kontrollverlust zu begegnen (vergl. Rapp 2012).

Das Architekturdesign befasst sich mit der Konzeption der Sicherheitsarchitektur und der darauf aufbauenden Sicherheitsmanagementprozesse. Dabei steht vor allem die Erfüllung der klassischen Informationsschutzziele Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität von Daten und Kommunikationsinfrastrukturen im Vordergrund.

Die Definition der Vertrauensprozesse hat dagegen die Schaffung von Akzeptanz für das VFK auf der Ebene sozio-emotionaler Einflussfaktoren zum Ziel. Diese umfasst Konzepte zur Förderung kollaborativer Arbeitsprozesse, die Definition von Kommunikationsstrukturen sowie von Partizipationsmöglichkeiten durch die Plattformpartner.

4.3 Sicherheitsarchitektur

Die folgenden wissenschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnisse wurden als Grundlage zur Entwicklung der Sicherheitsarchitektur des Virtual Fort Knox herangezogen:

- Security by Design basiert auf der Erkenntnis, dass sich die „klassische IT-Security“ zu „IT-Safety“ transformieren wird. IT-Security bezeichnet „Sicherheitstechnik, um die Geschäftsmodelle auf der Basis von Authentisierung, Autorisierung und Nachweisbarkeit zu gewährleisten, angereichert mit dem Wissen um die Problematik der Benutzbarkeit und der Wissensdefizite bei den Beteiligten“ (vergl. Kriha und Schmitz 2009, S. 2). Dagegen betrachtet IT-Safety Sicherheit nicht länger als zusätzliche, nachrüstbare Komponente von IKT-Systemen und damit als fehlerbehaftete Kompromisslösung, sondern als integralen Bestandteil, der bereits in frühen Innovations- und Konzeptionsphasen in die Planungs- und Wertebetrachtungen für IKT-Systeme einbezogen wird (Security by Design). Der Ansatz des IT-Safety-Paradigmas löst wesentliche Elemente sicherer IKT-Plattformen bereits in der konzeptionellen Architekturebene. Ihre wichtigsten Konzepte beziehen sich auf die Trennung von Rollen, Autoritäten (der Möglichkeit, etwas zu tun) und Rechten (der Erlaubnis, etwas zu tun) zur Ausführung von Methoden des Daten- und Funktionszugriffs. Jedes Programm und jeder Nutzer sollte die kleinste Menge an Rechten erhalten, die es oder er benötigt, um seine Aufgabe zu erfüllen (Role Based Access Control und Principle of Least Authority) (vergl. Kriha 2009, S. 98 ff.).
- Technologien sicherer Informations- und Kommunikationssysteme (vergl. Kriha 2009) gehen davon aus, dass die korrekte Anwendung sicherer Architekturprinzipien für die Plattforminfrastruktur und die Entwicklung von Plattformanwendungen eine aus technischer Sicht absolut sichere IKT-Plattform ermöglicht. Die Fehleranfälligkeit wäre damit ausschließlich auf bewusstes oder unbewusstes menschliches Fehlverhalten begrenzt. Dafür sind Technologien notwendig, die sichere Datenübertragung, -haltung und -verarbeitung gewährleisten, Zugangskontrollen zu Security Shells auf der Grundlage einer gesicherten Identifikation von Rollen und Services durchsetzen, den Diebstahl von Daten sowie den Erwerb von Autorität zur Aneignung von Daten und die Ausführung von Funktionen durch Unbefugte verhindern. Diese Technologien und die darauf beruhenden Vorgehensmodelle sind auf jeder Ebene der IKT-Architektur zu errichten und umzusetzen. In dem hier betrachteten verteilten Plattformkonzept liegt die Verantwortung für Entwicklung, Implementierung, Steuerung und Anpassung der identifizierten Mechanismen bei Anbietern und Anwendern der Plattform
- Management und Governance von Informationssicherheit. Governance beschreibt den Ordnungsrahmen für die zielgetreue, verantwortungsvolle, ethische und gesetzeskonforme langfristige Leitung und kontrollierende Steuerung der Plattform. Der Ordnungs- und Steuerungsrahmen des Virtual Fort Knox, in dem Risiken und die Einhaltung externer und interner Vorgaben integriert betrachtet und behandelt werden, wird unter dem Begriff „Management von Informationssicherheit“ (Security Governance) zusammengefasst. Im weiteren Sinn wird darunter die Auffassung von Informationssicherheit als Prozess- oder Lebenszyklusmodell verstanden, bestehend aus den Elementarphasen Zieldefinition, Risikomanagement, Umsetzung von Schutzmechanismen und kontinuierlichem Verbesserungsprozess (vergl. Pohlmann und Blumberg 2006, S. 31; vergl. Schmidt 2006, S. 2). Dieses Vorgehen ist in internationalen und nationalen Normen formalisiert (z. B. ISO 27001,

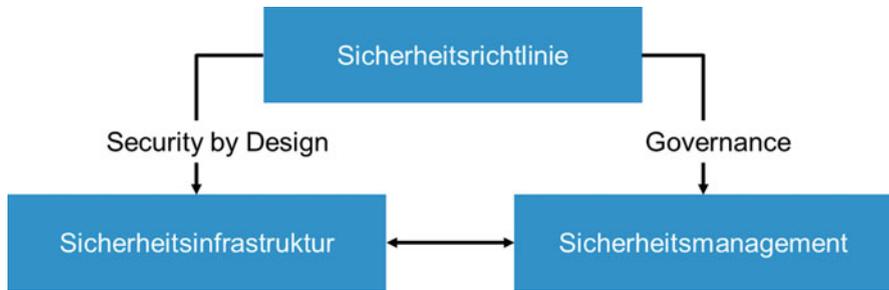


Abb. 10 VFK-Sicherheitsarchitekturmodell

BSI-Standard 100-1). Im engeren Sinne umfasst Informationssicherheitsmanagement Prozesse und Methoden der Realisierung von Informationssicherheitsmaßnahmen mithilfe von IKT-Systemen auf Basis des Risikomanagements. Das Informationssicherheitsmanagement dient durch die fortwährende Analyse der Effektivität und Effizienz dieser Prozesse der Anpassung von Maßnahmen oder Aktualisierung der Informationsschutzziele in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess.

Um die Vision einer einzigartig sicheren, kooperativen Plattform für den Maschinen und Anlagenbau verwirklichen zu können, wird die im Folgenden beschriebene, auf die besonderen Anforderungen des Nutzerkreises angepasste Sicherheitsarchitektur vorgeschlagen.

Die Sicherheitsarchitektur des Virtual Fort Knox (s. Abb. 10) implementiert Konzepte zur ganzheitlichen Betrachtung von technischer Sicherheit zum Management der VFK-Sicherheit. Eine Sicherheitsrichtlinie dient als zentrales Instrument zur Steuerung der Informationssicherheit. Aus der Sicherheitsrichtlinie leitet sich, unter Berücksichtigung des Security-by-Design-Ansatzes, zum einen die Sicherheitsinfrastruktur ab und zum anderen, unter Einbeziehung der Aspekte der Governance, das Sicherheitsmanagement der Plattform. Dabei beeinflussen sich die Sicherheitsinfrastruktur und das Sicherheitsmanagement gegenseitig. Die konkrete Implementierung der Infrastruktur hängt von den Anforderungen ab, die sich aus der Definition der Sicherheitsrichtlinie und des Sicherheitsmanagements ergeben.

Die Sicherheitsrichtlinie des Virtual Fort Knox umfasst ein Sicherheitsschichtenmodell mit den dazugehörigen Bewertungskriterien und Schutzziele sowie die Definition von organisatorischen Rollen und Verantwortlichkeiten in der Sicherheitsorganisation. Sie dient dazu, die Anforderungen des Nutzerkreises an ein risikogerechtes Sicherheitskonzept abzubilden. Sie beinhaltet Aussagen zu den Zielen, Strategien, Verantwortungsbereichen und Entscheidungskriterien für die Informationssicherheitsmaßnahmen des Virtual Fort Knox.

Die Sicherheitsrichtlinie ist ebenso als langfristige Strategie zu sehen, die die Art und Weise beschreibt, wie Sicherheit in der Plattform-Community des Virtual Fort Knox verstanden wird. Sie muss so gestaltet werden, dass sie sich dynamisch an sich ändernde Bedrohungslagen und Anforderungen an den Schutzbedarf von

Informationen anpassen lässt. Es sollte stets das Ziel sein, Angriffsflächen von vornherein zu minimieren oder gar nicht erst zu bieten. Dabei gilt es in regelmäßigen Zyklen zu evaluieren, ob die Informationssicherheitsrichtlinie den Schutzbedarfsanforderungen gerecht wird.

Der Anbieter der VFK-Plattform implementiert vollständig die Sicherheitsrichtlinie für die Kollaboration. Kunden sowie Dienstleister bzw. Anwendungsanbieter entscheiden selbst über die Adaption dieser Richtlinie oder die eigenständige Schaffung eines zu dieser Richtlinie kongruenten Sicherheitsansatzes. Die Nachprüfbarkeit der Compliance wird über transparente Sicherheitsstandards (teilweise auch marktüblich: ISO 2700x, BSI 100- x) gewährleistet.

4.4 VFK-Sicherheitsorganisation

Das Modell für die VFK-Sicherheitsorganisation beschreibt die Rollen und Verantwortlichkeiten, die notwendig sind, um den hohen Anforderungen bezüglich der Informationssicherheit auf der Plattform gerecht zu werden. Aus der Anforderungsanalyse wurde hierfür der Bedarf für ein kooperatives Vorgehen ermittelt, deshalb ist bei der Umsetzung eine föderative Organisationsstruktur anzustreben. Die starke Zentralisierung der Umsetzungsverantwortung in der Organisation des Plattformeigentümers erzeugt ein starkes Gefühl der Abhängigkeit und ist eine zusätzliche Vertrauensbarriere. Deshalb bedarf es Steuerungsinstanzen für eine anforderungsgerechte und nachhaltige Umsetzung der Informationssicherheitsrichtlinie. Das bedeutet, dass der Plattformeigentümer die Sicherheitsorganisation des Virtual Fort Knox definieren und besitzen muss. Serviceanbieter, Softwarepartner, Vertriebspartner und Wiederverkäufer müssen diese annehmen und in den angebotenen Engineering-Anwendungen und -diensten implementieren. Im Sinne der Vision von einer föderativen Plattform ist es erforderlich, dass Kunden, die das Virtual Fort Knox in vollem Umfang nutzen möchten, ihre Sicherheitsorganisation so transformieren, dass sie mit der des VFK kompatibel ist.

Die tragende Säule der VFK-Sicherheitsorganisation sind die Personen, die die Rollen und Verantwortlichkeiten für die Erfüllung der Informationssicherheitsziele ein- und übernehmen. Die folgenden Rollen sind für die personelle Ausstattung vorgesehen:

- Information Risk Manager (IRM)
 - Erkennung, Bewertung und Management von Informationsrisiken
 - Definition der Kriterien zur Kategorisierung von Systemen und Daten in den Sicherheitsklassen
- Information Security Manager (ISM)
 - Schnittstellenfunktion zwischen Sicherheitsinfrastruktur und -management
 - Koordination der organisationsübergreifenden Kommunikation bezüglich der Umsetzung der Informationssicherheitsrichtlinie
- Informationssicherheitsbeauftragter (ISB)
 - Umsetzung der Informationssicherheitsziele in konkrete Maßnahmen

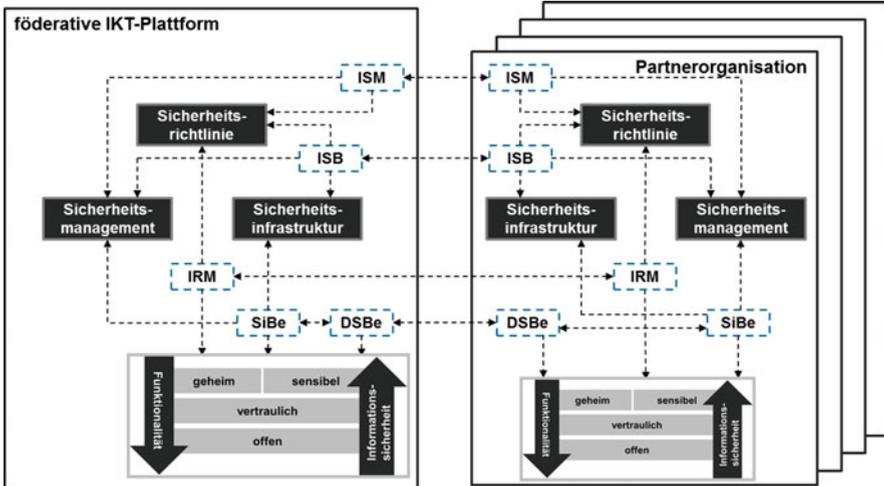


Abb. 11 Modell der VFK-Sicherheitsorganisation

- Auditierung des IKT-Betriebs gemäß den definierten Sicherheitsrichtlinien
- IKT-Sicherheitsbeauftragter (SiBe)
- Verantwortung für die Spezifikation, Auswahl und Entwicklung technischer Schutzmaßnahmen.

Wie die verschiedenen Rollen innerhalb einer am VFK teilnehmenden Organisation und zwischen zwei Partnern miteinander agieren können, ist in Abb. 11 dargestellt. Diese Rollen definieren die Schnittstellen, die zwischen den kooperierenden Unternehmen geschaffen werden sollten, um die Sicherheit der Plattform auf hohem Niveau zu gewährleisten.

4.5 Erhaltung von Vertrauen und Akzeptanz

Die Unternehmen, die am Virtual Fort Knox teilnehmen und in der Zukunft teilnehmen werden, kommen aus den unterschiedlichsten Geschäftsfeldern. So werden Betreiber und Anbieter der Plattform genauso Teil der Plattform-Community sein wie mittelständische Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus, Softwarepartner, Vertriebspartner und Wiederverkäufer. Diese haben in der Regel individuelle Geschäftsmodelle mit den spezifisch dafür definierten Leistungskennzahlen (KPIs). Das Plattformkonsortium wird für sich ebenfalls ein eigenes Geschäftsmodell entwickeln, das wiederum dafür spezifische KPIs beinhaltet. Der Nutzen, den eine Plattfromadaptation für die kooperierenden Unternehmen mit sich bringt, sollte an den individuellen Unternehmensleistungen und nicht an der Leistung der Plattform allgemein gemessen werden. Dies ist deshalb wichtig, weil der Nutzen für jeden Kooperationspartner unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann und sich ggf. aus

anderen Faktoren ergibt. Es ist also notwendig, eine gemeinsame Strategie zu entwickeln, die möglichst viele gemeinsame Interessen der Beteiligten des Plattformkonsortiums berücksichtigt und diese ins Zentrum der Plattformentwicklung stellt. Diese Strategie muss in den gemeinsamen Geschäftsmodellen dokumentiert werden.

5 Geschäftsmodelle für eine digitale Industrie-Infrastruktur

Industrie 4.0 im Allgemeinen und VFK im Speziellen basieren auf dem Gedanken einer gemeinsamen digitalen Plattform, die Leistungen für die teilnehmenden Unternehmen bereitstellt, die diese selber so nicht erbringen könnten. Entscheidend für die Umsetzung einer solchen Plattform ist die Frage, welche Geschäftsmodelle damit verbunden sind: Wer bezahlt welche Leistung?

Im Rahmen der Nutzung der VFK-Plattform werden unterschiedliche Rollen differenziert, die verschiedene Interessen und Strategien bei der Nutzung der Plattform verfolgen, Abb. 12:

- IT- und Basisdienste-Lieferant: Stellt für die Plattform technische Dienste zur Verfügung (zum Beispiel multibandantenfähige Datenbanken, Infrastruktur, Software-Lösungen zum Betrieb der Plattform), dies kann die Lieferung einzelner Leistungen oder auch den Betrieb der gesamten Plattform umfassen.
- Plattformbetreiber: Stellt die Plattform bereit und ermöglicht den Dienst- und Anwendungsanbietern, über die Plattform ihre Leistungen dem Kunden zur Verfügung zu stellen.
- Partner, die sich in „Dienste- und Softwareanbieter“ sowie „Apps-Anbieter“ aufgliedern:
 - Dienste- und Softwareanbieter: Bieten dem Kunden auf der Plattform ihre Dienste und Software an sowie aggregierte Dienste, die mehrere Dienste zu einem Dienst zusammenfassen. Unter diese Kategorie fallen auch Anbieter von komplexen Lösungen und Software-Systemen (wie ERP, PLM, SCM, . . .)
 - Apps-Anbieter: Bieten dem Kunden und der Community einfache Anwendungen („Apps“) an, die in der Lage sind, andere Dienste zu nutzen und zu diesen einen einfachen Zugang zu ermöglichen. Es wird davon ausgegangen, dass es sehr viele Apps-Anbieter auf der VFK-Plattform geben wird.
- Kunde: Der Kunde ist ein Unternehmen, das die auf der Plattform angebotenen Dienste bestellt und damit für Mitarbeiter und Maschinen in seinem Unternehmen die Nutzung der Dienste der Plattform ermöglicht.

Vor diesem Hintergrund entwickelte Henning ein Geschäftsmodell-Framework, das dem besonderen Gedanken der Kooperation durch die Einführung einer verbindenden Vision Rechnung trägt (vergl. Henning 2012). Ihr Modell geht aus dem Business Model Canvas (vergl. Osterwalder et al. 2010), dem [moby]-Geschäftsmodellframework von Weiner (vergl. Weiner et al. 2010) und dem Business Model Innovation von Stähler (vergl. Stähler 2002) hervor. Es definiert die verschiedenen

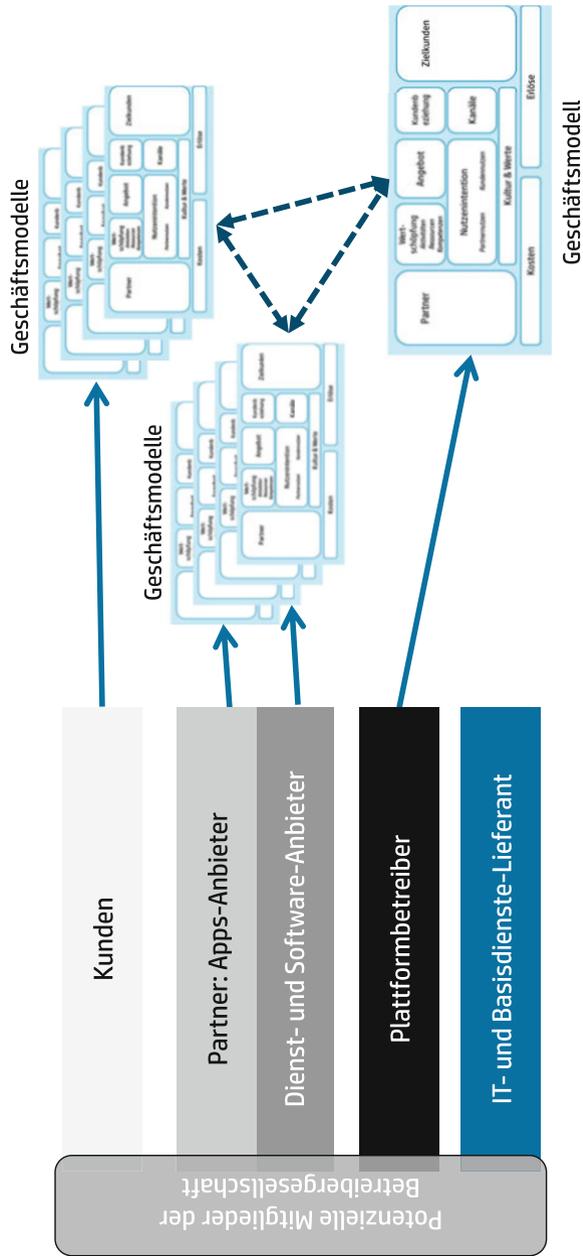


Abb. 12 Beziehungen der Geschäftsmodelle

Elemente, die bei der Entwicklung eines Community-Geschäftsmodells zu berücksichtigen sind, Abb. 13. Das Framework gewährleistet die Entwicklung von Geschäftsmodellen für die einzelnen Rollen als eigenständige Varianten.

Henning (vergl. Henning 2012) unterscheidet die folgenden Kategorien:

- Die „Vision“ beschreibt die langfristigen gemeinsamen Ziele der Kooperation und die entsprechenden Wege zur Zielerreichung. Die Vision sollte kurz und verständlich beschreiben werden.
- Zielkunden: Welche verschiedenen Kundengruppen, Personen oder Unternehmen durch das Geschäft erreicht und unterstützt werden, beschreibt das Element „Zielgruppen“.
- Nutzenbeschreibung
 - Kundennutzen: Bevor die einzelnen Bestandteile und komplementäre Services eines Angebots beschrieben werden, beschreibt der Nutzen einfach und klar, welchen Wert ein Angebot für die Kunden liefert und welche Probleme es zu lösen hilft. Welche Bedürfnisse des Kunden befriedigt werden, wird ebenfalls beschrieben.
 - Partnernutzen: Der „Partnernutzen“ beschreibt, welchen Nutzen die Partner der Kooperation an dem gemeinschaftlichen Geschäft haben.
- Kanäle: Kunden können über verschiedene Kommunikationskanäle erreicht und über Angebote informiert werden. Es ist zu entscheiden, über welche Kanäle die Kunden am besten und gleichzeitig Kosten-effizient zu erreichen sind.
- Kundenbeziehung: Welche Art von Beziehungen zwischen dem Anbieter und den Zielgruppen bestehen, beispielsweise eine direkte, persönliche Kommunikation oder eine automatisierte, beschreibt das Element „Kundenbeziehung“.
- Angebot: Das „Angebot“ beschreibt die Produkte und Dienstleistungen, die den jeweiligen Zielgruppen angeboten werden. Auch komplementäre Angebote und rechtliche Aspekte werden beschrieben.
- Wertschöpfung:
 - Aktivitäten: Welche Aktivitäten und Prozesse für die Erstellung und Bereitstellung des Angebots, die Kanäle und die Kundenbeziehung erforderlich sind, beschreibt das Element „Aktivitäten“.
 - Ressourcen und Kompetenzen: Welche Ressourcen für die Erstellung und Bereitstellung des Angebots, der Kanäle und Kundenbeziehung benötigt werden, beschreibt das Element „Ressourcen“. Unterschieden werden physische, geistige (intellektuelle), „personelle und finanzielle Ressourcen“.
- Partner: Welche Ressourcen werden weiter benötigt, die nicht in der Kooperation entwickelt werden, aber Bestandteil des Angebots sind? Welche Aktivitäten können effizienter und zu geringeren Kosten von „Partnern“ durchgeführt werden?
- Kultur & Werte: „Ein Wert, der im Besonderen für eine Community Cloud zählt, ist die Gleichberechtigung und Autonomie der Beteiligten“.
- Kosten: Das Element „Kosten“ beschreibt alle Ausgaben der Kooperation während des laufenden Betriebs eines Geschäftsmodells.
- Erlöse: Die Erlösstruktur beschreibt, wie die Kooperation plant, mit dem Geschäftsmodell Geld zu verdienen.

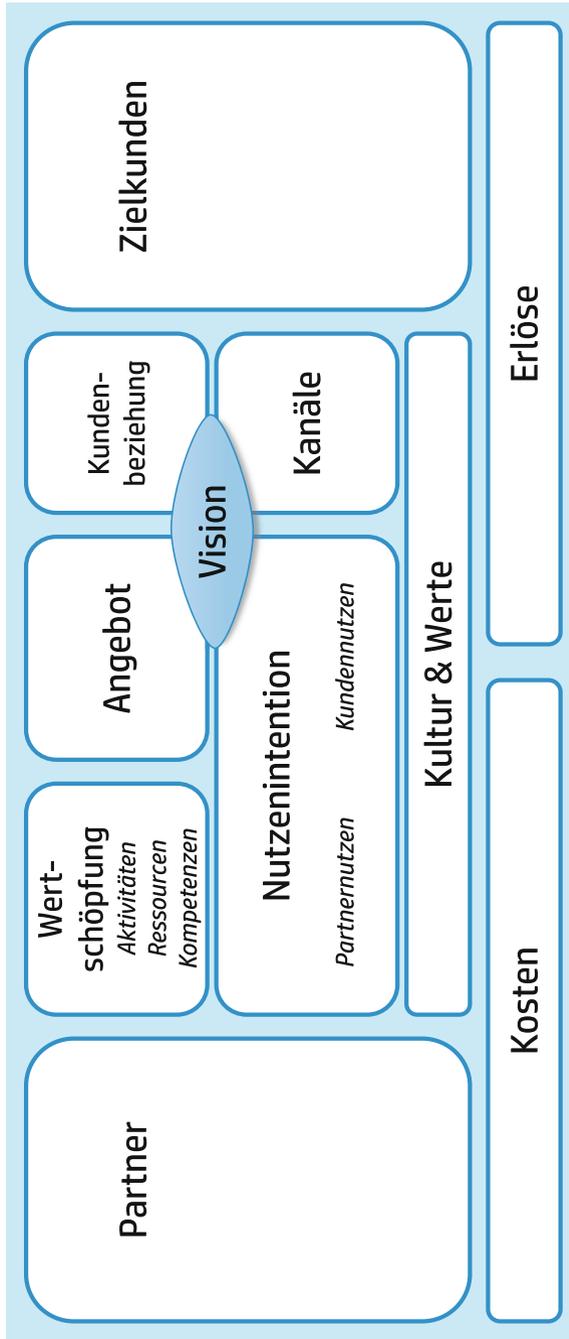


Abb. 13 Das VFK-Geschäftsmodell-Framework nach Henning

Diese einzelnen Kategorien stehen rollenübergreifend in Beziehung zueinander und beeinflussen in ihrer Gesamtheit Kosten und Erlöse der Kunden, Dienste- und Softwareanbieter, des Plattformbetreibers und der IT- und Basisdienste-Lieferanten.

