

Studie

# Industrie 4.0 - Potentiale, Nutzen und Good-Practice-Beispiele für die hessische Industrie

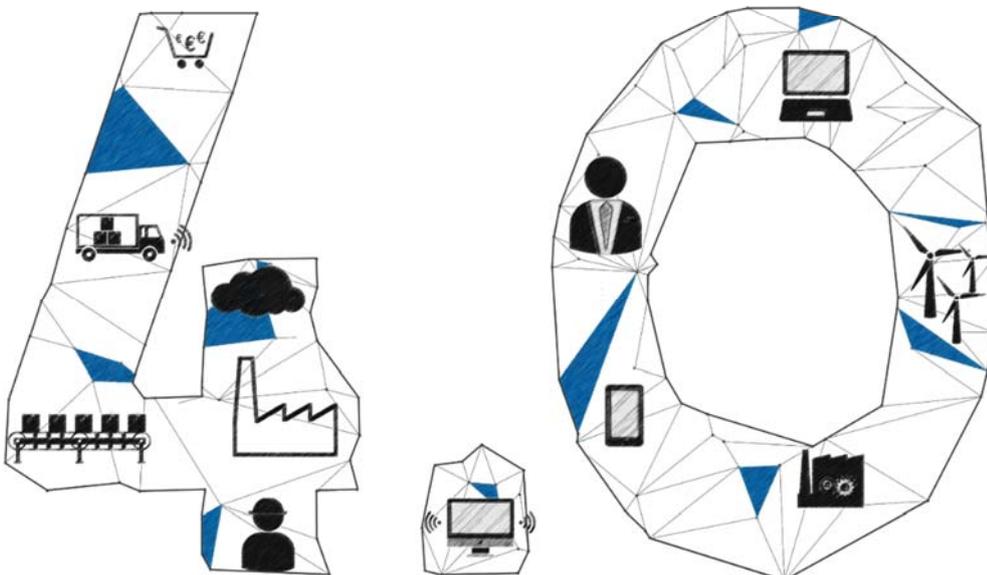
Zwischenbericht zum Projekt Effiziente Fabrik 4.0



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



# EFFIZIENTE FABRIK







---

Der vorliegende Projektbericht in Form einer durchgeführten Studie ist Teil des Projekts Effiziente Fabrik 4.0, welches aus Mitteln des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (HMWEVL) sowie aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung gefördert wird. Die Erstellung der Publikation wurde durch die Technologielinie Hessen-Umwelttech im Auftrag des HMWEVL unterstützt und begleitet.

Die Technologielinie Hessen-Umwelttech ist die zentrale Plattform des Hessischen Wirtschaftsministeriums für die Umwelttechnologie-Branche. Sie stärkt die Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft von hessischen Herstellern und Dienstleistern der Umwelttechnik und versteht sich – insbesondere im Hinblick auf die Themen Ressourceneffizienz und Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS) – als Schnittstelle zu Umwelttechnologieanwendern. Mit der Durchführung der Technologielinie Hessen-Umwelttech ist die Hessen Trade & Invest GmbH beauftragt.

Weitere Infos unter: [www.hessen-umwelttech.de](http://www.hessen-umwelttech.de)



Die Technologielinie Hessen-Umwelttech wird kofinanziert aus Mitteln der Europäischen Union



**EUROPÄISCHE UNION:**  
Investition in Ihre Zukunft  
– Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung.

---

## Autorenteam

---

**Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele** ist geschäftsführender Leiter des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen und verantwortlich für die Gründung der Prozesslernfabrik „Center industrieller Produktivität“ an der Technischen Universität Darmstadt.

**Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl** leitet das Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK) an der Technischen Universität Darmstadt und ist Leiter der Universität im internationalen PACE Verbund.

**Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich** ist stellvertretender Institutsleiter des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen und leitet die Forschungsgruppe CiP an der Technischen Universität Darmstadt.

**Alexander Arndt, M.Sc.** arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion.

**Andreas Wank, M.Sc.** arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen.

### Erweitertes Autorenteam:

Oleg Anokhin, M.Sc. arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Tobias Meudt arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen.

Markus Sauer, M.Sc. ist ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen.

### Hinweis

Diese Publikation ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

ISBN 978-3-87525-389-4

Herausgegeben vom Meisenbach Verlag Bamberg, 2015





---

---

## Inhaltsverzeichnis

---

Vorwort TU Darmstadt .....	2
Management Summary .....	3
1. Ausgangssituation und Zielsetzung der Studie.....	6
1.1. Ausgangssituation.....	6
1.2. Handlungsbedarf .....	7
1.3. Die Projektphasen der Effizienten