Das folgende Industrie 4.0-Szenario soll die Komplexität verdeutlichen:

Ein Möbelhersteller will mithilfe der VFK-Plattform den Dienst eines Produktions-Planungs-Systems des Softwareanbieters A zur Steuerung und Optimierung seiner Produktionslinie einsetzen. Gleichzeitig nutzt er die Software des Anbieters B, um die Auslastung und Effizienz seiner Produktionslinie zu messen. Dank der Plattform können nun die Dienste der beiden Anbieter A und B als gemeinsame Leistung zusammengefasst werden. Nehmen wir an, Anbieter C möchte diesen neuen Dienst anbieten. Das Interesse des Möbelherstellers im Sinne eines optimalen Nutzens ist die direkte Bindung der Kosten für den aggregierten Dienst an die Stückzahl der produzierten Möbel. Er wird also für jedes produzierte Möbelstück einen festen Betrag zahlen wollen. Der Anbieter C akzeptiert das Modell, zahlt selber aber an die Softwareanbieter A und B für die Nutzung der Software (as a Service). Der Plattformbetreiber berechnet A und B die Nutzung von Rechnerkapazitäten und die Bereitstellung der Sicherheitsinfrastruktur, deren Preis zum Beispiel über die Anzahl der angeforderten Verbindungen zur Plattform ermittelt wird.

Anhand der Preisgestaltung auf den unterschiedlichen Ebenen der Beteiligten wird deutlich, dass die einzelnen Geschäftsmodelle abgestimmt werden müssen. Sobald Kosten und Erlöse aufeinander abgestimmt werden, beeinflussen sich Angebot, Wertschöpfung und Nutzen in den unterschiedlichen Modellen gegenseitig. Aspekte wie Kultur und Werte sollten für alle möglichst ähnlich formuliert werden. Gerade hier hilft die Formulierung der gemeinsamen Vision.

Eine ausführliche Beschreibung eines VFK-spezifischen Geschäftsmodells befindet sich in Henning (vergl. Henning 2012).

5.1 Bewertung und Überarbeitung der Geschäftsmodellvarianten

Mit einem ebenfalls von Henning (vergl. Henning 2012) entwickelten Bewertungsmodell lassen sich nun Geschäftsmodellvarianten analysieren, um die Stärken und Schwächen sowie die Chancen und Risiken jeder Variante zu bestimmen. Das Bewertungsmodell ist eine Kombination der PEST(LE)-Analyse, der SWOT-Analyse, der Szenario-Technik, der Balanced Scorecard und den Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung, dem ROI, dem Zukunftserfolgswert und der Amortisationsdauer. Die Entscheidung für oder gegen die Umsetzung einer Geschäftsmodellvariante wird durch die Kooperation und deren Beteiligte getroffen. Dabei dient das Bewertungsmodell als Entscheidungsunterstützung.

Die in Abschn. 5.1 beschriebenen Kernelemente des VFK zur Erreichung der Akzeptanz greifen auch bei der Erstellung und Bewertung der Geschäftsmodelle. Transparenz und Kommunikation sind im Erstellungsprozess notwendig; über das

Geschäftsmodell wird der Nutzen definiert. Letztlich führt auch das Vertrauen in das gemeinsam entwickelte Geschäftsmodell zur Akzeptanz.

5.2 Bewertung des VFK-Geschäftsmodells

Mithilfe des Bewertungsmodells von Henning (vergl. Henning 2012) wurden die Stärken und Schwächen des VFK-Geschäftsmodellentwurfs sowie dessen Chancen und Risiken betrachtet. In Bezug auf die Kundenbeziehung, die Erreichbarkeit der Kunden und die Regelmäßigkeit von Erlösen weist der Ansatz als Konsequenz des gewählten Abrechnungsmodells „Pay-per-Use“ Schwächen auf.

Die Stärken des Modells liegen vor allem in der Fokussierung auf den Maschinen- und Anlagenbau, der hohen Flexibilität, Skalierbarkeit und Vielfältigkeit sowie in der Möglichkeit, als Gemeinschaft wesentlich effizienter in Sicherheit und Verlässlichkeit investieren zu können. Ein Mitbestimmungsrecht der Mitglieder über Sicherheitsrichtlinien, gemeinsame Regeln und Werte hätte nach der Bewertung einen positiven Einfluss auf die Kooperation.

Doch bestehen einige Risiken für das Virtual Fort Knox, die im Rahmen von Gesprächen mit Unternehmensvertretern identifiziert wurden. Die Branche der Maschinen- und Anlagenbauer schätzt sich selbst als konservativ ein. Es besteht das Risiko, dass subjektive Bedenken gegen die neue Technologie stärker sein könnten als der gesehene Nutzen. Aber auch aus technologischer Sicht werden Risiken gesehen. Viele Anwendungen in der Produktion können nur mit zusätzlichen Entwicklungsaufwänden in eine Cloud-Infrastruktur transferiert werden, da sie z. B. als Client-server-Applikation entwickelt wurden. Das Virtual Fort Knox ist daher auf die Bereitschaft der Softwarehersteller angewiesen, in multi-mandantenfähige und modulare Lösungen zu investieren sowie gemeinsam überzeugende Sicherheitslösungen und Verlässlichkeit zu realisieren. Meistert das Virtual Fort Knox diese Herausforderungen, dann hat das Konzept große Chancen, am Markt erfolgreich zu sein.

Die größten Chancen des Modells liegen in der zunehmenden Notwendigkeit für eine unternehmens- und branchenübergreifenden Zusammenarbeit. Für das Virtual Fort Knox bietet sich die Chance, sich als technologische Plattform für Maschinen- und Anlagenbauer zu etablieren, die die vernetzte Produktion von Gütern unterstützt und dabei den gesamten Produktlebenszyklus umfasst.

6 Ausblick

Die bisher erreichten Ergebnisse des Forschungsprojekts sind ermutigend, insbesondere da es gelungen ist, exemplarisch die horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke zu demonstrieren. Die kurze Dauer der Förderung von sechs Monaten zwang allerdings dazu, sich auf die wesentlichen Aspekte zu konzentrieren und innovativ bisher verfügbare Technologien und Forschungsergebnisse schnell umzusetzen. Die Entwicklungen werden fortgeführt. So wird zurzeit intensiv an der

offenen Architektur des MSB sowie an der Sicherheitsarchitektur gearbeitet. Auch die kommerzielle Umsetzung ist angedacht; es existiert bereits ein kommerzieller Pilot, betrieben vom Fraunhofer IPA, der erste Applikationen anbietet. Gemeinsam mit dem IPA und weiteren Partnern wird die Gründung einer gemeinsamen Betreiber-gesellschaft im Sinne der beschriebenen sicheren VFK-Plattform angegangen. Sie soll dann speziell den mittelständischen Unternehmen den Einstieg in das Thema Industrie 4.0 ermöglichen, mit dem Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus weiter zu stärken.

Literatur

- BSI 100-1, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2008a) Managementsysteme für Informationssicherheit (ISMS) – Version 1.5. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik – BSI, Bonn
- BSI 100-2, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2008b) Grundsatz Vorgehensweise, BSI-Standard 100-2, Version 2.0. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik – BSI, Bonn
- BSI, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2012) Eckpunktepapier Sicherheitsempfehlungen für Cloud Computing Anbieter. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik – BSI, Bonn. BSI-Bro12/314
- Henning J (2012) Kollaboration in der Cloud: Modell zur Bewertung des Einsatzes von Community Clouds in derunternehmensübergreifenden Zusammenarbeit. Masterarbeit. s.l. : AKAD Hochschule, Pinneberg
- Kagermann H, Wahlster W, Helbig J (Hrsg) (2013) Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 : Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft, Berlin
- Kern E-M (2005) Verteilte Produktentwicklung – Rahmenkonzept und Vorgehensweise zur organisatorischen Gestaltung. Gito-Verlag, Berlin
- Kriha W, Schmitz R (2009) Sichere Systeme. Konzepte, Architekturen und Frameworks. Springer, Berlin/Heidelberg
- Lee JM, Mowbray S, Pearson M, Kirchberg Q, Liang B (2011) Trust-Cloud. A framework for accountability and trust in cloud computing. HP Laboratories, Singapur/Bristol
- Osterwalder A, Pigneur Y (2010) Business model generation. A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers. John Wiley & Sons, New York
- Pohlmann N, Blumberg H (2006) Der IT-Sicherheitsleitfaden. Das Pflichtenheft zur Implementierung von IT-Sicherheitsstandards im Unternehmen. Reline, Heidelberg
- Rapp M (2012) Konzepte zur Vertrauensbildung in föderative IKT-Plattformen für den mittelständischen Maschinen- und Anlagenbau. Masterarbeit. s.l. : Hochschule Reutlingen
- Schmidt K (2006) Der IT security manager. Hanser, München
- Schweer M (2012) Vertrauen als Organisationsprinzip in interorganisationalen Kooperationen. [Buchverf.] C. Schilcher. Vertrauen und Kooperation in der Arbeitswelt. Wiesbaden. s.n.
- Stähler P (2002) Geschäftsmodelle in der digitalen Ökonomie – Merkmale, Strategien. 2002, Bd 2. Aufl. Josef Eul Verlag Köln
- Weiner N, Renner T, Kett H (2010) Geschäftsmodelle im „Internet der Dienste“ – Aktueller Stand in Forschung und Praxis. Fraunhofer IAO, Stuttgart
- Wissenschaft, Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft (2013) Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Acatech, Berlin

Teil VI

Einführungsszenarien zur Industrie-4.0-Fertigung

SPS-Automatisierung mit den Technologien der IT-Welt verbinden

Thomas Bürger und Karl Tragl

Zusammenfassung

Mit der Vernetzung von Produktionstechnologien und IT-Welt in der Industrie 4.0 steigt die Bedeutung von Software für den Maschinenbau. Am Beispiel der Lösung Open Core Engineering (OCE) von Bosch Rexroth, werden die Möglichkeiten aufgezeigt, die sich aus der Verschmelzung von SPS-Automatisierung mit den Technologien der IT-Welt ergeben.

Durch OCE, bestehend aus Softwaretools, Funktionspaketen und offenen Standards sowie der Schnittstelle Open Core Interface, können modular aufgebaute Produktionslösungen starre Produktionsketten ersetzen und die Effizienz für die Fertigung kleinster Stückzahlen steigern.

1 Einführung

Industrie 4.0 verändert mit der Vernetzung von Produktionstechnologien und IT-Welt die Spielregeln. An Stelle proprietärer Schnittstellen treten offene Standards, mit denen Maschinenhersteller neueste IT-Technologien eigenständig in ihre Konzepte einbinden. Der vorliegende Beitrag zeigt auf, wie diese Entwicklung mit Hilfe von Open Core Engineering unterstützt werden kann. Open Core Engineering steht für das komplette Engineering-Angebot von Rexroth, das die bislang getrennten SPS- und IT-Welten in einer durchgängigen Lösung verbindet und das 2013 mit dem HERMES AWARD ausgezeichnet wurde. Es bietet Maschinenherstellern neue Freiheiten, innovative Ideen in Software selbst umzusetzen.

Der Beitrag zeigt sowohl die Bedeutung von Software für den Maschinenbau auf als auch die Möglichkeiten, die sich aus der Verschmelzung von SPS-Automatisierung mit den Technologien aus der IT-Welt für Industrie 4.0 ergeben.

T. Bürger (✉) • K. Tragl

Bosch Rexroth AG, Lohr am Main, Deutschland

E-Mail: Thomas.buerger@boschrexroth.de; Karl.Tragl@boschrexroth.de

2 Bedeutung von Maschinensoftware

Über alle Industriebranchen hinweg haben sich die Rahmenbedingungen für produzierende Unternehmen verändert. Immer kürzere Produktlebenszyklen führen zu ständig kleineren Losgrößen. In Westeuropa arbeiten zahlreiche Unternehmen daran, auch kleinste Stückzahlen wirtschaftlich zu fertigen. Das hat entscheidende Auswirkungen auf den Maschinenbau: Statt starrer Produktionsketten setzen immer mehr Unternehmen auf modulare Produktionslinien. Sie kombinieren einzelne Bearbeitungsstationen flexibel für unterschiedlichste Produkte. Gleichzeitig suchen sie nach Möglichkeiten, die Unternehmens-IT und die Automation in den Fabrikhallen besser miteinander zu vernetzen. Beide Entwicklungen verändern den Maschinenbau. Noch mehr als heute verlagern die Hersteller Funktionen in die Software und schaffen damit die Voraussetzungen für völlig neue Produktionsmodelle.

Das traditionelle Bild vom Maschinenbau ist in der Öffentlichkeit häufig noch von Stahl und Eisen geprägt. In Wirklichkeit besteht ein Großteil der Wertschöpfung bei Maschinen aus europäischer Fertigung schon längst aus Software – und dieser Anteil wird weiter steigen (VDMA 2012). Damit liegt der Maschinenbau gleichauf mit anderen Branchen wie der Telekommunikation. Dort hat die Entwicklung von drahtgebundenen Analog-Telefonen mit Wählscheibe hin zu Smartphones mit hoher Rechenleistung unser tägliches Leben – und das ganze Industriezweige – verändert.

2.1 Flexibilität durch offene Schnittstellen

In der produzierenden Industrie gewinnt auch die Vernetzung immer mehr an Fahrt. Die Autoindustrie ist häufig ein Vorreiter für neue Produktionsmodelle. Bis in die 1990er-Jahre setzte sie bei der Motorenfertigung auf Transferstraßen. Diese fest verketteten Produktionsstationen fertigten hoch effizient große Stückzahlen eines Motorentyps. Eine immer größere Modellvielfalt und kürzere Produktlebenszyklen erforderten aber eine größere Flexibilität. Seitdem haben fast alle Hersteller auf flexible Produktionszellen umgestellt. Dort arbeiten hochflexible Bearbeitungszentren innerhalb einer Produktionszelle gemeinsam an einem Werkstück. Mit dieser Umstellung fertigen die Hersteller verschiedene Motorentypen auf der gleichen Linie.

Bei der Verpackung von Nahrungsmitteln oder im Rollendruck hat eine ganz ähnliche Entwicklung stattgefunden. Dort trieben bis vor einigen Jahren Zentralantriebe über eine komplizierte und verschleißanfällige Mechanik die Maschinen an. Bei jeder Umstellung mussten die Bediener die Maschinen ausschalten und mit dem Schraubenschlüssel die Mechanik verstellen. Mit der Entwicklung einer elektronischen Welle durch Rexroth übernimmt Software diese Synchronisationsaufgaben. Statt eines zentralen Motors werden moderne Maschinen mit dezentral intelligenten Antrieben ausgerüstet. Sie sind über Datenleitung mit der Steuerung verbunden. Diese gibt die Sollwerte vor, den Rest erledigen die Antriebe in Eigenregie. Damit entfällt die gesamte mechanische Synchronisation. Zur Umrüstung auf neue

Produkte reicht bei diesen Maschinen oft ein Klick in der Steuerung. Die Software nimmt dann automatisch alle notwendigen Veränderungen vor. Um weitere Produktionsstationen zu integrieren reicht ein Datenkabel, und die neue Station fügt sich in die Produktionslinie ein. Die Grundvoraussetzung: Die Produktionsanlage und die Module müssen über offene Schnittstellen Daten austauschen und verarbeiten können.

2.2 Vernetzung mit der Unternehmens-IT

Diese evolutionäre Entwicklung hat aktuell ein neues Niveau erreicht, denn es liegen wieder einmal grundlegende Veränderungen in der Luft. Derzeit diskutieren Maschinenanwender und -hersteller intensiv über Industrie 4.0 (Kagermann et al. 2013) oder Integrated Industry. Diese Schlagworte beschreiben eine umfassende Vernetzung der Fabrikautomation mit der IT-Welt. Das Ziel ist die wirtschaftliche Produktion der Losgröße 1. Die bisherige, evolutionäre Flexibilisierung der Maschinenteknik und der Fertigungsorganisationen ist bereits weitgehend ausgeschöpft. Bei der angestrebten Vernetzung kommunizieren Maschinen und die Unternehmens-IT ohne menschliche Eingriffe direkt miteinander und ermöglichen durch diese Selbstorganisation die effiziente Fertigung individueller Produkte.

Die Voraussetzungen dafür sind im Prinzip bereits gegeben: Maschinenhersteller vernetzen in ihren Maschinen bereits dezentral intelligente Antriebe und Sensoren. Maschinenmodule verhalten sich autonom und passen sich je nach Kontext flexibel den Rahmenbedingungen an. Diese Vernetzung endet aber bislang an der Maschinensteuerung.

2.3 Grenzen aktueller Lösungen

In den vergangenen Jahren haben sich Standardsteuerungen als wirtschaftlichste Option für Maschinenhersteller durchgesetzt. Kaum noch ein Maschinenhersteller unterhält eine eigene Steuerungsentwicklung. Die wirtschaftlichen Vorteile haben die Maschinenhersteller aber gegen eine Einschränkung getauscht. Sie haben keinen Zugriff auf den Steuerungskern, sondern können nur in einem vom Steuerungshersteller vorgegebenen Korridor Funktionen umsetzen. Proprietäre, herstellereigenspezifische Schnittstellen und Basisprogramme verhindern, dass Maschinenhersteller eigenständig völlig neue Ideen umsetzen können.

Das zweite Hindernis ist, dass die IT-Welt und die Automatisierung unterschiedliche Sprachen sprechen. In der Automatisierung haben sich SPS-Sprachen durchgesetzt. Sie ermöglichen eine sehr effiziente Umsetzung von Standardaufgaben. In der IT-Welt dagegen herrschen Hochsprachen vor, mit denen sich auch sehr komplexe Funktionen einfach umsetzen lassen. Diese beiden Welten konnten bislang nur über Umwege Daten oder gar Befehle austauschen.

3 Open Core Engineering

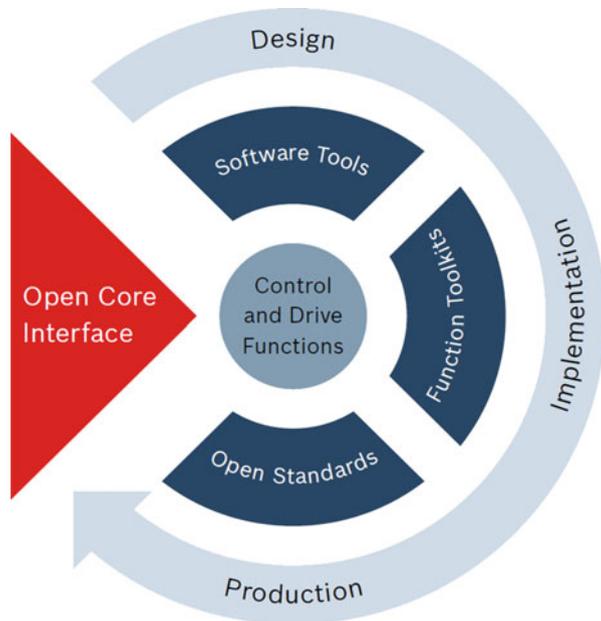
Beide im vorherigen Absatz dargestellten Hindernisse haben bislang die Innovationskraft der Software für die Automatisierung eingeschränkt. Im Jahr 2012 hat Bosch Rexroth mit dem Open Core Engineering die Spielregeln für Maschinenhersteller verändert und ihnen völlig neue Freiheitsgrade eröffnet. Zum einen ermöglicht eine neue Schnittstellentechnologie die Programmierung von Steuerungen mit den Sprachen der IT-Welt. Gleichzeitig hat Bosch Rexroth den Steuerungskern für einen erweiterten Zugriff durch den Maschinenhersteller geöffnet. Damit sind erstmals die Voraussetzungen für eine konsequente Vernetzung der Fabrikautomation mit der IT-Welt gegeben. Maschinenhersteller können jetzt eigenständig individuelle Software-Funktionen entwickeln und umsetzen. Das ermöglicht völlig neue Konzepte der Produktionsmodularisierung und Vernetzung durch innovative Softwarelösungen.

3.1 Elemente von Open Core Engineering

Grundbestandteil von Open Core Engineering sind Softwaretools, Funktionspakete und offene Standards sowie die Schnittstelle Open Core Interface (Abb. 1). Es deckt damit sämtliche Schritte im Workflow ab – von der Projektierung über die Programmierung und Parametrierung bis hin zu Inbetriebnahme und Service.

Im Mittelpunkt der Software-Tools steht das Engineering-Framework IndraWorks, das alle Basis-Werkzeuge zur SPS-basierten Automatisierung auf Basis IEC 61131-3 (IEC 2013) zur Verfügung stellt. Hinzu kommen vorgefertigte Funktionspakete, mit

Abb. 1 Elemente von Open Core Engineering



Tab. 1 Funktionspakete des Open Core Engineering (Auszug)

Function Toolkit (Auszug)	Beschreibung
Automation Interface	Script-orientierte Schnittstelle zur automatisierten Projektierung
FlexProfile	Erstellung und Programmierung nicht linearer Bewegungsprofile
Generic Application Template	Template-basierte Erstellung von Maschinenprojekten
Hydraulics	Integration und Programmierung elektro-hydraulischer Antriebstechnologien
Robot Control	Programmierung von Bahnbewegungen im Raum
Safety on Board	Programmierung der integrierten Sicherheitssteuerung
Technology	Bibliotheken mit vorgefertigten Prozesslösungen
Team-Engineering	Anbindung an Versionskontrollsysteme

denen sich zum Beispiel elektrische und hydraulische Antriebstechnologien auf einfache Weise in einem Automatisierungskonzept verschmelzen lassen, wie in Tab. 1 zusammengefasst. In Summe trägt dies bei Maschinenherstellern dazu bei, die Engineering-Effizienz zu steigern (Sasse 2013).

Offene Standards wie beispielsweise die Kommunikationsstandards sercos (Sercos international e.V. – TWG Communication 2013), EtherNet/IP (ODVA 2013), Profinet (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. 2013) oder OPC-UA (OPC Foundation 2013) bilden die Eckpfeiler für Open Core Engineering und die Voraussetzung für zukunftssichere Automation.

3.2 Open Core Interface – Brücke zwischen SPS- und IT-Automation

Open Core Engineering schlägt mit Open Core Interface die Brücke zwischen SPS- und IT-Automation: Dabei handelt es sich um eine funktionale Steuerungsschnittstelle in Kombination mit einem Software-Entwicklungskit (SDK) für unterschiedliche Programmierumgebungen, Betriebssysteme und Zielgeräte (Sasse 2013). Die verfügbaren Bibliotheken für diese Steuerungsschnittstelle sind in Tab. 2 gelistet.

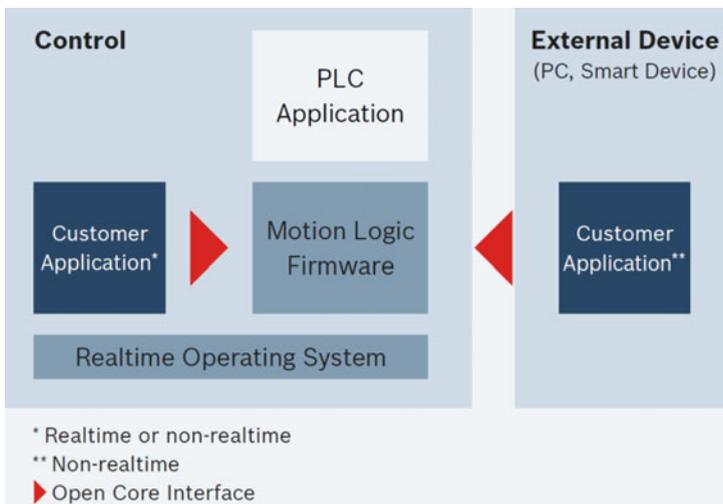
Damit haben hochsprachen-basierte Anwendungen auf externen Geräten einen völlig neuen und flexiblen Zugriff auf alle Funktionen von Steuerungen und Antrieben. Anwendungen auf Basis C/C++ sind darüber hinaus direkt in der Echtzeitumgebung der Steuerungen lauffähig (Abb. 2).

Erste Anwendungen zeigen dazu ein erhebliches Innovationspotenzial in vier Dimensionen:

- Vollwertige Integration von Smart Devices mit individuellen Apps in Maschinen.

Tab. 2 Verfügbare Bibliotheken für Open Core Interface

Bibliothek	Funktionen
API	Verbindungsaufbau mit der Steuerung
IO	Zugriff auf Prozessdaten der Feldbusse
Logic	Zugriff auf SPS-Funktionen und -daten
Motion	Zugriff auf Motion Control-Funktionen und Antriebsinformationen
Parameter	Zugriff auf sercos-Parameter
System	Zugriff auf Steuerungsinformationen
Task	Zugriff auf das Task System der Steuerung
Trace	Zugriff auf das Trace System der Steuerung
WatchDog	Fehlerbehandlung

**Abb. 2** Funktionale Steuerungsschnittstelle Open Core Interface

- Vereinfachte Programmierung und Inbetriebnahme mit Rapid Control Prototyping.
- Neue Möglichkeiten, Maschinen mit Unternehmens-IT zu vernetzen.
- Erhöhen der Flexibilität und Produktivität mit individuellen Funktionen in der Echtzeitumgebung der Steuerung.

3.2.1 Individuelle Apps für Smart Devices

Die Durchdringung von Smart Devices in der Consumer-Welt hat im Maschinenbau ein reges Interesse daran geweckt, die mobilen IT-Technologien von Smartphones und Tablets auch in der Maschinenautomation zu verwenden. Deren Anwendungen – Apps – ermöglichen es, die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine neu zu gestalten und die Interaktion schneller, intuitiver und flexibler zu machen. Der Zugriff auf Maschineninformationen bietet eine Fülle von Anwen-

dungsszenarien im Kundenumfeld wie Betriebsdatenerfassung, Service, Diagnose und Wartung. Smart Devices zeigen aber auch neue Wege zur mobilen Maschinenbedienung auf. Zwischenzeitlich hat die Multi-Touch-Technologie auch in stationären HMI-Geräten Einzug gehalten.

Mit dem Open Core Interface haben Maschinenhersteller nun die Möglichkeit, Apps für diese Geräte selbstständig zu realisieren. Mit Apple iOS und Google Android unterstützt die Schnittstelle die derzeit wichtigsten Betriebssysteme für Smart Devices. Im Gegensatz zu webbasierten Apps, die Informationen von Ressourcen-zehrenden Webservern in den Steuerungen verwenden, sind Maschinenhersteller mit dem Open Core Interface in der Lage, native Apps zu erstellen. Der Unterschied besteht darin, dass diese Anwendungen völlig autark auf dem Zielgerät laufen und das Steuerungssystem nur minimal belasten. Durch die Multi-Server-/Client-Unterstützung können sich Geräte gleichzeitig mit mehreren Steuerungen verbinden bzw. unterschiedliche Anwendungen parallel auf eine Steuerung zugreifen (Sasse 2013).

Für eine vollständige Systemdiagnose hat Bosch Rexroth beispielhaft eine native App auf Basis von Google Android umgesetzt (Abb. 3). Im Fehlerfall kann diese dem Maschinenbetreiber die Diagnose gegenüber der bislang üblichen Vorgehensweise deutlich erleichtern. Mit Hilfe eines Smartphones wird der QR-Code mit der IP-Adresse der Steuerung eingelesen, der zum Beispiel außen auf dem Schaltschrank aufgebracht sein kann. Damit wird die Verbindung zur Steuerung hergestellt und alle notwendigen Daten werden mit dem Smartphone ausgelesen und per E-Mail direkt weitergeleitet.

3.2.2 Rapid Control Prototyping

Open Core Interface vereinfacht mit dem Ansatz des Rapid Control Prototyping Inbetriebnahme und Programmierung z. B. von Prüf- und Messmaschinen. Sowohl

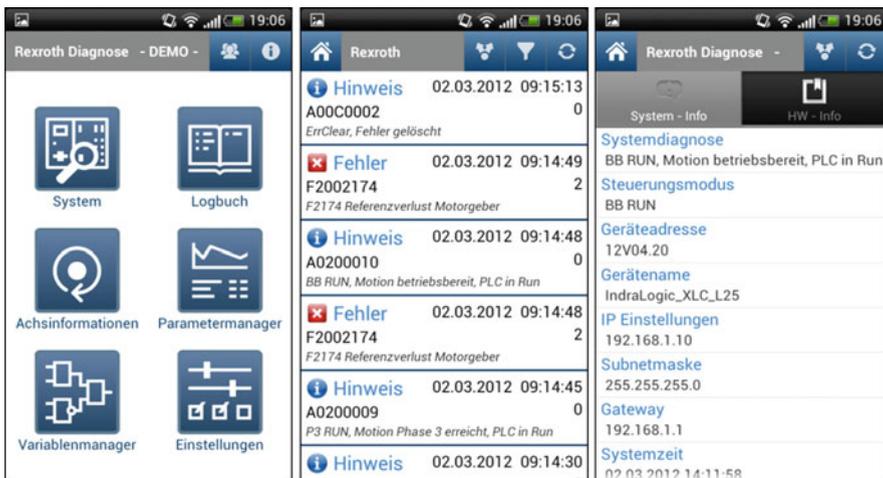


Abb. 3 Beispiel einer Diagnose-App auf Basis Open Core Interface

in der Industrie, als auch im wissenschaftlichen Bereich werden dazu bevorzugt die Softwarewerkzeuge MATLAB der Firma TheMathWorks Inc. und LabVIEW der Firma National Instruments Corp. eingesetzt. Ihre Hauptanwendungsgebiete liegen dort, wo es um die Simulation dynamischer Prozesse, Entwurf und Test von Signalverarbeitungsalgorithmen oder um Messtechnik im weitesten Sinne geht (Engels und Schnabel 2012). Unter Verwendung derartiger Tools mit Open Core Interface können Bewegungen und Abläufe von Maschinen programmiert werden, ohne eine Zeile SPS-Code zu erstellen.

3.2.3 Nutzung windows-basierter Anwendungen auf Produktionsebene

Mit dem Open Core Interface können Maschinenhersteller hochsprachenbasierte Anwendungen in der Produktion funktional verbinden und adaptieren. Damit eröffnen sich neue Wege zur maschinennahen Bedienung und Diagnose, zur Schnittstellenintegration an produktionsnahe Fertigungs- und Managementsysteme oder zur Einbindung steuerungsintegrierter Prozessfunktionen wie komplexer Reglerstrukturen. Maschinenhersteller können Automatisierungsideen in nahezu beliebigen Programmiersprachen umsetzen und über erweiterte Geräteplattformen in Produktionsprozesse einbinden. Neuen Ideen, auch mit Blick auf Multitechnologie-Lösungen, sind keine Grenzen gesetzt.

3.2.4 Entwicklung individueller Echtzeitfunktionen

In unabhängigen Studien (Engels und Schnabel 2012) wird es von der Mehrheit der Befragten als erfolgsentscheidend bewertet, individuelle und innovative Lösungen auf der Basis standardisierter Automatisierungsprodukte zu realisieren. Solche Anwendungen, die einen Zugriff auf alle Funktionen des Steuerungskerns erfordern, konnten bislang nur über den Steuerungshersteller verwirklicht werden. Open Core Interface bietet insbesondere auch die Möglichkeit, Flexibilität und Produktivität mit individuellen Funktionen in der Echtzeitumgebung der Steuerung zu erhöhen (Engels und Gabler 2012). Maschinenhersteller haben damit eine innovative Plattform, um

- eigenständig Innovationen betreiben zu können,
- eigenes Know-how zu schützen,
- Time to Market zu reduzieren und
- flexibel individuelle Lösungen umzusetzen.

3.2.5 Open Core Interface – Supportstruktur als Potenzial

Aufgrund der Vielzahl der Möglichkeiten muss sichergestellt werden, dass dem Anwender ideale Unterstützung gewährleistet wird. Für Nutzer des Open Core Interfaces ist deshalb eine entsprechende Supportstruktur aufgebaut. Hierfür werden insbesondere internetbasierte Möglichkeiten zum Austausch von Informationen (Blog, Internetforum) genutzt sowie Software-Entwicklungskits und Beispielapplikationen bereitgestellt.

Der internetbasierte Ansatz ist jedoch weit mehr, als nur die Grundlage für eine effiziente Supportstruktur. Er ist zugleich die Voraussetzung, im Sinne von Industrie 4.0 einen breiten Markt zu erschließen, in dem zahlreiche Industrienutzer (Maschinenbauer, Endanwender, Ingenieurbüros, Hochschulen) auf Basis Open Core Interface mit entwickeln können.

4 Maschinensoftware – Potenziale für Industrie 4.0

Schon bei den früheren Technologieentwicklungen zu mehr Software und vernetzbaren Modulen hat sich gezeigt, dass Offenheit der entscheidende Faktor ist. Die zunehmende Vernetzung läutet das Ende der proprietären Schnittstellen ein. Denn nur durch offene, herstellerübergreifende Standards bei der Programmierung und dem Datenaustausch können Maschinen direkt untereinander kommunizieren. Nur mit standardisierten Schnittstellen ist ein nahtloser Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Maschinen und der IT-Welt möglich.

Damit sind industrielle Anwender in der Lage, verschiedenste Maschinen miteinander zu kombinieren, die sich im Verbund mit der Unternehmens-IT selbst koordinieren. Als autonome Systeme reagieren sie auf sich ändernden Kontext. Damit ersetzen modular aufgebaute Produktionslösungen starre Produktionsketten und steigern die Effizienz für die Fertigung kleinster Stückzahlen. Die ersten Schritte sind – wie am Beispiel Open Core Engineering gezeigt – bereits getan und Software wird evolutionär die Fabrikautomation nachhaltig verändern.

Welches Innovationspotenzial solche vernetzten Systeme bieten, lässt sich bei der mobilen Internetnutzung ablesen. Noch vor weniger als zehn Jahren waren Handys ausschließlich für das Telefonieren und SMS-schreiben konzipiert. Alle komplexeren Aufgaben wurden mit PCs oder Notebooks erledigt. Als die ersten Smartphones für private Anwendungen auf den Markt kamen, haben viele gelächelt. Sie hielten sie eher für teure Spielzeuge junger Leute. Sieben Jahre später haben diese Smartphones die Welt verändert und sind der zentrale Eingang in die vernetzte Welt. Sie haben neue Geschäftsmodelle ermöglicht und bestehende in Frage gestellt.

Auch in der Fabrikautomation wird die Vernetzung die Rahmenbedingungen verändern. Noch viel mehr als heute wird Software künftig die Wertschöpfung, die Effizienz und den Innovationsgrad von Maschinenkonzepten bestimmen. Industrielle Anwender werden durch die Vernetzung ihrer Unternehmens-IT mit ihren modularen Produktionsanlagen und ihren Zulieferern auch kleinste Losgrößen bis zur Stückzahl 1 wirtschaftlich fertigen. Diese Zukunft hat bereits begonnen.

Dies bietet in zweierlei Hinsicht erhebliche Potenziale für die Industrie in Deutschland. Zum einen birgt die Weiterentwicklung von sogenannten Cyber Physical Systems (CPS) substanzielle Chancen für den Export von Technologien und Produkten. Zum anderen stärkt der Einsatz von CPS in deutschen Fabriken den Produktionsstandort Deutschland durch Effizienzsteigerungen der heimischen Fertigung.

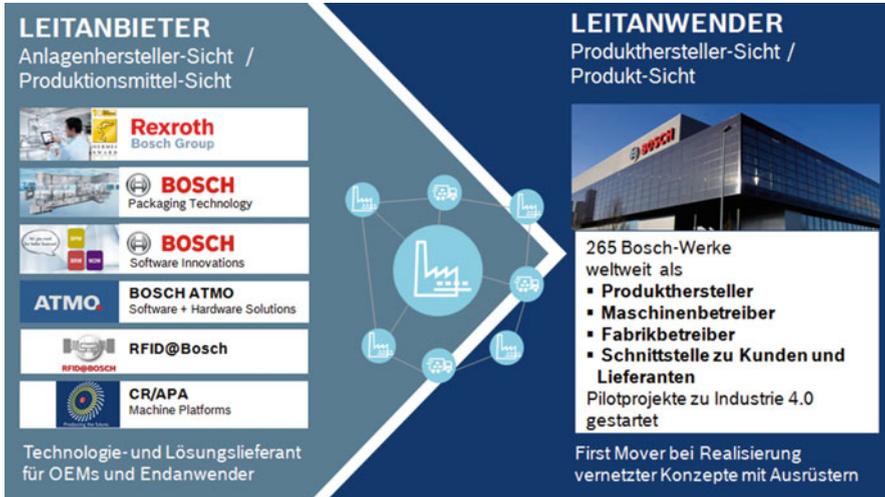


Abb. 4 Doppelstrategie auf dem Weg zu Industrie 4.0

Das Unternehmen Bosch verfolgt in diesem Umfeld eine Doppelstrategie (Abb. 4). Einerseits nimmt Bosch eine Anbieterrolle ein. Dabei wird die nötige Technik u. a. durch Bosch Rexroth entwickelt, die – wie beispielsweise Open Core Engineering – teilweise schon jetzt erfolgreich im Einsatz ist. Andererseits ist Bosch als produzierendes Unternehmen mit über 260 Produktionswerken in einer Betreiberrolle und somit weltweit selbst auch Anwender und Umsetzer.

Deutschland ist hierfür in einer guten Ausgangsposition. Deutsche Firmen sind führend im Anlagen- und Maschinenbau, ihre IT-Kompetenz ist weltweit anerkannt. Zudem haben sie die Innovationsführerschaft bei „Embedded Systems“ und Automatisierungstechnik. Durch intensive Kooperationen zwischen Ausrüstern, Anwendern sowie den leistungsfähigen Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen hat Deutschland gute Voraussetzungen, um die nächste industrielle Revolution einzuleiten: die Industrie 4.0.

Literatur

- Engels E, Gabler T (2012) Universelle Programmierschnittstelle für Motion-Logic Systeme. AALE 2012. Tagungsband. 37–46
- Engels E, Schnabel H (2012) Rapid-control-prototyping of industrial drives for the sercos automation bus. Mechatronics (MECATRONICS), 2012 9th France-Japan & 7th Europe-Asia Congress on and Research and Education in Mechatronics (REM). doi:[10.1109/MECATRONICS.2012.6451005](https://doi.org/10.1109/MECATRONICS.2012.6451005)
- IEC (2013) IEC 61131-3:2013 Programmable controllers – Part 3: programming languages
- Kagermann H, Wahlster W, Helbig J (Hrsg) (2013) Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. <http://www.acatech.de/de/publikationen/stellungnahmen/kooperationen/detail/artikel/umsetzungsempfehlungen-fuer-das-zukunftsprojekt-industrie-40-abschlussbericht-des-arbeitskreises-i.html>. Zugegriffen am 22.12.2015

ODVA (2013) The CIP networks library, Bd 1–2

OPC Foundation (2013) OPC unified architecture specification, Parts 1–13 (Version 1.02, Part 7 Version 1.01)

PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (2013) PROFINET Systembeschreibung – Systemhandbuch

Sasse N (2013) Kreativität und Effizienz im Engineering verbinden. SPS-MAGAZIN

Sercos international e.V. – TWG Communication (2013) Sercos – communication profile – version 1.3.1-1.5

VDMA (2012) Trendstudie: IT und Automatisierungstechnik in den Produkten des Maschinen- und Anlagenbaus

Von der Automatisierungspyramide zu Unternehmenssteuerungs-Netzwerken

Michael Kleinemeier

Zusammenfassung

Das Konzept von Industrie 4.0 verspricht hierarchielose Kommunikationsstrukturen, in denen das zu fertigende Produkt selbst die Produktion steuert. Die starre Struktur der Automatisierungspyramide wird als Folge Platz schaffen für flexible, dezentral organisierte Unternehmenssteuerungsnetzwerke. Wie schaffen Fertigungsunternehmen den entscheidenden Schritt von einer „nur“ automatisierten Produktion hin zur „Smart Factory“ – also zu einer intelligenten, selbstorganisierten Produktion? Der Beitrag geht auf die entscheidenden Prozesse ein und zeigt die zu erfüllenden (informations-) technologischen Voraussetzungen.

Wie der Begriff „Industrie 4.0“ bereits signalisiert, befinden wir uns in einem Übergang von der 3. zur 4. industriellen Revolution. Die 3. industrielle Revolution seit den frühen 1970er-Jahren bezeichnet den Einzug von Elektronik und Informationstechnologien in die Fabriken, wo sie seitdem für eine fortschreitende Automatisierung der Produktionsprozesse sorgen. Diese dritte Phase des Industrialisierungsprozesses dauert bis heute an (vgl. acatech und Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft 2013, S. 18). Die Leittechnik in der automatisierten Fabrik der Industrie 3.0 ist durch das hierarchische System der Automatisierungspyramide geprägt – vom ERP-System auf der Unternehmenssteuerungsebene bis hinunter zu den Ein- und Ausgabeschnittstellen auf der Feldebene. Die Verknüpfung von industrieller Fertigung und Informationstechnologie im Sinne von Industrie 4.0 verspricht dagegen einen wachsenden Grad an Vernetzung und Flexibilität: Vertikal sind Maschinen, Produktionsanlagen und Lagersysteme zunehmend in der Lage, untereinander Informationen auszutauschen, Aktionen in die Wege zu leiten oder – sozusagen die Kür – sich selbst zu steuern. Horizontal lassen sich diese

M. Kleinemeier (✉)
SAP SE, SAP Service & Support, Walldorf, Deutschland
E-Mail: anita.riegel@sap.com

Systeme nun nahtlos zum Beispiel zur Lieferkettensteuerung oder für verbesserte Wertschöpfungsketten in Unternehmen nutzen. In dieser Entwicklung liegt ein enormes Potenzial für ganzheitliche Prozessverbesserungen, die in viele Bereiche abstrahlen, etwa in Entwicklung und Konstruktion, Fertigung und Service. Das Problem: Die hierbei entstehenden, hochdynamischen Wertschöpfungsnetzwerke sind so komplex, dass die klassische, hierarchiebetonte Automatisierungspyramide mit ihrer Steuerung schlicht überfordert ist.

Das Konzept von Industrie 4.0 verspricht dagegen hierarchielose Kommunikationsstrukturen, in denen nicht mehr eine zentrale Steuerung, sondern das zu fertigende Produkt selbst die Produktion steuert. Die Folge: Die starre Struktur der Automatisierungspyramide wird in absehbarer Zeit verschwinden und Platz schaffen für flexible, dezentral organisierte Unternehmenssteuerungsnetzwerke (vgl. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik 2013, S. 4). Die wesentliche Frage, die sich Fertigungsunternehmen heute an der Schwelle zur Industrie 4.0 stellen müssen, ist also, wie der entscheidende Schritt von einer „nur“ automatisierten Produktion hin zur „Smart Factory“ – also zu einer intelligenten, selbstorganisierten Produktion – gelingen kann. Wie werden in ihr die Prozesse organisiert sein, und welche (informations-) technologischen Voraussetzungen sind dafür zu erfüllen?

Big Data und Cloud Computing als Treiber von Industrie 4.0

In der Smart Factory sollen intelligente, flexible und dezentrale Produktionsprozesse ablaufen. Ziel ist, dass sich diese später selbst steuern, konfigurieren, optimieren und sich dynamisch anpassen. Auf der operativen Ebene schaffen Technologien wie RFID, Robotik und smarte Sensorik die technischen Voraussetzungen, mit denen Maschinen, Anlagen, Produkte und Bauteile miteinander kommunizieren, selbstständig Daten und Informationen in Echtzeit austauschen, Aktionen anstoßen und einander steuern. Hierbei fallen jedoch enorme Datenmengen an. Diese nutzbringend zu verarbeiten, ist eine der größten Herausforderungen im Kontext von Industrie 4.0, denn Firmen benötigen zuerst die Analysewerkzeuge, mit deren Unterstützung sie umfangreiche Datenmengen nach relevanten Mustern durchsuchen und daraus für sie nützliche Erkenntnisse ableiten können.

Der Begriff Industrie 4.0 steht darüber hinaus für eine vernetzte, mit dem Internet über Unternehmensgrenzen hinweg verbundene industrielle Produktion. Ermöglicht wird dies vor allem durch die enge Verknüpfung von Enterprise-Resource-Planning-Systemen (ERP), Manufacturing-Execution-Systemen (MES) und Datenbanken mit Echtzeitinformationen aus Fabriken, Lieferketten und von Kunden und Produkten. Die verschiedenen Akteure benötigen also eine virtuelle Plattform, die als „Marktplatz“ für den schnellen, unkomplizierten und vor allem sicheren Austausch dient.

Kurz gesagt: So wie cyber-physische Systeme (CPS) die technologischen Voraussetzungen von Industrie 4.0 auf der operativen Ebene schaffen, so sind dies auf der informationstechnologischen Ebene zwei Entwicklungen, die mit den Schlagwörtern „Big Data“ und „Cloud Computing“ verbunden und heute weithin bekannt

sind. Sie bieten Unternehmen aller Größen die Chance, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln, die über die reine Anwendung in der Fertigung deutlich hinausgehen.

1 Anforderungen an die Unternehmens-IT

Die hierfür erforderlichen Technologien sind bereits am Markt erhältlich oder werden von ITK-Anbietern weltweit derzeit entwickelt. Sie bilden das informationstechnologische Rückgrat, in das Fertigungsunternehmen investieren müssen, wenn sie den vollen Geschäftsnutzen aus den Möglichkeiten von CPS ziehen wollen. Hierzu gehören die In-Memory-Technologie, mit der sich auch größte Datenmengen mit hoher Geschwindigkeit abrufen und verarbeiten lassen, sowie entsprechenden Analyselösungen als Basis für Big-Data-Anwendungen. Hinzu kommen cloudbasierte Lösungen, die Einbindung mobiler Anwendungen in die Unternehmens-IT sowie Möglichkeiten animierter 3D-Visualisierungen, etwa für den Einsatz in der Wartung.

SAP adressiert das Thema In-Memory mit der Plattform SAP HANA Cloud Platform. Sie wurde entwickelt, um große Datenvolumina in Echtzeit zu verarbeiten und zu analysieren. SAP HANA wird bereits erfolgreich in Maschine-zu-Maschine-Anwendungsszenarien (M2M) eingesetzt, in denen eine umfassende Datenanalyse zuvor extrem zeitaufwendig oder praktisch unmöglich war. Hierzu gehören beispielsweise eine zustandsorientierte Instandhaltung, die vorausschauende Analyse von Betriebsstörungen oder die automatische Wiederauffüllung von Verbrauchsteilen auf Grundlage des aktuellen Produktionsstatus und kurzfristiger Produktnachfragevorhersagen. Zudem hat SAP durch die Übernahme des Cloud-Anbieters Ariba im Jahr 2012 ein cloudbasiertes Business-to-Business (B2B)-Geschäftsnetzwerk in ihr Portfolio integriert. Es bietet Unternehmen die Möglichkeit, sich mit Kunden, Lieferanten und Partnern zu verbinden, und erlaubt, die Zusammenarbeit in Geschäftsprozessen wie Vertrieb, Einkauf und Finanzen zu erleichtern. Ebenso soll das SAP-Ariba-Netzwerk Effizienzgewinne ermöglichen, indem es gemeinsame Prozesse wie Beschaffung, Rechnungsstellung und Bezahlung mit Hilfe von cloudbasierten Anwendungen automatisiert.

Das ERP (als Spitze der früheren Automatisierungspyramide) wird auch in der Smart Factory seinen Platz haben, denn nicht alle Prozesse werden mit Industrie 4.0 schlagartig verändert. Das Finanz- und Personalwesen oder die Kostenrechnung sind und bleiben feste Bestandteile der erfolgreichen Unternehmensführung. Diese werden ebenfalls Anpassungen erfahren, um die Veränderungen durch Industrie 4.0 zu unterstützen. Die Transparenz über globale Abläufe, die Optimierung von Geschäftsentscheidungen und die Orchestrierung der Produktion über ein Netzwerk von globalen Produktionsstätten hinweg sind nur einige Beispiele für die Kernaufgaben eines ERP-Systems, die nach wie vor Bestand haben werden.

Die Auflösung der starren Hierarchie der Automatisierungspyramide bedeutet demnach nicht, dass die Systeme auf den jeweiligen Ebenen überflüssig werden. Vielmehr geht es heute darum, die verschiedenen Ebenen nahtlos zu verbinden, um

die Anforderungen an die Prozesse von Industrie 4.0 zu unterstützen. So wird das MES in absehbarer Zeit seinen lokalen Fokus beibehalten und auch mit Industrie 4.0 die Optimierung in der Fabrik zum Ziel haben. ERP-Systeme hingegen werden sich auf die Realisierung der Produktion über globale Standorte sowie Firmengrenzen hinweg konzentrieren. Das MES wächst also auch in Zukunft nicht sehr schnell über die Grenzen eines Werkes. Die globale Steuerung, Planung und Auftragsabarbeitung sowie die Orchestrierung von Prozessen bleibt damit weiterhin Aufgabe des ERP (vgl. Wilk 2013).

Um diese Aufgaben innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerks wahrnehmen zu können, benötigt das ERP offene Schnittstellen zu den nachgelagerten Systemen. Durch die Vielzahl an variablen und dezentralen Produktionsprozessen in der Smart Factory und der damit verbundenen Komplexität der Anlagen ist zudem ein hohes Maß an Standardisierung notwendig – nicht nur bei Schnittstellen, sondern auch bei produktionsübergreifenden Datenformaten und Protokollen. Eine industrieweite Standardisierung und die Definition einer Referenzarchitektur (vgl. acatech und Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft 2013, S. 43 ff.) sind daher von größter Bedeutung auf dem Weg zum funktionstüchtigen Unternehmenssteuerungsnetzwerk.

2 Chancen und Voraussetzungen künftiger Einsatzszenarien

2.1 Durchgehende digitale Unternehmensprozesse

Die Integration des gesamten Produktlebenszyklus in die Wertschöpfungskette wird die Grundlage innovativer Geschäftsprozesse und neuer Geschäftsmodelle bilden (vgl. Bolick et al. 2013, S. 11 ff.). Beispielsweise können Hersteller die Produktion eines Artikels zuerst digital simulieren, bevor sie es mit einem physischen Prototypen tun. Hierfür müssen die digitalen Modelle, die heute in computerunterstützten Konstruktions- (CAD) und Produktionssystemen (CAM) verfügbar sind, in ein Produktionsplanungssystem integriert werden, das die gesamte Produktionslinie simulieren kann. Die während der Produktion anfallenden Daten lassen sich in kontextsensitive Informationen umwandeln, mit deren Hilfe Risiken und Komplexitäten im Produktionsprozess frühzeitig identifiziert und gemildert werden können. Ebenso lässt sich Feedback von Kunden oder aus der Wartung besser in das Produktdesign rückintegrieren. Im Anschluss an die Produktion wird die digitale Struktur des Produkts an den Kundendienst weitergegeben. Dieser kann damit prognostizieren, wo es beim Produkt künftig zu Störungen kommen kann. Ebenso helfen Feedback-Schleifen aus den Produktions- und Service-Abteilungen in die Entwicklungsabteilung dabei, Wartungszeiten und -kosten zu reduzieren und die Produktion zu optimieren. Wenn das Produkt schließlich das Ende seines Lebenszyklus erreicht hat, können Informationen über Design, Produktion und Gebrauch den Hersteller dabei unterstützen, verschiedene Weiterentwicklungs- und Recycling-Optionen zu bewerten.

Um sämtliche Ressourcen, Produkte und Prozesse zu integrieren, müssen die Hersteller sämtliche vorhandenen Datenquellen – vom Montageband bis zu sozialen Netzwerken – identifizieren, in Beziehung zueinander setzen und analysieren können. Die Modellierung von Produktlebenszyklen wird zu einer zentralen Aufgabe und zur Grundlage der Zusammenarbeit über Abteilungs- und Unternehmensgrenzen hinweg. So ließen sich Entwicklungs- und Produktionsprozesse künftig in Echtzeit an das Kundenfeedback anpassen. Ebenso könnten sich Hersteller mit Kunden und Partnern für vorausschauende Wartungsarbeiten (Predictive Maintenance) oder eine lokale Just-in-time-Produktion vernetzen. Diese Entwicklung hätte letztlich sogar das Entstehen eines neuen Berufsbilds zur Folge: des Lifecycle Engineers.

2.2 Integration von Top Floor und Shop Floor

Maschinen in automatisierten Produktionsprozessen sind heute bereits eng in Geschäfts- und Produktionssysteme eingebunden. In der Regel erhalten sie dabei ihre Anweisungen aus dem MES auf Grundlage eines zentralen Produktionsplans. In Zukunft werden wir eine zunehmende Konvergenz von Informations- und Betriebstechnologie erleben (vgl. Bolick et al. 2013, S. 13 f.). Intelligente Maschinen werden zuvor fixe Produktions- und Logistikpläne flexibel anpassen können, und sie werden dies über zunehmend dezentralisierte Planungsprozesse tun. Autonome Fertigungseinheiten, in denen Robotik und Werker eng verzahnt zusammenarbeiten, passen sich dann an kontinuierliche, kundengetriebene Produktveränderungen an. Eine einzelne Produktionslinie wird somit in der Lage sein, verschiedene Produkttypen herzustellen, ohne dass der Produktionsprozess grundlegend umstrukturiert werden muss – eine wesentliche Voraussetzung, um das Industrie-4.0-Ideal der „Losgröße eins“ zu erreichen. Die Logistik muss dann entscheiden, ob etwa ein Ersatzteil verschickt oder per 3D-Drucker direkt am Bestimmungsort produziert werden soll.

Mit der Intelligenz und Kommunikationsfähigkeit von Maschinen und Objekten steigt auch die Autonomie und Selbstorganisationsfähigkeit von Fertigungseinheiten. Maschinen und Objekte werden gemeinsam entscheiden, welche Werkzeuge zum Einsatz kommen und wohin sich Einzelteile für den nächsten Produktionsschritt bewegen sollen. Maschinen werden ihren Arbeitszustand an das ERP-System des Herstellers übermitteln; Werksleiter erhalten einen Echtzeit-Überblick über die Produktion. So können sie bei Komplikationen schnell reagieren und die Produktionspläne flexibel an die aktuellen Gegebenheiten anpassen.

Diese Kommunikations- und Koordinationsprozesse werden immense Datenmengen produzieren. Bei 50 bis 100 Sensoren pro Maschine und 500 oder mehr Produktionsschritten pro Produkt können mehrere Terabytes an Daten anfallen, die gespeichert, mit anderen Datenquellen kombiniert und möglichst in Echtzeit ausgewertet werden müssen. Verknüpft mit weiteren Unternehmensdaten können diese Fertigungsdaten jedoch völlig neue Möglichkeiten hinsichtlich Prozessoptimierung und Geschäftsideen erschließen, beispielsweise durch die effiziente Herstellung hochspezifischer Teile für individuelle Kunden, eine effiziente Kontrolle des

Energieverbrauchs in der Produktion oder die bestmögliche Auslastung und Verteilung von Maschinen, Arbeitskräften und Ressourcen. Unternehmen werden so in die Lage versetzt, operationelle Risiken früher zu identifizieren und potenzielle Probleme zu lösen, bevor sie überhaupt auftreten.

2.3 Wertschöpfungsnetzwerke in Echtzeit

Die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen ist für gewöhnlich durch relativ rigide Prozesse mit sequentiellen Arbeitsabläufen geprägt. In Anlehnung an soziale Netzwerke unterliegen diese Kollaborationsprozesse in den kommenden Jahren sowohl in der Tiefe als auch in ihrer Breite einem wesentlichen Wandel. Die Interaktion zwischen Unternehmen wird sich von traditionellen Lieferketten hin zu Wertschöpfungsnetzwerken entwickeln, in denen Partnerbeziehungen kurzfristig aufgebaut oder konfiguriert werden, um Losgröße-eins-Anfragen bedienen zu können (vgl. Bolick et al. 2013, S. 14 f.). Digitalisierung und allgegenwärtige Konnektivität ermöglichen die echtzeitoptimierte Wertschöpfungskette, in der zum Beispiel Liefertermine auf Basis von Echtzeitrückmeldungen aus dem Liefernetzwerk unter Berücksichtigung veränderlicher Rahmenbedingungen wie Recht, Risiko, Haftung und Exportkontrolle ermittelt werden.

Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Akteure geschäftskritische Daten – etwa zu Kapazitäten, Plandaten und Produktkosten – auch in diesen hochgradig vernetzten Strukturen sicher und verlässlich miteinander austauschen können. Hierzu bedarf es einer entsprechend vertrauenswürdigen Infrastruktur. Methoden wie Privacy-Preserving- und Multiparty-Computing können Unternehmen dabei unterstützen, Optimierungsalgorithmen über verschlüsselte Daten laufen zu lassen, ohne dabei sensible Daten offenlegen zu müssen. Anhand von „Sticky Policies“ lassen sich Daten zudem mit Metainformationen zu Sicherheitsrichtlinien und Datennutzung versehen. Derartige Methoden und Konzepte befinden sich noch in der Entwicklungsphase, dürften aber in absehbarer Zeit effizienter und nutzbarer werden.

Eine zweite Grundlage für Echtzeit-Wertschöpfungsnetzwerke ist die Verfügbarkeit von cloudbasierten Plattformen, auf denen sich Produzenten, Lieferanten, Dienstleister und Kunden verbinden können (Abb. 1). Viele Unternehmen nutzen bereits Geschäftsnetzwerke zur Zusammenarbeit in ihren Lieferketten. Sie werden in Zukunft für immer mehr Geschäftsbereiche eine tragende Rolle spielen. Hierzu bedarf es jedoch mehr als der bloßen Bereitstellung der IT-Infrastruktur. So gilt es zum Beispiel, auf rechtlicher Seite neue Vertragsformen zu definieren, die diese neuartigen Geschäftsbeziehungen und -modelle unterstützen. Trotz solcher Herausforderungen werden Online-Netzwerke Fertigungsunternehmen dabei helfen, Lieferengpässe und Produktionsausfälle vorherzusehen, kurzfristig neue Lieferanten zu finden sowie Veränderungen in Marktbedingungen und Kundenverhalten zielgerichteter zu adressieren. Vernetzung wird zur Grundlage des Geschäftserfolgs.

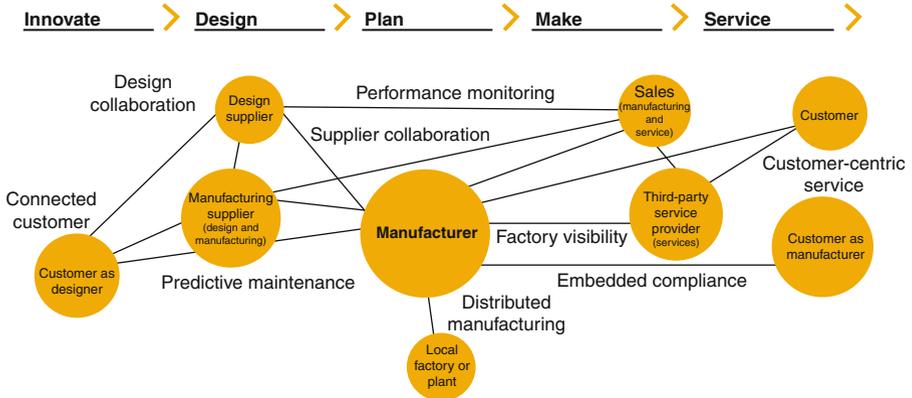


Abb. 1 Unternehmensmarktplätze verbinden Menschen, Fabriken, Maschinen und Produkte

3 Fazit

Industrie 4.0 ist ein komplexes Zusammenspiel von neuen Marktanforderungen, Technologien und Geschäftsmodellen. Der genaue Verlauf dieser Transformation wird nicht linear oder völlig vorhersehbar sein, denn er umfasst Innovationen, die sich parallel auf vielen verschiedenen Ebenen vollziehen. Für Softwareanbieter geht es darum, die Veränderungen in den Produktions- und Geschäftsprozessen, die durch Industrie 4.0 aufgezeigt werden, softwareseitig bestmöglich zu unterstützen. Hierzu gehören mehr Flexibilität und Anpassbarkeit, die Vereinfachung komplexer Prozesse und eine schnellere Entscheidungsunterstützung.

Neben der Investition in IT-Systeme, die das starre Korsett der Automatisierungspyramide zugunsten flexibler Unternehmensnetzwerke aufbrechen, empfehlen wir Fertigungsunternehmen die folgenden Maßnahmen, um frühzeitig das Fundament für eine intelligente Produktion im Sinne von Industrie 4.0 zu legen (vgl. Bolick et al. 2013, S. 30):

- **Entwickeln Sie Ideen für neue Geschäftsszenarien.** Hierzu bieten sich zum Beispiel Workshops auf Grundlage der kreativen Design-Thinking-Methodologie an.
- **Entscheiden Sie, welche Themen für Sie strategisch am wichtigsten sind.** Bewerten Sie die entwickelten Ideen auf Basis von Kriterien wie Wertschöpfungsmöglichkeiten, Ressourcenverbrauch oder Umwelanforderungen.
- **Entwerfen Sie eine Roadmap.** Entwickeln Sie einen angemessenen Zeit- und Maßnahmenplan, mit dessen Hilfe Sie die neuen Prozesse auf Grundlage ihrer vorhandenen Basistechnologien aufsetzen.

Literatur

- acatech, Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (2013) Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Abschlussbericht_Industrie4.0_barrierefrei.pdf. Zugegriffen am 04.11.2013
- Bolick S, Bussey P, Castro S, Conlon G, Geiger K, Görlich K, Guttmann U, Kaiser T, Koepfer Behncke P, Krüger A, Lackey M, Majumdar A, Merlo R, Ohnemus T, Schmidt VA, Stubbs S (2013) Idea to performance: maximizing opportunity in a new, technology-driven industrial revolution. SAP Thought Leadership Paper, SAP AG
- Lackey M (2013) Why responsive manufacturing is more crucial than ever. SAPinsider. <http://sapinsider.wispubs.com/Assets/Articles/2013/July/Why-Responsive-Manufacturing-Is-More-Crucial-Than-Ever>. Zugegriffen am 29.10.2013
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (2013) Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. http://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf. Zugegriffen am 04.11.2013
- Wilk C (2013) Industrie 4.0: Kampf um die Software der Zukunft. Produktion. <http://www.produktion.de/it-software/kampf-um-die-software-der-zukunft/>. Zugegriffen am 05.11.2013

Migration zur Industrie- 4.0-Fertigung

Andreas Bildstein und Joachim Seidelmann

Zusammenfassung

Nur selten hat man die Gelegenheit neue Fertigungskonzepte und Ideen in die Planungsüberlegungen für eine neue Fabrik einfließen zu lassen. Meistens gilt es, diese neuen Ideen in bestehende Fertigungsumgebungen zu integrieren. Das gilt auch für die Einführung von Digitalisierungslösungen in die Produktion, wie es bei der Einführung von Industrie 4.0 der Fall ist. Der vorliegende Beitrag gibt einen methodischen Überblick, wie Konzepte, die hinter Industrie 4.0 stehen, systematisch und Schritt für Schritt in laufenden Produktionsumgebungen eingeführt werden können. Dabei wird ein 7-Stufen-Modell für die Einführung von Industrie 4.0 vorgestellt, in dessen Mittelpunkt die Erarbeitung von firmenspezifischen Anwendungsfällen, sogenannten Use Cases, steht.

1 Am Anfang steht die Komplexität

Schaut man sich die bisherigen Beispiele an, in denen Industrie 4.0-Konzepte in die Produktion eingeführt wurden, so zeigt sich, dass es ganz unterschiedliche Anwendungsszenarien gibt, in denen verschiedene Umsetzungsaspekte der Industrie 4.0-Bewegung sinnvoll eingesetzt werden können. Auch in den „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ (vergl. Kagermann et al. 2013) sind weitere beispielhafte Anwendungsszenarien für die Umsetzung von Industrie 4.0-Ideen zu finden.

Die Bandbreite dieser möglichen Umsetzungsszenarien als auch die Mannigfaltigkeit der Basistechnologien für Industrie 4.0, die sogenannten „enabling technologies“, zeigen, dass hinter dem Begriff Industrie 4.0 nicht die eine neue Industrie

A. Bildstein (✉) • J. Seidelmann

Kompetenzzentrum Digitale Werkzeuge in der Produktion, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland

E-Mail: andreas.bildstein@ipa.fraunhofer.de; joachim.seidelmann@ipa.fraunhofer.de

4.0-Technologie steht, sondern dass sich hinter Industrie 4.0 vielmehr eine Vielzahl an unterschiedlichen neuen, aber auch bereits bekannten und etablierten Technologien verbirgt. Neu bei diesen smarten Technologien für Industrie 4.0 ist auf jeden Fall, dass die beiden Disziplinen Informationstechnologie (IT) und Maschinenbau eng zusammenarbeiten; leider steigt durch diesen interdisziplinären Systementwurf auch die Komplexität bei der Einführung dieser Technologien.

Diese smarten Technologien lassen sich nun jede einzeln oder im Zusammenspiel mit weiteren Technologien im Rahmen der Industrie 4.0-Aktivitäten eines produzierenden Unternehmens einführen. Bei den Einführungsprojekten können diese Technologien dann auf einen speziellen oder aber auch auf mehrere Geschäftsprozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette im Produktlebenszyklus angewendet werden. Nicht zuletzt die aus diesen Umsetzungsmöglichkeiten entstehende Vielzahl an Kombinationsvarianten aus Technologien und Prozessen lässt die Einführung von Industrie 4.0-Aspekten in der Produktion zu einer herausfordernden Aufgabe werden.

Erschwerend kommt noch hinzu, dass die Einführung dieser Industrie 4.0-Basistechnologien nur in sehr seltenen Fällen bereits bei der Planung und dem Anlauf einer neuen Fabrik mitberücksichtigt werden kann, sondern in den wohl überwiegenden Fällen auf bereits bestehende Produktionsstätten mit bereits vorhandener Ausrüstung und bereits gelebten Prozessen und Arbeitsabläufen trifft.

Bei der Einführung von neuen Technologien und daraus resultierenden neuen Arbeitsprozessen in gewachsenen Strukturen sollte, nicht nur im Industrie 4.0-Umfeld, ein besonderes Augenmerk auf die Ausgangssituation gelegt und genau geprüft werden, bei welchen Prozessen die Einführung einer bestimmten Technologie oder eines Technologie-Bundles am erfolgversprechendsten ist und wie die Migration vom Istzustand zum Sollzustand am besten gestaltet werden kann.

Der vorliegende Beitrag stellt eine Methodik für die Migration hin zu einer Industrie 4.0-Fertigung vor und gibt einen beispielhaften Einblick in einige Migrationsszenarien für die Einführung von Industrie 4.0-Aspekten in bestehende Produktionsumgebungen.

2 Ausgangssituation für Industrie 4.0-Migrationsszenarien

In den produzierenden Unternehmen finden wir gewachsene, komplexe Strukturen vor, die im Folgenden für die für Industrie 4.0 wesentlichen Bereiche Fabrik und Prozesse, Produktions-IT, Automatisierungstechnologie und Informations- und Kommunikationstechnologie genauer betrachtet werden.

2.1 Ausgangssituation Fabrik

Die typische Fabrik ist geprägt von über die Jahre hinweg gewachsenen Strukturen. Diese finden sich zum einen in den Bauwerken, wie beispielsweise den Produktionsgebäuden mit ihren Um- und Anbauten. Zum anderen finden sich gewachsene

Strukturen in den Produktionsanlagen, die in diesen Produktionsgebäuden untergebracht sind und die ebenfalls immer wieder angepasst, modernisiert und umgebaut werden, um mit den neuen Produktionsanforderungen Schritt halten zu können.

Auch die Geschäftsprozesse und die sie unterstützenden IT-Systeme sowie die Arbeitsabläufe sind mit der Zeit gewachsen und stehen ebenfalls in einem ständigen Anpassungsprozess mit den organisatorischen und technologischen Entwicklungen in den Produktionsunternehmen.

Diese Anpassungen in der organisatorischen und technologischen Ausrichtung eines Produktionsunternehmens sind stark getrieben von dem Bestreben, den auf das Unternehmen einwirkenden äußeren Einflüssen und Anforderungen zu entsprechen.

Eine der größten Herausforderungen, denen sich produzierende Unternehmen heute gegenübergestellt sehen, ist es, die externe und interne Komplexität in ein Gleichgewicht zu bringen, indem sowohl die externe als auch die interne Komplexität für das Unternehmen möglichst optimal abgebildet werden. In den 1990er-Jahren entwickelte sich das Konzept der Fraktalen Fabrik (vergl. Warnecke 1992), mit dem dieser steigenden Komplexität entgegengewirkt werden sollte.

Die dort beschriebenen Fraktale wurden in den 1990ern noch auf organisatorischer Ebene festgelegt. Technologien, die diesen Ansatz der Fraktalen Fabrik hätten adäquat unterstützen können, waren entweder noch nicht vorhanden oder noch nicht ausgereift für einen Einsatz im Produktionsumfeld.

Mit den Industrie 4.0-Basistechnologien stehen jetzt die Technologien bereit, mit denen der organisatorische Ansatz der Fraktalen Fabrik auch technologisch unterstützt werden kann.

2.2 Ausgangssituation Produktions-IT

Im Bereich der Produktions-IT finden sich häufig, ähnlich wie in der Fabrik, über die Zeit gewachsene Strukturen. In einem typischen Produktionsunternehmen findet sich eine Vielzahl an IT-Systemen, die in der Regel jedes zur Unterstützung eines bestimmten Geschäftsprozesses eingeführt wurden. Abb. 1 zeigt beispielhaft einige typische Vertreter dieser Produktions-IT-Systeme und ordnet diese anhand der vier Lebenszyklen in der industriellen Fertigung – Fabrik, Technologie, Produkt und Auftrag – den verschiedenen Geschäftsprozessen innerhalb dieser Lebenszyklen zu.

Die eingesetzten IT-Systeme beeinflussen die einzelnen Geschäftsprozesse so, dass die Arbeitsabläufe in der Regel an diese Systeme angepasst werden müssen. Bis zu einem gewissen Grad ist diese Beeinflussung der Arbeitsprozesse durch die Einführung des IT-Systems durchaus sinnvoll, da in den Software-Systemen meist sogenannte Best Practices hinterlegt sind; Musterabläufe der Prozesse also, die sich in anderen Einsatzumgebungen als sinnvoll erwiesen haben. Damit ergibt sich für die Anwenderunternehmen die Möglichkeit, ihre Prozesse auf Basis von erprobten Abläufen zu verändern und im Idealfall zu verbessern.

Dennoch müssen diese Musterabläufe in der Regel von externen Beratern und Software-Firmen in zeit- und kostenintensiven Projekten an die individuellen

Die 4 Lebenszyklen in der industriellen Produktion

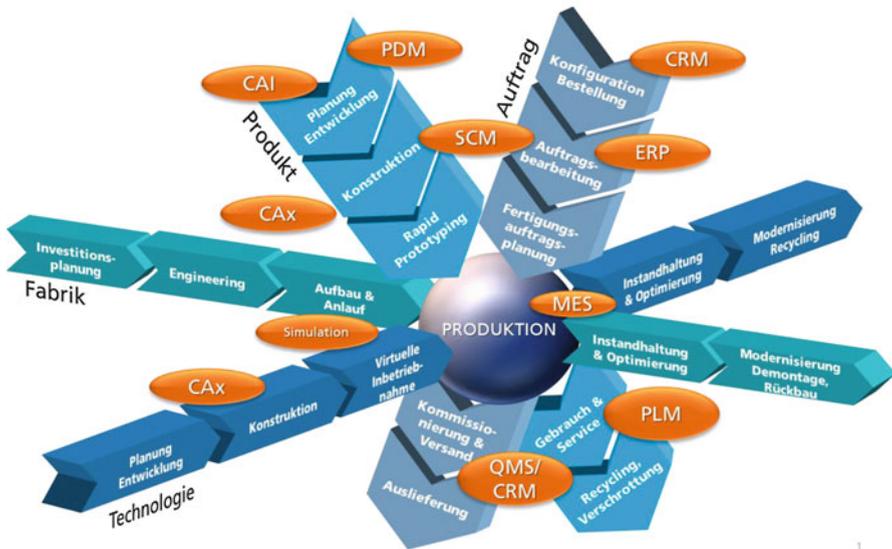


Abb. 1 Beispielhafte IT-Systeme eines produzierenden Unternehmens

Anforderungen des Unternehmens angepasst werden. So entstehen Insellösungen, die zwar für den vorgesehenen Einsatzbereich optimiert sind, sich allerdings nicht oder nur aufwändig in die Gesamtarchitektur der Produktions-IT integrieren lassen.

Zu dieser vielseitigen und heterogenen Systemlandschaft in der Produktions-IT (Abb. 1) kommt noch erschwerend hinzu, dass in den Unternehmen an unterschiedlichen Standorten für die gleiche Aufgabe alternative, mit einander nicht kompatible Produkte von unterschiedlichen Herstellern oder unterschiedliche Versionsstände vom gleichen Hersteller eingesetzt werden können.

Mit dem Konzept des Computer Integrated Manufacturing (CIM) wurde in den 1980er-Jahren damit begonnen, Teilbereiche der in der Produktion verwendeten IT-Systeme miteinander zu vernetzen, um einen einheitlichen Informationsfluss zwischen den Systemen zu ermöglichen. Allerdings scheiterte diese CIM-Bewegung weitgehend, teils aufgrund der Komplexität, teils aufgrund der damals mangelnden Leistungsfähigkeit der vorhandenen Technologien, aber auch weil einige wenige Anbieter versuchten, mit eigenen Standards und Verfahren große integrierte Systeme zu entwickeln.

Eine besondere Herausforderung bei der Einführung von Industrie 4.0 in die bestehende Produktions-IT-Landschaft der Unternehmen besteht darin, die bereits vorhandenen Systeme nicht (sofort) zu ersetzen, um die getätigten Investitionen zu sichern und den in der Regel ja funktionierenden Produktionsablauf nicht zu beeinträchtigen. Vielmehr geht es darum, fehlende Funktionalitäten der momentan eingesetzten Lösungen mit neuen Verfahren zu kompensieren und damit einen Mehrwert für das Unternehmen zu schaffen sowie seine Position im Markt zu stärken.

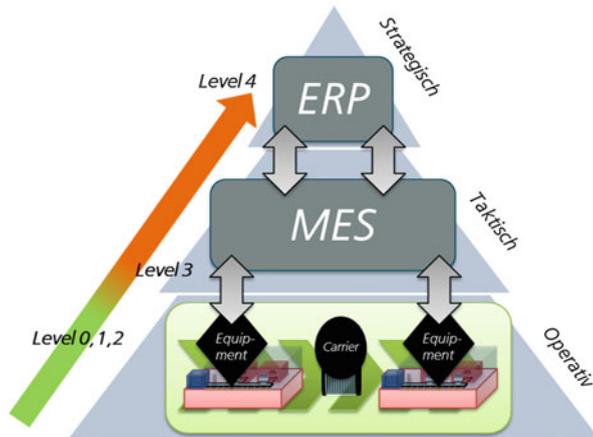
2.3 Ausgang.ssituation Produktionsautomatisierung

Parallel zu CIM entwickelte sich die sogenannte Automatisierungspyramide heraus (Abb. 2), in der über die ISA-95 Norm festgelegt wird, wie geschäftsprozessrelevante IT-Systeme mit den IT-Systemen für die Steuerung der Produktionstechnologie integriert werden sollen. Diese wurde in vielen, vor allem großen Unternehmen, die einen hohen Bedarf an durchgängigen Prozessen hatten, von der Unternehmensleitebene bis hinunter zur Steuerungsebene auf dem Shopfloor umgesetzt. Dieses ging in der Regel einher mit der Anschaffung von Enterprise Resource Planning-Systemen (ERP) auf der Unternehmensleitebene und Manufacturing Execution-Systemen (MES) in der Produktion sowie deren Integration mit der zunehmend automatisierten Steuerung der Produktionsanlagen auf der operativen Ebene, dem Shopfloor. Diese Entwicklung stellt heute den Standard in der Vernetzung von Produktions-IT-Systemen in hochautomatisierten Produktionsunternehmen dar.

Durch die Einführung von Industrie 4.0 in die Produktions-IT besteht insbesondere für die KMUs, vor allem für diejenigen, bei denen die 3. Industrielle Revolution noch nicht so richtig angekommen ist, eine große Chance. Für diese Unternehmen ergibt sich mit der gezielten Einführung von Industrie 4.0-Technologien und -Konzepten ein großes Potenzial, maßgeschneiderte Produktions-IT-Funktionalität zu erhalten, ohne die Automatisierungspyramide dabei komplett abbilden zu müssen.

Bei der Anbindung der Produktionssysteme auf dem Shopfloor an die Welt der IT-Systeme auf den höheren Ebenen der Automatisierungspyramide treffen verschiedene Welten aufeinander. Auf der einen Seite stehen die Maschinen und Anlagen der Produktion, deren Herz die Produktionsautomatisierung mit Hilfe von Steuerungssystemen ist, die auf industrielle Bussysteme zurückgreifen, das sogenannte Equipment. Auf der anderen Seite stehen die IT-Systeme, die über Ethernet und Internet Protocol (IP) kommunizieren, die klassische Informationstechnologie. Für die „Equipment Integration“, die Integration dieser beiden Welten,

Abb. 2 Vereinfachte Automatisierungspyramide nach ISA-95



stehen heute verschiedene Verfahren, wie beispielsweise OPC und OPC UA oder MDE (Maschinendatenerfassung) und BDE (Betriebsdatenerfassung) zur Verfügung.

Dort wo es möglich und sinnvoll erscheint, wird der starre Aufbau der Automatisierungspyramide durch Industrie 4.0 in Zukunft aufgeweicht und durchlässiger werden wird. Insbesondere bei Industrie 4.0-Technologien, wie beispielsweise cyber-physischen Systemen (CPS), muss geprüft werden, inwiefern eine Integration in die Automatisierungspyramide nötig ist und wie die Kommunikation der CPS untereinander und mit übergeordneten Systemen entlang der Automatisierungspyramide durchgeführt werden soll.

Auf dem Shopfloor gilt für viele Anlagen, Maschinen und Komponenten, wie beispielsweise Sensoren und Aktoren, nach wie vor, dass sie nicht direkt an die Welt der klassischen Informationstechnologie angebunden werden können, da sie nicht über das Internet Protocol (IP) kommunizieren können. Dieses ist jedoch die Voraussetzung für Industrie 4.0-Konzepte, wie beispielsweise das Internet der Dinge und Dienste. Hier ist es erforderlich, entweder über die herkömmlichen Verfahren die Integration des Equipments vorzunehmen oder aber Verfahren zu entwickeln, mit denen dieses Equipment direkt über IP kommunizieren kann.

2.4 Ausgangssituation Informations- und Kommunikationstechnologie

In der Informationstechnologie waren in den letzten 10 Jahren zwei große Trends zu erkennen, die auch für Industrie 4.0 von großer Bedeutung sind. Das ist zum einen die fortwährende Orientierung an den Web-Technologien, die sich im Umfeld der Anwendungsentwicklung und in der weiter rasant zunehmenden Verbreitung von Web-Interfaces und mobilen Endgeräten erkennen lässt. Zum anderen ist das die Kapselung von Funktionalitäten, die von einzelnen Systemen in einer IT-Umgebung bereitgestellt werden, in sogenannten Dienste (Services).

Durch den Einzug von Web 2.0, häufig auch Mitmach-Web genannt, wurde dieser Trend beschleunigt. Die Sozialen Medien konnten ihren Siegeszug im WWW starten, indem Sie große Anwendergruppen für Ihre Angebote begeistern konnten. Diese Entwicklung hat auch vor den Unternehmen nicht halt gemacht. So werden beispielsweise im unternehmenseigenen Intranet Inhalte durch die Mitarbeiter über Wikis, Foren, interaktive Websites und spezialisierte Webanwendungen bereitgestellt.

Der zweite große Trend, die Service-Orientierung, ist ein Architektur-Paradigma aus dem Bereich der verteilten Systeme und gründet auf der Erkenntnis, dass in einem Netzwerk häufig mehrere Anwendungen mit gleichen oder ähnlichen Funktionalitäten anzutreffen sind. Das Ziel hinter der Service-Orientierung und der service-orientierten Architektur (SOA) ist es, die verschiedenen Anwendungen und deren Komponenten in sogenannte Services aufzuteilen. Damit sollen unter anderem Entwicklungskosten gespart und gleichzeitig die Flexibilität innerhalb der Systemumgebung erhöht werden.

Jeder dieser Dienste bildet einen abgegrenzten und abgeschlossenen Funktionsbereich ab, der im Netzwerk eindeutig identifiziert und von weiteren Diensten im Netzwerk genutzt werden kann. Durch die Verknüpfung dieser Dienste, der sogenannten Orchestrierung, können Funktionalitäten zusammengefasst und als aggregierte Dienste bereitgestellt werden.

Eine intensive Bereitstellung solcher Dienste findet derzeit im Bereich des Cloud-Computing statt, wobei hier nicht nur Funktionskomponenten als Dienste verstanden werden. Im Cloud-Umfeld stößt man auf Begriffe wie Software as a Service (SaaS), Platform as a Service (PaaS) und Infrastructure as a Service (IaaS), alles Dienste, die beispielsweise Software-Anwendungen (SaaS), Entwicklungsumgebungen (PaaS) oder Rechnerinfrastruktur (IaaS) als Dienste über das Internet bereitstellen.

Für die Anwender besonders interessant ist die Bereitstellung von sogenannten Apps über die Cloud. Apps sind kleine Software-Lösungen, die einen fest definierten Funktionsumfang für einen eingeschränkten Aufgabenbereich besitzen. Diese Apps kann sich der Anwender über die Cloud auf ein mobiles Gerät, wie beispielsweise Smartphone oder Tablet, herunterladen. Häufig können diese Apps über einen Speicher, der in der Cloud bereitgestellt wird, untereinander synchronisiert werden, indem sie online auf die Daten in der Cloud zugreifen. Dies hat den großen Vorteil, dass sich der Anwender der App keine Gedanken darüber machen muss, wie er denn nun die aktuellsten Daten auf seinen unterschiedlichen Geräten angezeigt bekommt, da die Apps sich auf jedem Gerät die Daten aktuell aus der Cloud holen und dort auch ihre Daten bereitstellen.

Die traditionellen IT-Systeme aus der Automatisierungspyramide werden um Apps mit zusätzlichen Funktionalitäten erweitert werden. Diese Apps bieten dadurch einen Datenaustausch über die Grenzen von Produktionssystemen, Produktions-IT-Systemen, Standorten und Unternehmen hinweg an und können die so bereitgestellten Daten auf alle eingesetzten Endgeräte synchronisieren. In Verbindung mit den Daten aus Sensoren von cyber-physischen Systemen in Produktion und Logistik können so alle Beteiligten auf die für sie relevanten Daten entlang des Produktlebenszyklus jederzeit von überall in nahezu Echtzeit zugreifen. Dies ermöglicht völlig neue Formen der Zusammenarbeit in Produktionsnetzwerken.

Die besondere Herausforderung bei dieser cloud-basierten horizontalen und vertikalen Vernetzung besteht darin, die Daten so sicher wie nötig in der Cloud bereitzustellen, damit auf diese Daten nur von autorisierten Anwendern zugegriffen werden kann. Nur dann wird die Akzeptanz dieser vielversprechenden Technologien auch im Produktionsumfeld gewährleistet sein.

3 Industrie 4.0-Readiness: Vorgehensmodell für die Industrie 4.0-Migration

Abb. 3 zeigt einen Einführungsprozess in sieben Stufen, der am Fraunhofer IPA entwickelt wurde und aufzeigt, wie man sich als Unternehmen dem Thema Industrie 4.0-Einführung annähern und die Konzepte und Technologien der Industrie 4.0

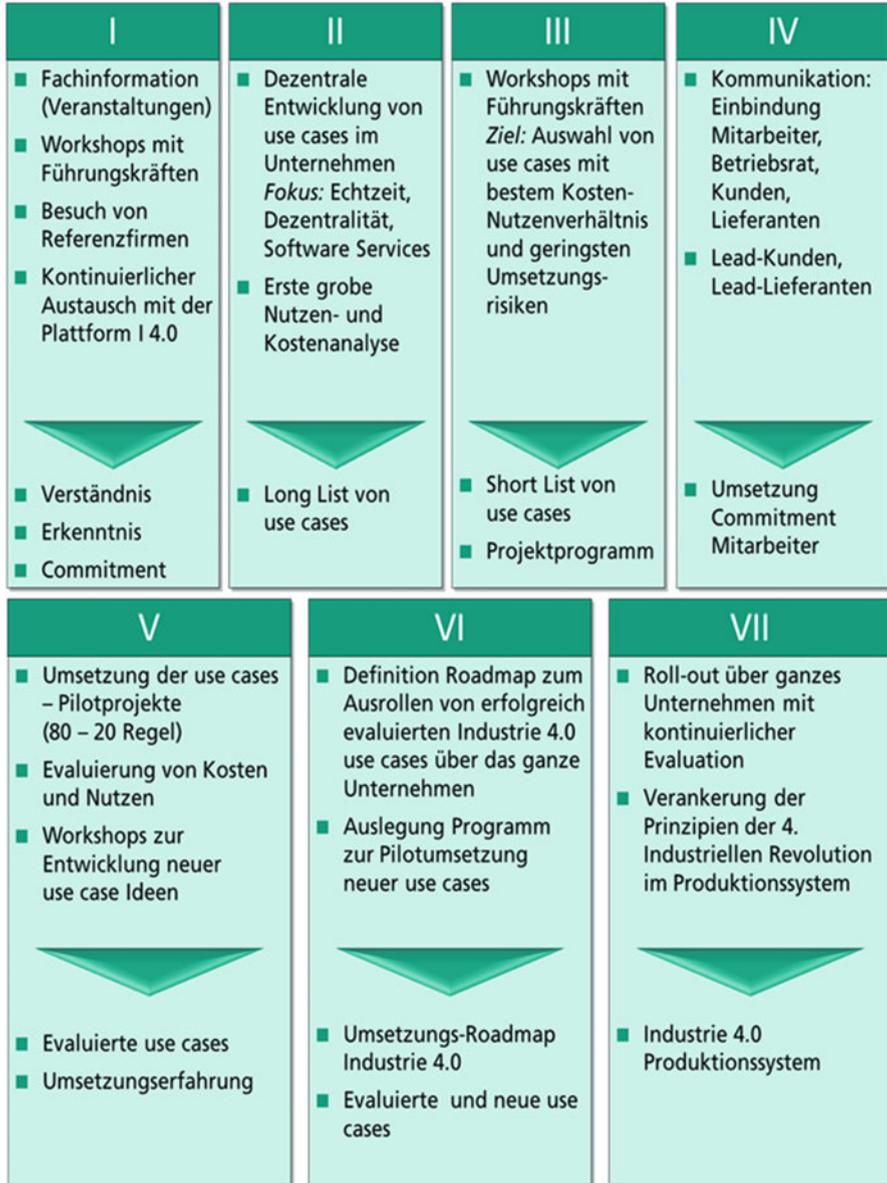


Abb. 3 Siebenstufiger Einführungsprozess für Industrie 4.0

in der eigenen Wertschöpfung und vor allem in den Produktionssystemen verankern kann.

Mit Hilfe dieser Vorgehensmethodik kann das Nutzenpotenzial verschiedener Industrie 4.0-Aspekte für einzelne Unternehmen objektiv eingeschätzt und die

Einführung von Industrie 4.0-Konzepten systematisch geplant und durchgeführt werden.

Das Vorgehen für die Prozess- und Potenzialanalyse im Rahmen der Einführung von Industrie 4.0-Konzepten lässt sich dabei im Wesentlichen in drei Hauptabschnitte unterteilen.

3.1 Aufnahme und Analyse der zu betrachtenden Prozesse

In diesem ersten Schritt werden diejenigen Geschäftsprozesse herausgearbeitet, die für das Unternehmen bei der Einführung einer Industrie 4.0-Fertigung relevant sind.

Bei der Ermittlung dieser Prozesse kann entlang der vier Lebenszyklen in der industriellen Fertigung, die in Abb. 1 dargestellt sind, für jedes Unternehmen individuell festgelegt werden, welche dieser Geschäftsprozesse für das Unternehmen von Bedeutung sind. Sind die Prozesse auf dieser groben Ebene ermittelt, geht es nun darum diese Hauptprozesse weiter zu detaillieren und die daraus relevanten Unterprozesse festzulegen.

Für die Ermittlung der relevanten Prozesse kann auch auf Prozesshandbücher zurückgegriffen werden, die unter Umständen in den Unternehmen bereits vorhanden sind. Das hat den Vorteil, dass hier schon alle unternehmensrelevanten Prozesse detailliert beschrieben sind und damit der Findungsprozess für die Industrie 4.0-relevanten Prozesse erheblich verkürzt werden kann.

Sobald die Prozesse ermittelt und ausreichend detailliert beschrieben wurden, gilt es, sie daraufhin zu analysieren, welche Verbesserungspotenziale es im Hinblick auf die Möglichkeiten von Industrie 4.0 gibt.

Im Kern der Überlegungen steht hierbei die Frage, ob Industrie 4.0-Konzepte, wie beispielsweise Vernetzung in Echtzeit, smarte Objekte, Software Services in der Cloud oder cyber-physische Produktionssysteme dabei helfen können, diese Prozesse zu verbessern. Ganz nebenbei ergibt sich hierbei auch die Möglichkeit zu überprüfen, ob die aktuellen Prozesse nicht generell überarbeitet werden sollten.

Als Methoden für die Ermittlung und Analyse der relevanten Prozesse bieten sich beispielsweise Wertstromanalyse, Expertenbefragung, Gap-Analyse und Benchmarking an. Workshops mit Beteiligten aus unterschiedlichen Bereichen können dabei helfen, die Prozesse aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten und dadurch ein vollständigeres Bild zu erhalten.

Das Ergebnis dieses Schrittes ist eine Landkarte mit allen Prozessen, die für die Einführung einer Industrie 4.0-Fertigung relevant sind, sowie eine Prozesskarte für jeden dieser Prozesse mit einer detaillierten Beschreibung und Analyse des individuellen Prozesses. Aus der Analyse der einzelnen Prozesse geht zum einen hervor, welche Problemstellungen es im Zusammenhang mit diesem Prozess gibt und welches Potenzial diesem Prozess im Hinblick auf eine Industrie 4.0-Fertigung eingeräumt wird.

Zum anderen sollte der Prozessanalyse entnommen werden können, in welchem Maße der Prozess in naher Zukunft überarbeitet werden soll, da diese Information

über den Soll-Prozess Einfluss auf die Bewertung im Rahmen der Industrie 4.0-Readiness und der Umsetzungsplanung für die Einführung von Industrie 4.0 haben kann.

3.2 Ermittlung Industrie 4.0-Readiness

Mit diesem zweiten Schritt soll eine Entscheidungsgrundlage für die Umsetzungsplanung geschaffen werden. Hierfür werden die aus Schritt 1 ermittelten Prozesse mit Industrie 4.0-Standardanwendungsfällen verglichen und dabei überprüft, welche Voraussetzungen für die erfolgreiche Einführung bereits im Unternehmen erfüllt werden und welche organisatorischen oder technischen Anpassungen im Rahmen der Umsetzung noch vorgenommen werden müssen.

Zwei Komponenten sind für diesen Schritt von zentraler Bedeutung. Das sind zum einen die detaillierten Prozesskarten aus dem ersten Schritt und zum anderen ein prall gefüllter „Industrie 4.0-Werkzeugkasten“ bestehend aus einer Vielzahl an Industrie 4.0-Standardanwendungsfällen sowie Beispiele für deren Umsetzung mit Hilfe von Industrie 4.0-Konzepten und -Technologien.

Der Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 (vergl. Kagermann et al. 2013) gibt einen ersten Einblick, wie die Entwicklung von Industrie 4.0-Standardanwendungsfällen aussehen kann. Dies ist aber nur ein erster Schritt zur Befüllung des oben erwähnten Industrie 4.0-Werkzeugkastens, da für eine konkrete Umsetzungsplanung diese Standardanwendungsfälle und deren beispielhafte Umsetzung ein wesentlich höherer Detaillierungsgrad nötig ist und vor allem auch die Erfahrung aus bereits erfolgreich umgesetzten Projekten in diesen Werkzeugkasten gelegt werden muss.

Bei der Anreicherung des Werkzeugkastens mit Industrie 4.0-Standardanwendungsfällen handelt es sich also um einen iterativen Prozess, der in den zuständigen Arbeitskreisen der Industrie 4.0-Plattform bereits intensiv vorangetrieben wird. Auch das Fraunhofer IPA beteiligt sich im Rahmen seines Engagements in den Arbeitskreisen an der Entwicklung dieser Anwendungsfälle und baut auf Basis seiner Projekterfahrungen ein Repository mit Industrie 4.0-Anwendungsfällen und deren erfolgreichen Umsetzungsszenarien auf.

Beim Abgleich der aus Schritt 1 ermittelten Prozesse mit den Umsetzungsbeispielen aus dem Industrie 4.0-Werkzeugkasten lässt sich nun ermitteln, inwieweit die Umsetzungsvoraussetzungen aus den Beispielimplementierungen bereits im Unternehmen oder am Produktionsstandort erfüllt werden und welche Voraussetzungen noch geschaffen werden müssen.

Soll beispielsweise in einer verteilten Produktion eine lückenlose digitale Produktionsnachverfolgung mit möglichst aktuellen Produktionsdaten etabliert werden, müssen die hierfür relevanten Produktionsdaten über die verschiedenen Produktionsstandorte hinweg ausgetauscht werden können. Am geeignetsten erscheint für den echtzeitnahen Austausch von Produktionsdaten über mehrere Produktionsstandorte hinweg eine zentrale Internetplattform, wie sie beispielsweise durch Cloud-basierte Dienste bereitgestellt werden kann. Ist allerdings an einem der

beteiligten Produktionsstandorte in der Produktion keine Anbindung an das Internet gegeben, so muss diese Voraussetzung erst noch eingerichtet werden.

So ergibt sich aus einem systematischen Abgleich aller Soll-Prozesse mit den Industrie 4.0-Standardanwendungsfällen und deren beispielhaften Umsetzungsszenarien ein vollständiges Bild über die Industrie 4.0-Readiness und welche Prozesse mit welchen Anpassungen eingeführt werden können.

Das Ergebnis ist eine Entscheidungsgrundlage für die Umsetzungsplanung. Aus ihr geht unter anderem hervor, welche Prozesse bereits in welchem Grad Industrie 4.0-Konzepte unterstützen, wie aufwändig die Umsetzung des einzelnen Soll-Prozesses im Rahmen der Industrie 4.0-Fertigung in etwa ist und welche organisatorischen oder technologischen Anpassungen im Rahmen der Migration vorgenommen werden müssen.

Als Vorbereitung für die Umsetzungsplanung können im Rahmen von Workshops mit Führungskräften und Experten des Unternehmens diejenigen Anwendungsfälle herausgearbeitet und ausgewählt werden die für die Migration und Einführung das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen und gegebenenfalls mit den geringsten Umsetzungsrisiken behaftet sind. Mit dieser Auswahlliste (short list) kann nun das Management über die Migrationsplanung zur Einführung einer Industrie 4.0-Fertigung informiert werden, bevor im letzten Schritt mit Unterstützung der Unternehmensführung die Umsetzungsplanung vorgenommen wird.

3.3 Umsetzungsplanung

Am Anfang der Planung steht die Kommunikation des Vorhabens an alle unmittelbar beteiligten Mitarbeiter und auch des Betriebsrates, der in der Regel ein Mitspracherecht bei solchen Vorhaben besitzt. Ziel dieser frühzeitigen Kommunikation ist es, eine möglichst große Unterstützung durch die Mitarbeiter zu erhalten.

Auch den Kunden und Lieferanten, die von der Einführung einer Industrie 4.0-Fertigung betroffen sein werden, sollte in einem sehr frühen Stadium der Umsetzungsplanung mitgeteilt werden, welche Änderungen geplant sind und in welchem Maße diese Änderungen auch die Zusammenarbeit mit diesen Kunden und Lieferanten verändern wird. In der Regel muss ohnehin gemeinsam an Lösungen für einzelne Aspekte der Einführung gearbeitet werden. Das bietet die Chance, neue Ideen oder aber auch noch nicht berücksichtigte Rahmenbindungen, die sich erst durch die Zusammenarbeit mit den Kunden und Lieferanten auftun, rechtzeitig in die Umsetzungsplanung aufnehmen zu können.

Bei der Umsetzungsplanung sollte ein iteratives Vorgehen berücksichtigt werden, bei dem nicht alle Prozesse aus der Auswahlliste gleichzeitig und sofort an allen Produktionsstandorten vollständig umgesetzt werden sollen. Vielmehr sollten die Prozesse priorisiert und entsprechend ihrer Priorisierung der Reihe nach angegangen und auf Industrie 4.0-Konzepte migriert werden. Das iterative Vorgehen beinhaltet also mehrere Umsetzungsschleifen, die sowohl entlang der einzuführenden Prozesse, des Roll-Out im Unternehmen als auch im Detaillierungsgrad der Umsetzung mehrmals durchlaufen werden.

Diese Umsetzungsschleifen bieten die Möglichkeit, die Erfahrungen aus den verschiedenen Teilprojekten jeweils in die nächsten Planungs- und Umsetzungsintervalle im Rahmen der Gesamtmigration einfließen zu lassen. So können beispielsweise Probleme, die beim Roll-Out in einem Unternehmensbereich aufgetreten sind, beim Roll-Out in weiteren Unternehmensbereichen berücksichtigt werden.

Sobald eine Iterationsschleife abgeschlossen wurde, bietet es sich an, eine Kosten- und Nutzen-Evaluierung für die einzelnen migrierten Prozesse durchzuführen und die Ergebnisse mit den Erwartungen aus Phase 2 abzugleichen. Dadurch bietet sich die Gelegenheit, die bisherigen Umsetzungserfahrungen zusammen mit den Ergebnissen aus der Kosten- und Nutzen-Evaluierung in die weitere Umsetzungsplanung und das Gesamt-Roll-Out für das Unternehmen einfließen zu lassen.

Wird dieses iterative Vorgehen im Rahmen der Migrationsstrategie von Workshops begleitet, in denen beteiligte Projektverantwortliche, Projektmitarbeiter und Anwender die bisherigen Ergebnisse bewerten und in die Migrationsplanung weiterer Prozesse einarbeiten, die es (noch) nicht in die Auswahlliste aus Schritt 2 geschafft haben, kann ein kontinuierlicher Planungsprozess für die Gesamtumstellung auf eine Industrie 4.0-Fertigung erfolgen. Durch diese Verankerung der Prinzipien der 4. Industriellen Revolution im Produktionssystem des Unternehmens manifestiert sich somit ein Industrie 4.0-Produktionssystem.

4 Migrationsszenarien

Dieses Kapitel stellt mögliche Migrationsszenarien einer bestehenden Produktionsumgebung hin zu einer Industrie 4.0-Fertigung vor. Die Auswahl der Beispiele nimmt Bezug auf die typische Situation in KMUs und geht insbesondere auf die Industrie 4.0-Konzepte Vertikale und Horizontale Integration, Echtzeit-Vernetzung und Cloud-Services ein. Die geschilderten Szenarien, ein allgemein gehaltenes und ein spezifisches, sind beispielhaft zu sehen und sollen den Leser und Anwender dazu anregen, eigene Lösungsideen für seine individuellen Herausforderungen daraus abzuleiten und diese Ideen im Rahmen der Festlegung der Industrie 4.0-Readiness (Abschn. 3) einfließen zu lassen.

4.1 Migrationsszenario: Cloud und Apps statt Datenbank und Suite

Produktions-IT-Systeme, vor allem die entlang der Automatisierungspyramide integrierten Systeme, wie beispielsweise ERP oder MES (Abb. 2 in Abschn. 2.3), sind häufig umfangreiche Software-Suiten mit jeweils eigenen Datenbanken (vergl. Abschn. 2.2). Für eine horizontale Integration mit durchgängigem Daten- und Informationsaustausch über die Grenzen von Produktionsstandorten oder Unternehmen hinweg sind diese Systeme in der Regel nicht vorgesehen und die horizontale Integration findet, wenn überhaupt, vornehmlich über die ERP-Systeme statt.

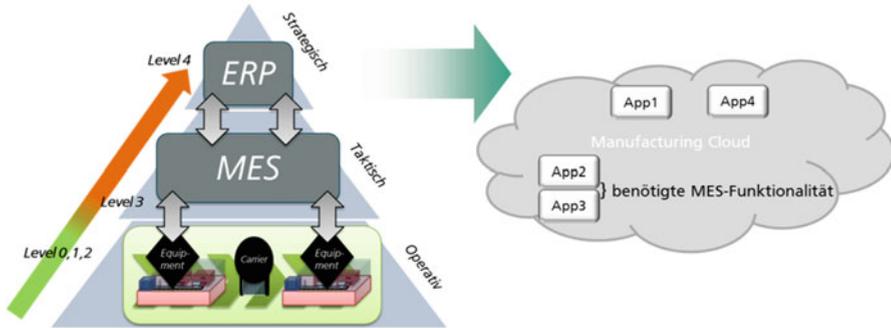


Abb. 4 Individuelle Apps anstatt Software-Suiten (hier am Beispiel MES)

Nicht zuletzt aufgrund der aufwändigen Einführung dieser Produktions-IT-Systeme und der ebenso aufwändigen Integration der Systeme untereinander, gehören diese Systeme bei KMUs nicht unbedingt zur Standardausstattung. Diejenigen Unternehmen, das sind vor allem große und hochautomatisierte Unternehmen, die diese Systeme dennoch erfolgreich im Einsatz haben, scheuen allerdings häufig davor zurück, Änderungen an den laufenden Produktions-IT-Systemen vorzunehmen, wenn neue Anforderungen an sie herangetragen werden.

Für all diese Anwenderunternehmen, die gerne durchgängige Daten- und Informationsflüsse in ihrer Fertigung realisieren würden, auch über Standort- und Unternehmensgrenzen hinweg, aber entweder vor der Investition in adäquate Produktions-IT zurückschrecken oder ihre bereits laufende Produktions-IT nicht anfassen möchten, könnte der in Abschn. 2.4 beschriebene Trend des Cloud-Computing von Interesse sein. In Abb. 4 wird die Entwicklung in der Produktions-IT aufgezeigt, in der lokale Produktions-IT-Funktionalität in der Cloud in Form von Apps bereitgestellt wird. Im Rahmen dieser Appisierung werden einzelne Funktionsblöcke der Produktions-IT-Systeme in der Cloud in Form von Apps zur Verfügung gestellt.

Anstatt ganze Software-Suiten zu kaufen, kann der Anwender über die Cloud individuelle Funktionseinheiten in Form von Apps erwerben, die auch unmittelbar nach dem Erwerb sofort für den Einsatz bereitstehen und nicht in langwierigen Einführungsprojekten in das Unternehmen integriert werden müssen. Die Abrechnung dieser Cloud-Services erfolgt häufig in Pay-per-use-Modellen, bei denen der Anwender nur tatsächlich benötigte Ressourcen bezahlen muss.

4.2 Migrationsszenario: Einführen einer Tracking-Lösung

Anhand dieses Beispiels wird aufgezeigt, wie in einem produzierenden Unternehmen eine Lösung zur lückenlosen digitalen und echtzeitnahen Nachverfolgung von Produktionsprozessen eingeführt werden kann. Die hier vorgestellte Lösung unterstützt gerade auch die verteilte Produktion über mehrere Produktionsstandorte oder Unternehmensgrenzen hinweg.

Diese Tracking-Lösung veranschaulicht die Industrie 4.0-Konzepte *Horizontale und Vertikale Integration* sowie die zentrale Bereitstellung von echtzeitnahen Produktionsdaten über Cloud-Services. Die vorgestellte Lösung wurde am Fraunhofer IPA zusammen mit der Firma Xetics, der Hewlett-Packard GmbH und weiteren Partnern im Rahmen des vom Land Baden-Württemberg geförderten Forschungsprojektes Virtual Fort Knox entwickelt und ist eine von mehreren Anwendungsbeispielen, die über den Marketplace auf der Virtual Fort Knox-Plattform bereitgestellt werden.

Damit über die Tracking-App die notwendigen Prozessdaten für die Produktionsnachverfolgung dokumentiert werden können, müssen die erhobenen Daten einzelnen beteiligten Objekten, wie beispielsweise Arbeitsplatz, Maschine oder Werkstück, zugeordnet werden können. Für diese Zuordnung ist eine eindeutige Identifikation der Objekte notwendig. Ist eine solche Identifikationslösung im Unternehmen noch nicht implementiert, kann Sie für dieses Szenario beispielsweise über eine kostengünstige Near Field Communication (NFC)-Lösung nachgerüstet werden. Die Tracking-App setzt für die Benutzerinteraktion auf Android auf. Android ist ein Betriebssystem und eine Software-Plattform für mobile Endgeräte, die von Google entwickelt wird und in diesem Segment aufgrund der sehr hohen Verbreitung als Marktführer gesehen wird. Das Aufsetzen auf NFC und Android hat bei der Einführung einer solchen Identifikationslösung vor allem den finanziellen Vorteil, dass neben den sehr preiswerten NFC-Tags auch preisgünstige NFC-Lesegeräte auf Android-Basis, wie beispielsweise Smartphones oder Tablets eingesetzt werden können. Es sind aber auch andere Identifikationslösungen, beispielsweise über RFID oder Barcodes, für den Einsatz zusammen mit der Tracking-App denkbar.

Sind alle relevanten Objekte für die Produktionsnachverfolgung mit einem für den Einsatz geeigneten NFC-Tag versehen worden, müssen sie im System hinterlegt werden. Hierfür wird die App im Regelfall zunächst vom Marketplace auf der Plattform Virtual Fort Knox heruntergeladen und auf den eingesetzten mobilen Endgeräten, die als NFC-Reader agieren werden, installiert und registriert. Sobald die Installation durchgeführt wurde, steht die Tracking-Lösung für den Einsatz bereit.

In einem ersten Schritt werden für die Produktionsnachverfolgung alle zu dokumentierenden Arbeitsstationen über die App angelegt und im System hinterlegt. Für die Festlegung dieser Produktionsprozesse können beliebig viele Arbeitsstationen, wie beispielsweise Arbeitsplätze, Maschinen oder manuelle Tätigkeiten aus beliebig vielen Standorten hinterlegt werden (Abb. 5). Die einzelnen Arbeitsstationen können detailliert beschrieben und die dort angebrachten NFC-Tags zur eindeutigen Identifikation eingelesen werden. Damit sind die Arbeitsstationen nun alle im System hinterlegt und das vorhandene Equipment oder die durchzuführenden Prozesse über die angebrachten NFC-Tags registriert. Die Stammdaten sind hinterlegt und können jederzeit geändert oder zum Beispiel um das „Objekt“ Werker erweitert werden, wenn auch festgehalten werden soll, welcher Mitarbeiter an der Arbeitsstation die dokumentierte Tätigkeit durchgeführt hat.

Nun ist alles vorbereitet und die Werkstücke oder Werkstückträger können ebenfalls mit geeigneten NFC-Tags versehen werden, bevor sie in die Produktion gelangen. In der Produktion eingetroffen, werden die Werkstücke oder Werkstück-

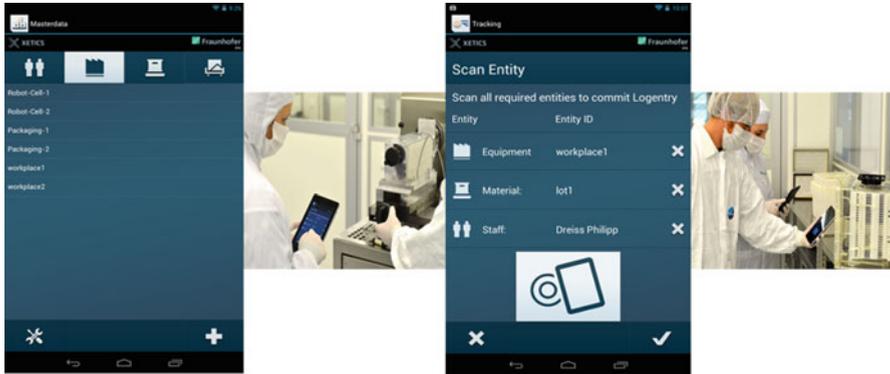


Abb. 5 Tracking-App: Prozess- und Equipment-Registrierung; Tracking

träger über NFC-Reader eingelesen und damit im System registriert. Von nun an können die Werkstücke oder Werkstückträger, die im weiteren Verlauf des Beitrages nun Produkt genannt werden, im System nachverfolgt werden.

Für die lückenlose digitale Nachverfolgung des Produktionsverlaufes werden die einzelnen Produkte an jeder Arbeitsstation über das NFC-Tag mit Hilfe eines NFC-Readers (beispielsweise Smartphone oder Tablet) eingelesen. So kann über das System festgehalten werden, wann welches Produkt an welcher Arbeitsstation eingetroffen ist und wann es die Arbeitsstationen wieder verlassen hat. Zusätzlich können weitere Informationen, wie beispielsweise Prozessparameter, Prüfprotokolle oder durchführender Mitarbeiter an diese Historie angehängt werden.

Da diese Daten über die App unmittelbar an die zentrale Datenhaltung auf der Cloud-Plattform übermittelt werden, stehen diese Information in nahezu Echtzeit an allen beteiligten Produktionsstandorten zur Verfügung. Eine lückenlose Nachverfolgung des Produktionsverlaufes für ein individuelles Produkt steht somit zur Verfügung. Ganz nebenbei könnte hierdurch auch Transparenz über den aktuellen Produktionsfortschritt für den Kunden oder Partner im Produktionsnetzwerk geschaffen werden, beispielsweise durch die Bereitstellung von Informationen darüber, wie viele Produkte aus der Bestellung bereits produziert wurden und wie groß der derzeitige Durchsatz ist.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Einführung von Industrie 4.0 bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten, mit denen die Effizienz produzierender Unternehmen nachhaltig gesteigert werden kann. Die Einführung von Industrie 4.0-Konzepten ist allerdings nicht trivial. Dies folgt nicht zuletzt aus der Erkenntnis, dass im Rahmen von Industrie 4.0 verschiedene Technologien aus den Bereichen IuK und Maschinenbau miteinander kombiniert werden, um verschiedene Prozesse auch über Unternehmensgrenzen hinweg zu unterstützen.

Je besser diese Verschmelzung von Technologien aus IuK und Maschinenbau gelingen wird, umso größer wird der Nutzen einer Industrie 4.0-Einführung in den produzierenden Unternehmen sein. Innovationstreiber sind hierbei die Industrie 4.0-Basistechnologien. Vor allem die Konzepte Internet der Dinge und Internet der Dienste, bereitgestellt über leistungsfähige und sichere Cloud-Plattformen, werden die Integration und echtzeitnahe Vernetzung von IP-fähigen eingebetteten Systemen ermöglichen und aus den heutigen Maschinen und Komponenten in der Produktion smarte Objekte entstehen lassen. Diese cyber-physischen Systeme werden die Produktion der Zukunft sich selbstorganisierend und über Unternehmensgrenzen hinweg nachhaltig verändern.

Der Einführungsprozess von Industrie 4.0 sollte jedoch, trotz aller Reize der Industrie 4.0-Basistechnologien, direkt an den Geschäftsprozessen der Unternehmen ausgerichtet sein. Im Zentrum der Überlegungen steht die Frage, wie die relevanten Prozesse im Unternehmen mit Hilfe der Industrie 4.0-Basistechnologien und -Konzepte optimiert und effizienter gestaltet werden können.

Dabei sollte der gesamte Migrationsprozess hin zur Industrie 4.0-Fertigung systematisch geplant und durchgeführt werden. Ein solches Vorgehensmodell für die systematische Einführung von Industrie 4.0 wurde am Fraunhofer IPA entwickelt und in diesem Beitrag vorgestellt.

Dieser Migrations- und Einführungsprozess, der sich auch über mehrere Monate oder Jahre hinweg iterativ umsetzen lässt, geht von den Anforderungen der Anwender, also der produzierenden Unternehmen aus. Es ist ein markt- und nutzegetriebener Einführungsprozess, bei dem Technologien nicht blind getreu dem Motto „Mit dem Hammer in der Hand ist jedes Problem ein Nagel“ genutzt werden. Vielmehr orientiert sich dieses Vorgehen an konkreten Anwendungsszenarien, die alle einen evaluierten Nutzen haben. Nur so schafft man es, auch gestandene Produzenten davon zu überzeugen, Industrie 4.0 ernst zu nehmen und in die eigene Wertschöpfung zu integrieren.

Literatur

- Kagermann H, Wahlster W, Helbig J (Hrsg) (2013) Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin: Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft. <http://www.acatech.de/de/publikationen/stellungnahmen/kooperationen/detail/artikel/umsetzungsempfehlungen-fuer-das-zukunftsprojekt-industrie-40-abschlussbericht-des-arbeitskreises-i.html>. Zugegriffen am 03.01.2016
- Warnecke HJ (1992) Die Fraktale Fabrik. Springer, Berlin/Heidelberg. doi:10.1007/978-3-662-06647-8. Zugegriffen am 03.01.2016

Teil VII

Digitalisierung der Wertschöpfung

Geschäftsmodell-Innovationen

Profitabler wirtschaften mit hohem Vernetzungsgrad

Anja Schatz und Thomas Bauernhansl

Zusammenfassung

Unternehmen mit innovativen Geschäftsmodellen sind mittelfristig im Schnitt sechs Prozent profitabler, als diejenigen, die sich auf Produkt- und Prozessinnovationen beschränken. Eine stärkere Geschäftsmodellorientierung bietet im Rahmen von Industrie 4.0 für Unternehmen enorme Potenziale. Das hier skizzierte Vorgehen zur Entwicklung branchenspezifischer Geschäftsmodellzenarien kann unmittelbar für die systematische Entwicklung von Geschäftsmodell-Innovationen übernommen werden. Über Plattformen und Ökosysteme erschließt sich das volle Potenzial der digitalisierten und vernetzten Wertschöpfung.

1 Einleitung

Produzierende Unternehmen müssen aufgrund der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung der Wertschöpfung nicht nur die eigenen Produkte technologisch weiterentwickeln und die Produktion immer effizienter gestalten, sie müssen auch die eigene Geschäftstätigkeit und Positionierung des Unternehmens im Gesamtkontext der Branche und der relevanten Marktsegmente hinterfragen.

Der globale Wettbewerb ist zunehmend geprägt durch mächtige Vermarktungs- und Produktplattformen, die wesentliche Markt- und Kundenanteile über Netzwerkeffekte an sich binden. Je mehr Teilnehmer sich auf einer solchen Plattform betätigen, sich ihr anschließen und sich an sie binden, desto attraktiver wird sie: Immer mehr Kunden und Anbieter werden auf einer Plattform aktiv, weil darüber ein besonders breites Angebot bzw. große Kundengruppen zugänglich werden. Sie investieren teilweise auch in entsprechende Hardware sowie Software und zahlen

A. Schatz (✉) • T. Bauernhansl

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland

E-Mail: anja.schatz@ipa.fraunhofer.de; thomas.bauernhansl@ipa.fraunhofer.de

Gebühren oder Abonnements, um die Angebote nutzen zu können. Ein Wechsel zu einer anderen Plattform wird so immer teurer, aufwändiger und damit unwahrscheinlicher. Es kommt zu starken Konzentrationseffekten. Klassische Beispiele sind hier Amazon, Apple oder Google.

Auch für produzierende Unternehmen sind diese Effekte relevant und können nutzbar gemacht werden, indem die Gestaltungsperspektive der eigenen Geschäftstätigkeit erweitert wird. Durch das Anbieten komplementärer Produkte und Dienstleistungen von Partnern kann z. B. das eigene Angebot attraktiver gemacht und es können neue Kunden generiert und gebunden werden. Aktuelle Geschäftsmodelle der produzierenden Industrie fokussieren in der Regel überwiegend das eigene Unternehmen und die Kunden, die über die eigenen Produkte erreicht werden sollen. Geschäftsmodelle der digitalisierten und vernetzten Wertschöpfung eröffnen einen wesentlich weiteren Gestaltungshorizont als die bisherigen.

Gestaltet werden hier sog. „Ökosysteme“, die eigene, idealerweise als Plattform ausgelegte Produkte und Dienstleistungen, komplementäre Produkte sowie Dienstleistungen anderer Anbieter umfassen und auch den Kunden selbst als Wertschöpfungspartner mit einbeziehen. Der Digitalisierungsanteil und Vernetzungsgrad in diesen Geschäftsmodellen ist in der Regel sehr hoch. Das Internet spielt als Infrastruktur eine zentrale Rolle bei der Vermarktung des jeweiligen Gesamtangebots an Produkten und (Service-)Leistungen.

Daher sind auch für produzierende Unternehmen vernetzungs- und digitalisierungsorientierte Geschäftsmodell-Innovationen im Wettbewerb der Plattformen und Ökosysteme ein wichtiges strategisches Entwicklungsfeld.

Eine gemeinsame Studie „Geschäftsmodell-Innovationen“ des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und Dr. Wieselhuber & Partner (Bauernhansl und Wieselhuber 2015) hat gezeigt, dass sich dem Maschinen- und Anlagenbau durch Industrie-4.0-Technologien neue Geschäftsmodellpotenziale eröffnen und diese in der Branche in Teilen bereits erkannt und adressiert werden. Die Fähigkeit, in komplexen, in Teilen digitalen Geschäftsmodellen zu kooperieren, wird sich zunehmend zu einem zentralen Erfolgsfaktor im Wettbewerbsumfeld der vernetzten Wertschöpfung entwickeln. Smarte Produkte und Dienstleistungen sind dabei wesentlicher Kern des Nutzenversprechens beziehungsweise des Nutzenmehrerts, der zunehmend kooperativ erstellt wird. Laut Michael E. Porter, Professor an der Harvard Business School, sind „die erweiterten Funktionen intelligenter, vernetzter Produkte und die von ihnen erzeugten Daten (...) das eigentlich Revolutionäre, das eine neue Ära des Wettbewerbs einläutet“ (Porter und Heppelmann 2014). Es liegt also nahe, sich mit dem Geschäftsmodell des eigenen Unternehmens und den Potenzialen oder Bedrohungslagen, die sich durch Digitalisierung und Vernetzung ergeben können, zu beschäftigen. Die konsequente Einbeziehung des Themas Industrie 4.0 auf strategischer Ebene ist notwendig, um Unternehmen auf die Digitalisierung auszurichten und eine schnelle Umsetzung zu ermöglichen.

Produzierende Unternehmen müssen sich heute zwingend mit der Frage beschäftigen, wie solche neuen Geschäftsmodelle basierend auf smarten Produkten in enger Kooperation konkretisiert und umgesetzt werden können.

2 Technologie- und Nutzenfelder der Industrie 4.0

Zentraler Anknüpfungspunkt für die Integration und Konkretisierung der Vision Industrie 4.0 in einen Geschäftsmodellkontext sind Basistechnologien, welche die Befähigung zur intelligenten Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen sicherstellen (Bitkom 2014) (siehe Abb. 1 links).

Diese Technologien sind eine wichtige Grundlage für die Ableitung von Nutzenfeldern, die produzierende Unternehmen als Leitanbieter bei ihren Kunden und Geschäftspartnern adressieren können (Bauernhansl und Lickefett 2014). Die Nutzenfelder aus Abb. 1 rechts zeichnen sich durch folgende Vorteile aus:

- Digitale Individualisierung: z. B. zusätzlicher Nutzen über Produktfeatures und Dienstleistungen, die digital erzeugt und angeboten werden können
- Flexibilisierung: z. B. schnellere Reaktionsmöglichkeiten auf Bedarfsschwankungen durch leichter skalierbare Produktionskapazitäten
- Bedarfsorientierung/„X-as a Service“: z. B. können Produkte und Dienstleistungen nach Umfang der Nutzung angeboten und fakturiert werden
- Nachhaltigkeit: z. B. Möglichkeit der kosten- und lastoptimierten Produktionsprogrammerstellung insbesondere bei energieintensiven Prozessen
- Durchgängige Prozessorientierung: z. B. bessere Anschlussfähigkeit an die relevanten vor- oder nachgelagerten Geschäftsprozesse des Kunden
- Automatisiertes Wissen & Lernen: z. B. Nutzung von Daten für selbstlernende kontinuierliche Verbesserungen in der Produktnutzung

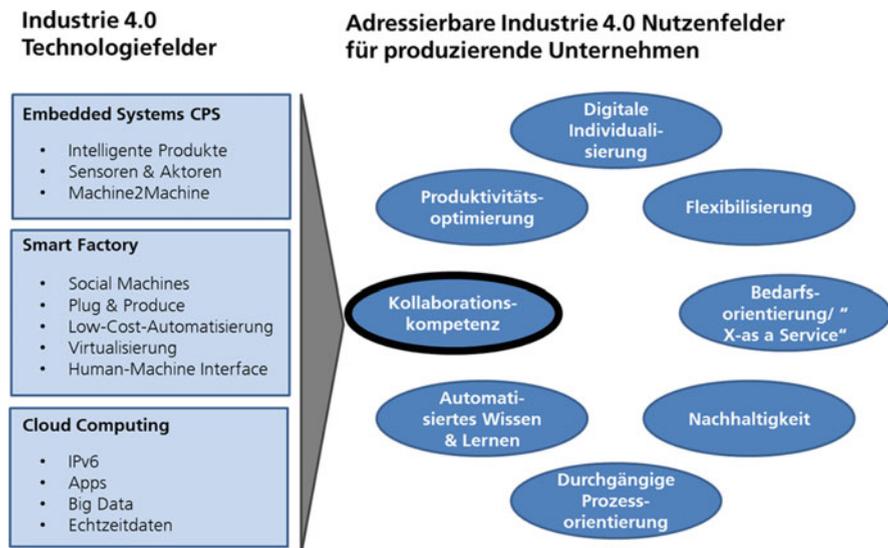


Abb. 1 Technologiefelder (in Anlehnung an Bitkom) und daraus abgeleitete marktorientierte Industrie-4.0-Nutzenfelder

- Kollaborationskompetenz: z. B. sicherere Überwindung von Schnittstellen zwischen Wertschöpfungspartnern
- Produktivitätsoptimierung: z. B. wirtschaftliches Fertigen und Montieren von kleinsten Losen durch Echtzeit-Umrüsten

Über diese Nutzenfelder ist die Konnektivität zu einem zentralen Bestandteil von Geschäftsmodellen, nämlich dem Wertangebot beziehungsweise Nutzenversprechen, herstellbar und der Einstieg in die Entwicklung von Geschäftsmodell-szenarien gegeben.

3 Geschäftsmodellorientierung in produzierenden Unternehmen

Produzierende Unternehmen sind heute zunehmend interessiert an innovativen Geschäftsmodellen. Doch Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Geschäftsmodelle sind aktuell noch sehr heterogen, je nach Anwendungshintergrund. Geschäftsmodellkonzepte im Bereich Software/IT, Dienstleistungen wie auch Handel sind häufig theoretisch fundiert. Ein wissenschaftlicher Konsens bezüglich des Geschäftsmodellkonzepts besteht jedoch nicht (Burkhart et al. 2011). Der Begriff des Geschäftsmodells ist eng mit dem Trend zur Digitalisierung wirtschaftlicher Austauschbeziehungen verbunden. Seit Mitte der 90er-Jahre wurde es mit der Abkehr von traditionellen, analogen Geschäftsbeziehungen hin zum sog. E-Commerce zunächst zum Gegenstand zahlreicher Beiträge in praxisorientierten Zeitschriften. Mit dem Platzen der Dotcom-Blase fand das Konzept internetbasierter Geschäftsmodelle auch zunehmendes Interesse in der Forschungscommunity (Burkhart et al. 2011).

Vor dem Hintergrund der Digitalisierung und Vernetzung der industriellen Wertschöpfung gewinnt das Thema nun für produzierende Unternehmen an Dringlichkeit. Im Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 von 2013 findet sich der Begriff Geschäftsmodell bereits 39 Mal wieder (Promotorengruppe 2013). Dabei werden vor allem die Potenziale neuer Geschäftsmodelle durch die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung ganzer Produktionssysteme betont. Insbesondere der Aspekt der datengetriebenen Services, die rund um den Betrieb von Produktionssystemen angeboten werden können, wird in den Vordergrund gestellt.

Der Schweizer Alexander Osterwalder, ein wichtiger Vertreter der Geschäftsmodellforschung, definiert den Gestaltungsrahmen seiner Geschäftsmodell-Ontologie über folgende Fragen (Osterwalder 2004):

- Produkt:
Welche Geschäfte betreibt das Unternehmen, welche Produkte, welche Nutzen werden am Markt angeboten?

- **Kundenschnittstelle:**
Was sind die Zielkunden des Unternehmens, wie gelangen die Produkte/Dienstleistungen zum Kunden, wie werden starke Kundenbeziehungen aufgebaut und gepflegt?
- **Infrastruktur:**
Wie erfolgt die eigentliche Werterstellung, welche Ressourcen und Partner werden bei der Werterstellung mit einbezogen?
- **Finanzperspektive:**
Welche Erlöse werden durch die Leistungserstellung und das Leistungsangebot erzielt, welche Kosten entstehen?

Die Ontologie von Osterwalder ist eines der meistgenutzten Modelle im Bereich der Geschäftsmodellforschung. Sie wird häufig als Grundlage herangezogen und je nach Anforderungen des Einsatzbereichs erweitert (Weiner et al. 2010).

Für die Entwicklung der hier beschriebenen branchenspezifischen Geschäftsmodellenszenarien wurde in (Bauernhansl und Wieselhuber 2015) dieses Modell in einem Geschäftsmodelltableau entsprechend adaptiert (Abb. 2).

Ein service-dominiertes Geschäftsmodell (GM) ist für das Internet der Dinge folgendermaßen charakterisiert (Turber und Smiela 2014):

1. Ein GM beschreibt alle in einem Ökosystem kooperierenden Akteure.
2. Ein GM beschreibt den Kunden als wertschöpfenden Akteur (Koproduzent).
3. Ein GM bildet sowohl monetäre als auch nicht-monetäre Nutzenaspekte für alle Akteure ab.
4. Ein GM ist netzwerkzentriert gestaltet, weniger unternehmenszentriert.

Kernfragen für die Weiterentwicklung des eigenen Geschäftsmodells dieses Prozesses können nach (Bauernhansl und Wieselhuber) z. B. sein:

- Welche Rolle soll in Zukunft eingenommen werden?
- Wie lässt sich das eigene Geschäftsmodell digitalisieren?
- Welches Potenzial bieten Daten und Wissen?
- Welches Potenzial bietet die Vernetzung im Internet der Dinge für das eigene Geschäft und für den Kunden?
- Welche Dienstleistungen können rund um die eigenen Produkte platziert werden?
- Welche Best Practices anderer Branchen können relevante Anstöße geben?
- Welche Akquisitionen und Kooperationen (ggf. mit Wettbewerbern) sind notwendig?
- Wie können Veränderungen erfolgreich umgesetzt werden?

Die Beschäftigung mit derlei Fragestellungen wird bei vielen produzierenden Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau zu radikalen Veränderungen führen.

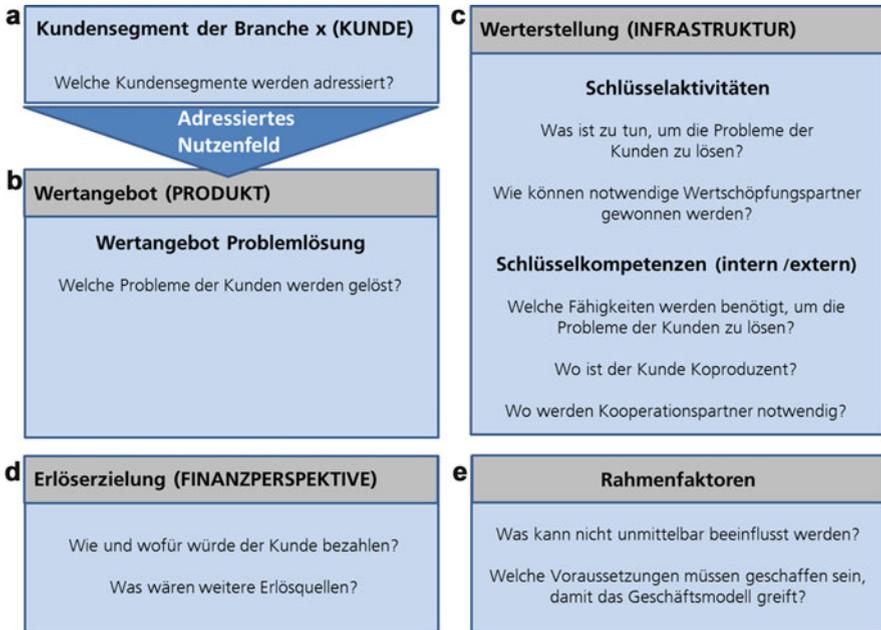


Abb. 2 Tableau zur Entwicklung von Industrie-4.0-Geschäftsmodellenszenarien (in Anlehnung an Osterwalder)

Die integrierte Berücksichtigung von Technologien, Potenzialen und vor allem der neuen Geschäftslogik der Industrie 4.0 ist dabei eine zusätzliche Herausforderung, denn allzu leicht ist in der Diskussion um Geschäftsmodelle ein Zurückfallen in die rein technologische Perspektive der Industrie 4.0 möglich.

3.1 Neue Erfolgslogik für Geschäftsmodelle

Geschäftsmodelle der Industrie 4.0 sind durch eine konsequente Serviceorientierung gekennzeichnet. Dies beginnt auf der Ebene der Bereitstellung eines echten Mehrwerts beziehungsweise eines entsprechenden Wertversprechens („Value as a Service“). Dieses Wertversprechen wird bedarfsorientiert und wirtschaftlich über eine Kombination aus modularer in vielen Fällen auch offener Hardware und Software bereitgestellt („Modules as a Service“). Zur Bereitstellung werden sowohl im Bereich der Hardware als auch bei Software und Services Plattformen bestimmend sein („Platform as a Service“), die öffentliche oder private Infrastrukturen wirtschaftlich nutzen, um das Leistungsangebot zum Kunden zu bringen („Infrastructure as a Service“) (Abb. 3).

Daraus ableitbare Erfolgsfaktoren in den Geschäftsmodellen sind vor allem die Fähigkeit, wertorientierte Angebote (end-)kundenfokussiert zu entwickeln und sicher und einfach zur Verfügung zu stellen, sowohl was den Zugang und die

	Aufgaben	Beispiele	
Everything as a Service (XaaS)	Value as a Service (VaaS)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Personalisierte Dienste zur Bedürfniserfüllung (z.B. Mobilität, Gesundheit) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Logistic as a Service (Amazon) ■ Mobility as a Service (Daimler) ■ Assembly as a Service (Foxconn)
	Modules as a Service (MaaS)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Offene Hard- und Softwaremodule zur Komposition personalisierter Dienste 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ara modules (Google) ■ Apps (Runtastic) ■ Autos (Local Motors)
	Plattform as a Service (PaaS)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Life Cycle Umgebung & Kommunikation zum wirtschaftlichen Bereitstellen der Soft- und Hardwaremodule 	<ul style="list-style-type: none"> ■ App Store (Apple) ■ Produktions-Plattform (emachineshop) ■ Virtual Fort Knox (FHG) ■ Home Applications (First built)
	Infrastructure as a Service (IaaS)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Infrastrukturlandschaft als Basis für Plattformen und zur Bereitstellung von Modulen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cloud Infrastructure (IBM) ■ Mobile Communication (Telekom) ■ Netze (ENBW)

Abb. 3 XaaS-Konzept – Everything as a Service. Holistische Serviceorientierung führt zu neuen Wertschöpfungsstrukturen und Ökosystemen)

Nutzung über den kompletten Lebenszyklus hinweg als auch was die Bezahlung angeht. Dies muss für alle Elemente des Leistungsangebots (Hardware, Software und Service) durchgängig auf hohem Qualitätsniveau erfolgen. Nur mit einem hohen Maß an Kooperationsfähigkeit in Richtung Kunden, Lieferanten und Partnern, das weit über eine reine Käufer-Verkäufer-Beziehung hinausgeht, ist dies möglich. Im Extremfall ist der Kunde beziehungsweise der Konsument in den Produkterstellungsprozess eingebunden und empfindet diese Möglichkeit der aktiven Teilnahme z. B. an der Produktgestaltung als echten Mehrwert (z. B. eMachineShop, FirstBuild). Das Prinzip der Modularisierung und der Funktionskapselung in Hardware, Software und Service muss durchgängig beherrscht werden. Für Maschinen- und Anlagenbauer kann das ein konsequentes Überarbeiten der eigenen Angebotsarchitektur in Hardware, Software und Service bedeuten. Dazu gehört es auch, die eigene Organisation und die Geschäftsprozesse entsprechend auszurichten und zu befähigen, das eigene Industrie-4.0-Geschäftsmodell wirtschaftlich zu betreiben., Um die Möglichkeiten der Individualisierung in Richtung Plattform- und Serviceorientierung tatsächlich für das eigene Unternehmen konsequent umsetzen zu können, müssen Kompetenzen und Fähigkeiten meist erst aufgebaut werden.

Wirtschaftliche Fertigung in Losgröße 1, beispielsweise durch Nutzung generativer Fertigungstechnologien oder einfache Software Development Kits, die der Kunde zur Entwicklung eigener Software-Services nutzen kann, sind naheliegende Ansatzpunkte. Hier hat der Maschinenbau beste Voraussetzungen, seinen technologischen Wissensvorsprung auf Seiten der maschinennahen Hard- und Software gewinnbringend einzusetzen.

Das Angebot dieser modularisierten Leistungen erfolgt über Plattformen. Diese selbst zu betreiben oder Partner einer offenen Plattform zu werden, erfordert ein

hohes Flexibilitätsniveau: Die komplette Bandbreite an Zielkunden mit ihren Anforderungen ist zu adressieren und dabei gleichzeitig Zuverlässigkeit und Sicherheit der individuellen Produktmodule und Leistungen zu gewährleisten.

Die Infrastruktur, über die das Wertangebot zum Kunden gelangt, ist für die wertschöpfungsnahen Industrie-4.0-Leistungen häufig eine Kombination aus Internet und Mobilfunknetz sowie weiteren vom jeweiligen Anwendungsfeld abhängigen Infrastrukturen (z. B. Stromnetz, Straße, Schiene, Flotte). Diese Infrastrukturen sind teilweise kostenlos nutzbar, teilweise müssen nutzungsbezogene Entgelte gezahlt werden.

Die Infrastrukturinvestitionen werden von demjenigen getätigt, der die größten Skaleneffekte erzielen kann und über die notwendige Finanzkraft verfügt. Er bietet die Infrastruktur am Markt an, wobei sich der Preis über den klassischen Marktmechanismus herausbildet. Dies führt bei zu zaghaften Investitionen zu einem Wettbewerb um Kapazitäten und in letzter Konsequenz zu einer Aufhebung der Netzneutralität.

Ein Beispiel aus dem Mobilitätsbereich zeigt jedoch, welche nutzenorientierten Regulierungsmöglichkeiten durch intelligente Preisgestaltung bei der Nutzung von Infrastruktur möglich werden: Das Verkehrssteuerungsprojekt „Fast Lane“ in Tel Aviv bietet je nach Verkehrsdichte ein bis zwei schnelle Fahrspuren zu variablen Preisen an. Sind zu viele Fahrzeuge auf der Fast Lane wird der Preis der Nutzung erhöht und somit die Zahl der Fahrer, die bereit sind, diesen Preis zu bezahlen, solange reduziert, bis die garantierte Durchschnittsgeschwindigkeit sich wieder einstellt (Steinberg 2014).

3.2 Die Macht der Daten nutzen

Der Aspekt der Wertschaffung durch Daten und Wissen wird in naher Zukunft in den Geschäftsmodellen des Maschinen- und Anlagenbaus eine zentrale Rolle spielen. Die Herausforderung ist es, aus den gesammelten Daten verwertbare Informationen und Wissen automatisiert zu generieren sowie die riesige Masse an Daten wirtschaftlich zu verwalten und zu nutzen. Grundsätzlich gibt es zwei Strategien, große Datenmengen für die Generierung von Mehrwert zu nutzen.

Die erste Möglichkeit ist das Erkennen von Mustern und Abhängigkeiten in großen Datenmengen. Ist dies in einem bestimmten Anwendungskontext möglich – z. B. für eine Maschine-/Material-/Werkzeugkombination –, können besonders effiziente Kombinationen gezielt gesucht und immer wieder bereits in der Planung angestrebt werden. Hierfür sind entsprechend intelligente Algorithmen notwendig.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, zunächst ein digitales Modell der Realität, z. B. einer Produktionsszene, die aus Anlage, Auftrag, Werkzeug, Werker, Logistikequipment besteht, zu erzeugen und das generierte Modell im zweiten Schritt kontinuierlich mit (Echtzeit-) Informationen anzureichern. Diese Informationen helfen, den Wertschöpfungsprozess kontinuierlich zu verbessern und vorausschauend an unterschiedliche Umfeldbedingungen anzupassen. Das digitale Modell

wird durch kontinuierliche Feedbacks aus der Realität verbessert, was wiederum zu unmittelbaren Verbesserungen in der Wertschöpfung führt. Beide datenbasierten Lösungsansätze können im Sinne der durchgängigen Serviceorientierung als Analytics as a Service angeboten werden.

Entscheidend für die Akzeptanz solcher wertorientierter Leistungsangebote, die über innovative Geschäftsmodelle angeboten werden, ist die möglichst genaue Einschätzung der jeweiligen „Nutzenfunktion“ der Zielkunden. Nur so kann die disruptive Kraft von Geschäftsmodellen im Rahmen von Industrie 4.0 auch im Markt ihre Wirkung entfalten. Wesentliche Nutzenaspekte der Industrie 4.0 für die produzierende Industrie sind:

- eine hohe Produktionseffizienz (Qualität, Leistung, Verfügbarkeit),
- eine hohe Produktionseffektivität (Flexibilisierung, Wandlungsfähigkeit/Rekonfigurierbarkeit),
- ein möglichst geringer Investitionsbedarf für Produktionsmittel (Lebenszyklusorientierung, XaaS).

Im Maschinen- und Anlagenbau zum Beispiel müssen daher diese Nutzenaspekte über alle Service-Ebenen (VaaS, MaaS, PaaS und IaaS) hinweg optimal in einem Geschäftsmodell adressiert und mit den Bordmitteln der Industrie 4.0 (Sensoren, Aktoren, intelligente Vernetzung im weitesten Sinne) und Internettechnologien konkret operationalisiert werden. Auf diese Weise kann das jeweils eigene Geschäftsmodell umfassend in einem erweiterten Ökosystem Industrie-4.0-fähig gemacht werden. Dabei muss der Grad der Geschäftsmodellerneuerung im Einklang mit einem ganzheitlichen strategischen Konzept stehen und kann sich auf einer Bandbreite zwischen „schrittweiser digitaler Veredelung“ und einer „radikalen disruptiven Erneuerung“ bewegen.

Zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle ist es vor allem notwendig, über den Tellerrand zu blicken und bewusst aus der in den Unternehmen in der Regel tief verwurzelten Branchenlogik auszubrechen. Hierzu sind die Arbeit in interdisziplinären Teams und die Anwendung neuer Methoden notwendig. Dies können z. B. auch abgewandelte Methoden aus der Technologie- und Produktentwicklung wie etwa Design Thinking, TRIZ, Roadmapping und Szenariotechnik sein.

Im Maschinen und Anlagenbau bringen derartige Workshops häufig Potenziale zutage, die entscheidend über das klassische Geschäft des Maschinen- und Anlagenverkaufs sowie die ergänzenden Dienstleistungen wie Ersatzteilgeschäft und Wartung hinausgehen. Die Umsetzung solcher Geschäftsmodell-Innovationen ist jedoch die schwierigste Herausforderung, da sich das Top Management hierzu erfahrungsgemäß gegen zahlreiche interne und externe Widerstände durchsetzen muss.

Es ist daher entscheidend, die neuen Ansätze nicht nur zu Ende zu denken, sondern auch praktikable Umsetzungskonzepte zu entwickeln und mit einem eigens benannten „Change-Team“ zu realisieren. Möglicherweise ist ein solcher Vorstoß in den verfügbaren Unternehmensstrukturen gar nicht oder nur sehr schwer durchführbar. Häufig werden deshalb über einen begrenzten Zeitraum hinweg flexible

Einheiten gebildet, die mit hohen Freiheitsgraden und zunächst außerhalb der Funktionsorganisation solche Initiativen vorantreiben.

4 Entwicklung von Geschäftsmodellszenarien

Der Einstieg in den Prozess der Szenario-Entwicklung im Rahmen der bereits oben angeführten Studie Bauernhansl und Wieselhuber (2015) erfolgte durch den Branchenfokus und gegebenenfalls die Festlegung auf ein spezifisches Kundensegment (Abb. 2, a). Beim Beispiel Maschinen- und Anlagenbau ist dies das Kundensegment der Maschinenbetreiber. Das adressierte Nutzenfeld (siehe Abschn. 2) wird durch das eigentliche Wertangebot, beziehungsweise das spezifische Nutzenversprechen (monetärer und nicht-monetärer Nutzen, direkter und indirekter Nutzen) sowie das Produkt beziehungsweise die Dienstleistung konkretisiert (Abb. 2, b). Die Priorisierung und Fokussierung auf das Nutzenfeld Kollaborationskompetenz ist in Abb. 1 durch schwarze Umrandung hervorgehoben. Als Produkt-/Dienstleistungskombination sollte im erarbeiteten Szenario eine Kollaborationsplattform geschaffen werden, über die unter anderem Produktionsoptimierungsservices beim Kunden durch den Maschinenbauer angeboten werden können. Die Teilnehmer des Maschinenbaus sahen die Plattform eher als Nischenangebot für einen spezifischen Kundenbereich, die IT-Teilnehmer skizzierten eher ein flächendeckendes Angebot für die komplette Bandbreite der Ausrüsterindustrie und der Maschinenbetreiber, auf der z. B. auch freie Produktionskapazitäten für Auftragsanfragen zur Verfügung gestellt werden könnten.

Im Gestaltungsfeld Werterstellung steht es im Fokus, Schlüsselaktivitäten zu identifizieren, die für die umfassende Werterstellung notwendig sind, sowie die dazu notwendigen Schlüsselkompetenzen zuzuordnen. Diese Schlüsselkompetenzen können im Unternehmen vorhanden sein, entwickelt werden oder durch den Aufbau eines Kooperationsnetzwerks im Verbund mit Partnern sichergestellt werden. Hier kann auch der Kunde als Co-Produzent integriert sein (Abb. 2, c).

Für das Erzielen von Erlösen ist es hilfreich, zunächst sämtliche Möglichkeiten zu skizzieren, über die Erträge für alle beteiligten Partner durch das Leistungsangebot generiert werden könnten. Die Möglichkeiten gehen weit über den Verkauf von Produkten hinaus. Die technologischen Möglichkeiten der Industrie 4.0 sowie die Digitalisierung von Produktfeatures ermöglichen neue Nutzungs- und Vergütungsmechanismen, die im Gestaltungsfeld „Erlöserzielung“ systematisch aufgenommen werden (Abb. 2, d). Insbesondere werden für die Softwareanteile in den Maschinen- und Anlagen, die einen Zusatznutzen für den Kunden bringen, sowie im Bereich Qualifizierung und Training über digitalisierte Dienstleistungen zusätzliche Erlösmöglichkeiten gesehen.

Für das Funktionieren eines Geschäftsmodells unter den Rahmenbedingungen der Industrie 4.0 müssen zusätzlich verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein, die

von den Akteuren der Werterstellung nicht unmittelbar beeinflusst werden können. Aus diesem Grund wurde das Gestaltungsfeld „Rahmenfaktoren“ ergänzt (Abb. 2, e). Insbesondere die Aspekte Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit sowie semantische Standards sind erfolgskritische Rahmenbedingungen.

4.1 Bewertung und Einordnung möglicher Szenarien

Sind die möglichen Szenarien einer Geschäftsmodellinnovation beschrieben, ist es hilfreich, diese hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit zu prüfen und zu bewerten.

Die Bewertung der erarbeiteten Szenarien erfolgt zum einen anhand einer zeitlichen Realisierungsprognose, zum anderen anhand der notwendigen Kompetenzschwerpunkte des jeweiligen Geschäftsmodellszenarios.

Die Projektion erfolgt durch Positionierung der entwickelten Szenarien in einem Projektionstrichter. Die Achsen bilden die Dimensionen Kompetenz und Zeit. Für die Bewertung der zeitlichen Realisierbarkeit sind je nach fokussierter Branche geeignete Zeithorizonte zu definieren. Der branchentypische Produkt- und Technologie-Lebenszyklus ist eine geeignete Orientierungsgröße. Für den Maschinen- und Anlagenbau wurde ein Projektionshorizont von 21 Jahren festgelegt (Abb. 4). Die „positive“ Kompetenzachse bildet spezifischen Kompetenzbedarf der Branche ab, aus deren Sicht das Geschäftsmodellszenario entwickelt wird (hier

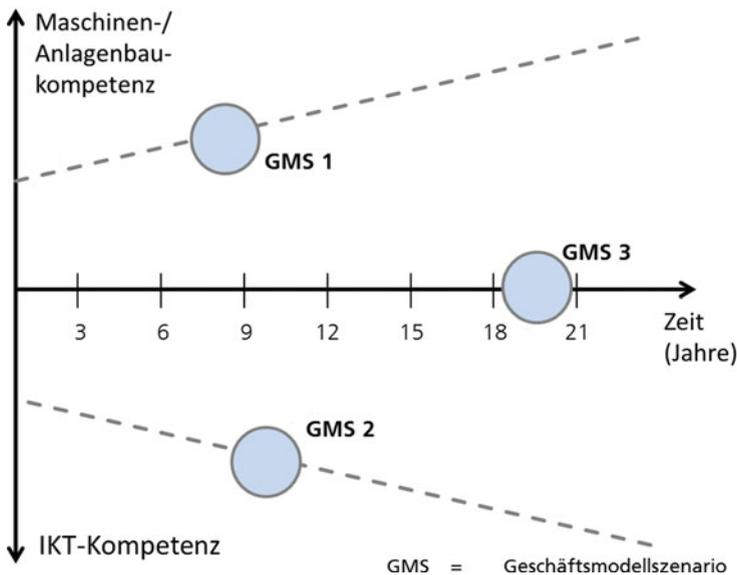


Abb. 4 Zeit-Kompetenz-Trichter zur Projektion von Industrie-4.0-Geschäftsmodellszenarien

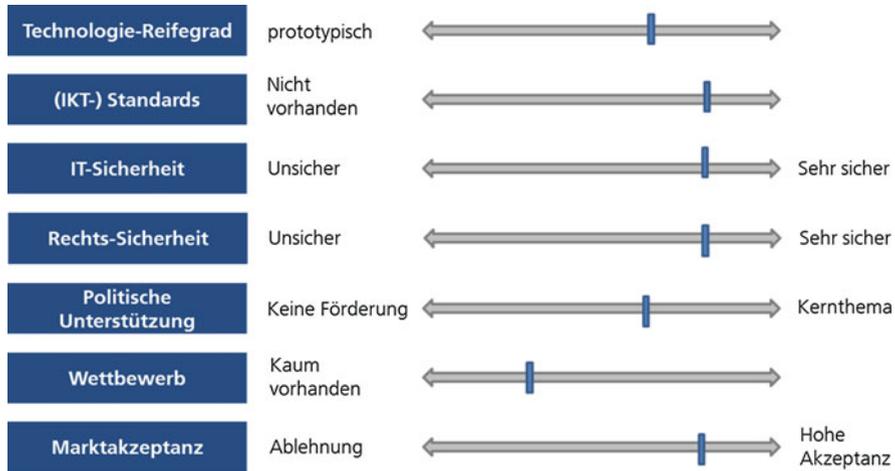


Abb. 5 Rahmenfaktoren für die zeitliche Realisierbarkeit von Industrie-4.0-Geschäftsmodellsszenarien

Maschinen- und Anlagenbau). Die „negative“ Kompetenzachse steht jeweils für die benötigte IKT-Kompetenz – intern aufgebaut oder durch Partner gewährleistet-, um das Industrie-4.0-Geschäftsmodellsszenario zu realisieren. Es wird davon ausgegangen, dass beide Kompetenzen im Zeitablauf hinsichtlich Industrie-4.0-Anschlussfähigkeit erhöht werden.

Für eine Positionierung in der zeitlichen Dimension werden die erarbeiteten Rahmenfaktoren aus den Interviews, dem Geschäftsmodelltableau und weitere in der einschlägigen Literatur benannte Voraussetzungen für die Realisierung von Industrie-4.0-Geschäftsmodellen herangezogen. Wesentliche Einflussfaktoren sind hier der technologiebezogene Reifegrad und Standards, Sicherheits- und Rechtsfragen, politische Unterstützung der Thematik sowie Wettbewerbs- und Marktakzeptanzbedingungen. Abb. 5 zeigt die einzelnen Faktoren und deren Extremausprägungen im Überblick. In der Abbildung ist beispielhaft die Bewertung der Faktoren für das Beispiel einer flächendeckenden Kollaborationsplattform für die Ausrüsterindustrie und Maschinenbetreiber visualisiert.

Die Positionierung auf der Kompetenzachse erfolgt jeweils auf Basis der Charakteristika des einzelnen Geschäftsmodellsszenarios. Insbesondere der Aspekt der Werterstellung und Erlöserzielung ermöglicht eine Einschätzung der erforderlichen teilweise branchenfremden Kompetenzen. In Abb. 4 ist das Geschäftsmodellsszenario 1 (GMS 1) ein eher durch Maschinenbaukompetenz geprägtes und kurzfristiger realisierbares Szenario, das hier nicht näher erläutert wird (siehe dazu und zur detaillierten Beschreibung der weiteren Szenarien Bauernhansl und Wieselhuber (2015)). Das GMS 2 ist stark von den IKT-Kompetenzen geprägt und stellt die Projektion des skizzierten Nischenszenarios der Maschinenbau-Teilnehmer dar.

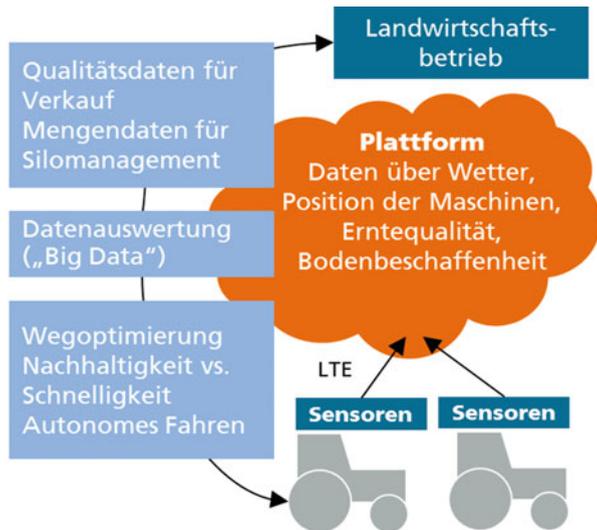
Es wurde im Vergleich zum GMS 3 als schneller realisierbar bewertet und wird durch die Maschinen-Anlagenbaubranche selbst vorangetrieben. In GMS 3, dem breiter angelegten Plattformkonzept, sind beide Kompetenzbereiche in enger Kooperation aktiv, der Umsetzungshorizont wird daher wesentlich weiter eingeschätzt.

5 Geschäftsmodell-Innovation in der Praxis: Beispiel 365Farmnet

Geschäftsmodell-Innovationen sind bei einigen wenigen Unternehmen schon früh implementiert worden. Das Internetportal 365FarmNet der gleichnamigen GmbH – einer hundertprozentigen Tochter des Landmaschinenherstellers Claas – bündelt, beziehungsweise vernetzt, unzählige Programme und Apps, die heute zur modernen Führung eines landwirtschaftlichen Betriebs benötigt werden (Böse-Fischer 2013). Es handelt sich um eine multilaterale Plattform – auf der einen Seite stehen die Landwirte auf der anderen Seite die am landwirtschaftlichen Wertschöpfungsprozess beteiligten Unternehmen, vom Landmaschinenhersteller über Düngemittellieferanten bis hin zum Stallungsbau und den Versicherern. 365FarmNet ist eine webbasierte Anwendung, für die keine Installationen erforderlich sind (Abb. 6). Einzige technische Voraussetzung ist ein Internetzugang des Rechners, des mobilen Endgerätes oder der Landmaschine selbst.

Ein Mähdrescher von Claas kann z. B mit entsprechender Software auf Wetterereignisse reagieren: Zieht Regen auf – die Daten kommen online von entsprechenden Wetterdiensten – sorgt ein Fahrerassistenzsystem dafür, dass das Getreide

Abb. 6 Business Ecosystems: Die Initiative „Farmnet 365“ aus dem Landmaschinenbau



schneller eingefahren wird. Der höhere Spritverbrauch wird durch die Vermeidung der höheren Kosten für die Trocknung überkompensiert. Ansonsten fährt der Mähdrescher automatisch mit minimalem Kraftstoffeinsatz. Parallel sammelt die Maschine, die über einen GPS-Piloten gelenkt wird, mithilfe von Sensoren Informationen über die Bodenbeschaffenheit. Damit wird dann künftig der Einsatz von Dünger und Pestiziden gesteuert und optimiert. Bisher brauchte der Landwirt dafür ein weiteres Softwareprogramm, das die notwendigen Mengen errechnete und die Daten an den Düngerstreuer sandte. Dies funktioniert nur, weil die Plattform offen gestaltet ist. Alle prozessrelevanten Anbieter können andocken, vom Düngemittelhersteller bis zur Telekommunikationsfirma. Je mehr attraktive Partner auf die Plattform kommen, desto größer ist der Mehrwert für die Anwenderseite, nämlich die Landwirte. Auf diese Weise entsteht nach und nach ein Business-Ökosystem, das den Wettbewerb und die Arbeitsweise einer ganzen Branche verändern kann.

6 Fazit

Wie Studien bestätigen, sind Geschäftsmodell-Innovatoren über einen Zeitraum von fünf Jahren betrachtet im Schnitt sechs Prozent profitabler, als diejenigen Unternehmen, die sich lediglich auf Produkt- und Prozessinnovationen beschränken (IBM 2012). Insbesondere für Branchen, in denen Innovationen traditionell eher produkt- oder technologieorientiert vorangetrieben werden, ergeben sich durch eine stärkere Geschäftsmodellorientierung vor dem Hintergrund der technologischen Möglichkeiten durch Industrie 4.0 ganz neue Potenziale. Die hier skizzierte Vorgehensweise zur Entwicklung branchenspezifischer Geschäftsmodellszenarien kann in einzelnen Unternehmen angewendet werden, oder in Kooperationen. Die erarbeiteten Ergebnisse können unmittelbar in die weitere systematische Entwicklung von Geschäftsmodell-Innovationen einfließen. So wird eine konsequente Erweiterung des Gestaltungsraums der eigenen Geschäftstätigkeit möglich. Plattformen und Ökosysteme weisen die Richtung. Damit erschließt sich den Unternehmen das volle Potenzial der Digitalisierung und Vernetzung.

Literatur

- Bauernhansl T, Lickefett M (Hrsg) (2014) Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg“. Baden-Württemberg auf dem Weg zu Industrie 4.0. Ministerium für Finanzen und Wirtschaft, Stuttgart
- Bauernhansl T, Wieselhuber N (Hrsg) (2015) Geschäftsmodellinnovation durch Industrie 4.0 im Maschinen- und Anlagenbau – Studienbericht. Fraunhofer IPA/Dr. Wieselhuber & Partner, Stuttgart/München
- Böse-Fischer C (2013) Nur eine Software braucht der Bauer. In: Hannoversche Allgemeine 10.11.2013. <http://www.haz.de/Nachrichten/Wirtschaft/Deutschland-Welt/Agritechnica-praesentiert-365FarmNet>. Zugegriffen am 10.10.2015

- BITKOM Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V., et al (Hrsg) (2014) Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland
- Burkhardt T et al (2011) Analyzing the business model concept – a comprehensive classification of literature. In: 32nd conference on information systems, Shanghai
- IBM Institute for Business Value (Hrsg) (2012) Global CEO study. Führen durch Vernetzung
- Osterwalder A (2004) The business model ontology. A proposition in a design science approach. Institut d'Informatique et Organisation. Lausanne, Switzerland, University of Lausanne, Ecole des Hautes Etudes Commerciales HEC 173
- Porter ME, Heppelmann JE (2014) Wie smarte Produkte den Wettbewerb verändern. Harvard Business Manager, 35–60
- Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (2013) Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0
- Steinberg J (2014) Life in the (Tel Aviv) Fast Lane. The Times of Israel 8.6.2014. <http://www.timesofisrael.com/life-in-the-tel-aviv-fast-lane/>. Zugegriffen am 10.10.2015
- Turber S, Smiela C (2014) A business model type for the internet of things – research in progress. In: 22nd European conference on information systems, Tel Aviv
- Weiner N, Renner T, Kett H (2010) Geschäftsmodelle im „Internet der Dienste“. Fraunhofer-Verlag, Stuttgart



The Industrial Interoperability Standard

Viel mehr als ein Protokoll ...
und darum gesetzt
für Industrie 4.0

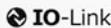
**OPC UA ist ein Framework für
Industrielle Interoperabilität**

- Modellierung von Daten und Schnittstellen für Geräte und Dienste
- Integrierte Security für Zugriff auf Daten & Dienste – validiert vom BSI
- Erweiterbare Transportprotokolle: Client/Server und Publisher/Subscriber und Roadmap für TSN
- Skalierbar vom Sensor bis in die IT Cloud
- International: OPC UA ist IEC62541
- Unabhängig von Herstellern, Betriebssystemen, Sprachen, vertikalen Märkten



Download der Technologie-Broschüre:
opcfoundation.org/resources/brochures/

Kooperationen der OPC Foundation mit anderen Organisationen in verschiedenen Märkten: Informationsmodelle aus verschiedenen Branchen sind abgebildet in OPC UA und werden so interoperabel mit integrierter Security.



www.opcfoundation.org



Sachverzeichnis

A

Aktoren, 71, 78, 79, 181, 232, 253
Analytics as a Service, 253
Angebotsarchitektur, 251
Anlage, 31
Anlagenbau, 249
App, 212, 233
Appisierung, 239
Architektur, Service-orientierte, (SOA), 232
Auftragsebene, 165
Augmented Reality, 148, 155–166, 168, 169,
171, 172
automatisiertes Wissen, 247
Automatisierungspyramide, 219
Automatisierungstechnik, 62

B

Bahnsteuerung, 71
Benutzerschnittstelle, smarte, 85
Betriebssicherheit, 107
Big Data, 220
Bosch, 216
Bosch Rexroth, 207

C

Change, 253
Cloud, 65, 233
cloudbasiertes Steuerungssystem, 65
Anwendung, 72
Cloud-Computing, 220, 233
Cloud server, 52
Community Cloud, 193
Conditional Safety Certificates, 121
Cyberphysisches System, 75, 78, 79, 85–87,
90, 159, 161, 220

D

DASH (Dynamic Adaptive Streaming over
http), 72
Datenbrille, 158, 161
datengetriebener Service, 248
Device-Ebene, 165
digitale Veredelung, 253
digitales Modell, 252
Digitalisierung, 245
disruptive Kraft, 253
disruptive Erneuerung, 253
Dynamic Adaptive Streaming over http
(DASH), 72

E

Echtzeitfunktion, 214
Einflussanalyse, 112
Enterprise Resource Planning-System (ERP),
220, 231
Erfahrungsaustausch, 149
Erlöserzielung, 254
Erneuerung, disruptive, 253
EtherNet/IP, 211

F

Fehlerbaumanalyse, 112
Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
(FMEA), 112
modulare, 115
Feldbussystem, 65
Fließbetrieb, 34
Flexibilisierung, 247
Forschungscampus ARENA2036 40
Funktionspaket, 207

G

Gefährdungsanalyse, 109
 Geschäftsmodell-Innovation, 245
 Geschäftsprozesse, 247

H

Halbleiterindustrie, 95, 98
 Wertschöpfungskette, 95
 HERMES AWARD, 207
 Hochsprachen, 209
 horizontale Integration, 96
 hydraulische Antriebstechnologie, 211

I

IBin, 47
 Identifikationslösung, 240
 IEC 61508, 109
 IKT-Plattform, 180
 Individualisierung, 247
 IndraWorks, 210
 Industrie 4.0, 207
 Industrie 4.0-Produktionssystem, 238
 Industrie 4.0-Werkzeugkasten, 236
 Informationsbereitstellung, 156
 Infrastructure as a Service (IaaS), 233, 250
 In-Memory-Technologie, 221
 Instandhaltung, 75, 76, 130
 prädiktive, 77
 Instandhaltungsobjekte, 76
 Instandhaltungsplanungsassistent, 84
 Instandhaltungsplanung, multikriterielle
 dynamische, 83, 90
 Instandhaltungsplanungssystem, 81
 Architektur, 82
 Integrated Industry, 209
 intelligente Produktion, 62
 Interaktion, 143, 146
 IT-Automation, 211

K

Käufer-Verkäufer-Beziehung, 251
 Kollaborationskompetenz, 248
 Kommunikation, 68, 147
 vereinfachte, 147
 Kompetenz, 255
 Kompetenzbedarf, 255
 Kompetenzentwicklung, 125
 Komplexität, Zunahme, 159
 Komponente, smarte, 79
 Komponentenfehlerbaum, 114
 Kontext, 86
 kontextbasierte Mitarbeiterführung, 160

Kooperation, 246
 Kooperationsfähigkeit, 251
 Koproduzent, 249
 Kraft, disruptive, 253
 Kundenschnittstelle, 249

L

Laufzeitertifizierung, 120
 Lebenszyklus, 251
 Leichtbauroboter, 35, 37
 Logistikmanagement, 52
 Logistiksystem, 47
 Losgröße eins, 223, 251

M

Manufacturing Execution-System (MES),
 220, 231
 Maschinensoftware, 208
 Maschinensteuerung, 209
 Maschinen-und Anlagenbau, 249
 Maschine-zu-Maschine-Anwendungsszenarien
 (M2M), 221
 Mensch-Maschine-Interaktion, 159
 Mikroelektronik, 95
 mobiles Remote-Assistenz-System, 142
 modulare Fehlerbaumanalyse, 113
 modulare FMEA, 115
 modulares Sicherheitskonzept, 117
 modulare Sicherheitsnachweise, 112, 118
 Modularisierung, 251
 Modules as a Service, 250
 Montage, 131
 multikriterielle dynamische
 Instandhaltungsplanung, 83, 90

N

Nachhaltigkeit, 247
 Near Field Communication (NFC), 240
 Netzwerkeffekte, 245
 Nutzen, 249, 254
 Nutzenfeld, 254
 Nutzenversprechen, 248

O

OCE, 207
 offene Standards, 207
 offene Schnittstellen, 208
 Ökosystem, 245
 OPC-UA, 72, 211
 Open Core Engineering, 207
 Open Core Interface, 207
 Orchestrierung, 233

P

Partner, 251
Platform as a Service (PaaS), 233, 250
Plattform, 245
prädiktive Instandhaltung, 77
Predictive Maintenance, 223
Produkte, smarte, 246
Produktion, intelligente, 62
Produktionssystem, 95, 248
Produktionstechnik, 62
Produktivitätsoptimierung, 248
Profinet, 211
Prozessorientierung, 247
Puffer, 70

R

Rapid Control Prototyping, 213
Referenzarchitektur, 182
Regelkreis, 72
Reifegrad, 256
Rekonfiguration, 61
Remote-Assistenz-System, mobiles, 142
Remoteunterstützung, 141
Restlebensdauermodell, 77
RFID (Radio-frequency Identification), 220
Risikobewertung, 109
Roboter, 31
 intelligenter, 43
Roboterteam, 29
Robot Farming, 38
Robotik, 220
 sensitive, 34

S

Safety, 107
Safety Case, 118
SAP HANA, 221
Schlüsselaktivität, 254
Schlüsselkompetenz, 254
Schnittstellen, offene, 208
Selbstopтимierung, 62
sensitive Robotik, 34
Sensoren, 71, 78, 79, 181, 232, 253
Sensorik, smarte, 220
Sercos, 211
Sercos international, 211
Service, datengetriebener, 248
Service-orientierte Architektur (SOA), 232
Service-Orientierung, 232, 250
Sicherheit, 108

Sicherheitskonzept, 117, 118
Sicherheitskonzeptbaum, 118
Sicherheitsnachweis, 112, 118
Skaleneffekte, 252
SmARPro, 164
Smart Devices, 212
smarte Aktoren, 81
smarte Benutzerschnittstelle, 85
smarte Komponente, 79
smarte Produkte, 246
smarte Sensorik, 220
Smart Factory, 219
Software as a Service (SaaS), 233
Softwaretools, 207
SPS-Automatisierung, 207
Standards, 256
 offene, 207
Steuerung, 62
Steuerungsrarchitektur, 62
Steuerungssystem, 62
 cloudbasiertes, 65, 72

V

Value as a Service, 250
vereinfachte Kommunikation, 147
Vernetzung, 245
Verschleißmodell, 77
Video-Livestream, 143, 146
Virtual Fort Knox, 180
vorausschauende Wartungsarbeiten, 223
voraussagende Instandhaltung, 77

W

Wearables, 164
Weiterbildung, 125
Wertschaffung durch Daten, 252
Wertschöpfung, 245
Wertschöpfungskette, 28, 39
 Halbleiterindustrie, 95, 98
Wertschöpfungsnetzwerke, 177
Wettbewerb, 256

X

X-as a Service, 247

Z

Zunahme der Komplexität, 159

Springer Reference

LIVE Springer
Reference Springer

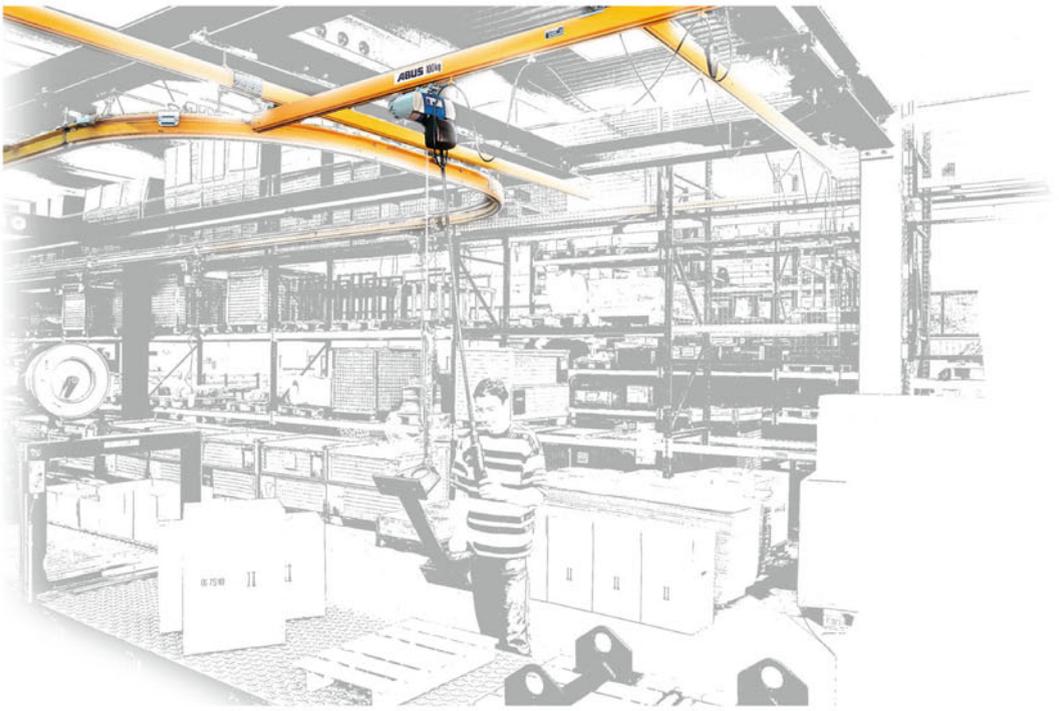
Das LiveReference zum Buch – alle Inhalte im digitalen Zugriff

Dieses Werk können Sie demnächst auch als digitales Produkt abonnieren. In der inhaltlichen Qualität, die Sie von Springer kennen, mit dem zusätzlichen Vorteil, dass Sie als Leser auch alle Aktualisierungen und Erweiterungen mitbekommen. Damit sind Sie immer auf dem neuesten Stand, auch ohne das Bücherregal in regelmäßigen Abständen zu erneuern.

Neugierig?

Dann schicken Sie eine E-Mail an srde@springer.com.

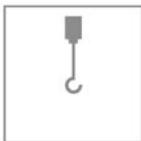
Wir informieren Sie, sobald das LiveReference zum Buch verfügbar ist



VERBINDEN SIE PRODUKTIVITÄT

MIT BENUTZERFREUNDLICHKEIT

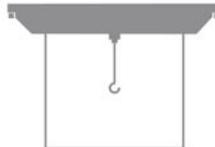
Hängebahnsysteme: Transportaufgaben auf kleineren Flächen lassen sich sehr gut mittels eines Hängebahnsystems lösen. Auch wenn es im Lager mal um die Ecke geht. Zahlreiche Varianten und Kombinationen unseres HB-Systems geben Ihnen den benötigten Planungsspielraum. Und während Ihre Mitarbeiter den Komfort schätzen, freut sich der Controller über die gestiegene Wirtschaftlichkeit.



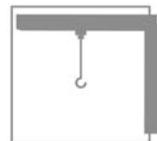
Kettenzüge und Seilzüge



Hängebahnsysteme



Laufkrane



Schwenkkrane

Labeling Quality

GLM-levo mit Plug-In®-Label

Bizerba Interactive



The future of performance

Mit bis zu 200 Packungen pro Minute ist der modulare und vollautomatische GLM-levo eine der schnellsten Etikettiermaschinen der Welt. Die perfekt abgestimmte Plug-In®-Label Funktionalität sorgt für reduzierte Rüstzeiten und verhindert kostspielige Fehletikettierungen.



Weitere Informationen

Hohe Leistung und eine breite Palette von Lösungen und Ausstattungsvarianten.

Die 4-fache Sicherheit
der Automation

COMPONENTS
SYSTEMS
SERVICES

Technisch Ökologisch
Persönlich Wirtschaftlich



Schneller im Ziel mit sicherer Antriebstechnik von Pilz

Setzen Sie auf Servoantriebstechnik von Pilz: Dank Safe Motion erreicht Ihr Antrieb auch mit allen gängigen Motor-Feedbacks und Feldbussen Performance Level PL e und steigert die Produktivität Ihrer Maschinen bis zu 20 %. Komplette Lösungen inklusive Engineering von der Antriebsauslegung bis zur Inbetriebnahme sparen Zeit, reduzieren Fehler und erhöhen die Sicherheit.

Effizient und sicher – mit Safe Motion als Erster ins Ziel!



Weitere Informationen zu Servoantriebstechnik
von Pilz: www.pilz.com/antriebstechnik



Wir machen Ihre Maschine sicher.

Mit Systemen und Lösungen von Schmersal.

Vernetzung, Digitalisierung und zunehmende Kooperation von Mensch und Maschine kennzeichnen die Industrieproduktion von morgen. Daraus resultieren große Herausforderungen für den Arbeitsschutz und die Maschinen- und Anlagensicherheit. Wir entwickeln innovative Sicherheitslösungen und bieten Ihnen die Safety Services unseres **tec.nicums** an – damit Sie zukunftsfähige Konzepte mit sicheren und leistungsfähigen Produktionsanlagen realisieren können.

Philip Schmersal und Michael Mandel
Geschäftsführer der Schmersal Gruppe



www.schmersal.com

 **SCHMERSAL**
Safe solutions for your industry



Produktion effizient steuern - heute und auch in Zukunft.

Seit 25 Jahren vertrauen Kunden weltweit unserer Erfahrung in der Entwicklung und Implementierung von Manufacturing Execution Systemen (MES), Supervisory Control and Data Acquisition Systemen (SCADA) sowie Material Flow Control (MFC). Unsere Passion ist es, neue Technologien zu entwickeln und die Smart Factory Wirklichkeit werden zu lassen. Als global agierendes Softwareunternehmen haben wir ein Ziel: die Fertigung von heute intelligenter, effizienter und flexibler zu machen.

Mit unserem Produktionsleitsystem E-MES bieten wir bereits heute eine maßgeschneiderte Lösung auch für die Anforderungen von morgen.

Nehmen Sie Kontakt auf: info@enisco.de, www.enisco.com

ENISCO 

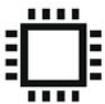


Meistern Sie die Anforderungen der Industrie 4.0 mit Matrikon OPC UA SDK

Performance auf höchstem Niveau

Matrikon OPC UA SDK ist die leistungsfähigste Lösung zur Bereitstellung von Industrie 4.0

Konnektivität in Operativen Systemen und auf allen Plattformen



Starke Performance

Unterstützt bis zu 1 Million Wertänderungen pro Sekunde auf einer Server Plattform



Kleinster Footprint

Die kleinsten RAM- und Flash-Footprints der Branche verbrauchen nur geringe Speicherressourcen auf einem Embedded Prozessor oder ermöglichen den Einsatz von Low-Cost-Microcontrollern.



Hohe Zuverlässigkeit

Vermeidung von Speicherplatzfragmentierung für maximale Betriebslaufzeit.

Für alle Plattformen getestet.

Wollen Sie Industrie 4.0 Lösungen in Ihren Produkten implementieren?

Sprechen Sie uns jetzt an:

Telefon: +49 221 / 969 77-0

europa@matrikonopc.com / DL-PMTOPCUAEMEA@matrikonopc.com



optimize!

softing

optimizing

Know-how und Produkte
für die vernetzte Automatisierung

Steigern Sie die Effizienz Ihrer Produktion und verbessern Sie Ihre Wettbewerbsfähigkeit durch Optimierung Ihrer Herstellungsprozesse. Softing Industrial bietet dafür das passende Know-how. Mit Hard- und Softwareprodukten sowie maßgeschneiderten Lösungen für M2M-

Kommunikation, Datenaustausch zwischen IT- und OT-Ebene und Werkzeugen zur Netzwerkd Diagnose, sorgen wir für reibungslose Datenkommunikation innerhalb der gesamten industriellen Wertschöpfungskette. Welche Lösung benötigen Sie?

<http://industrial.softing.com>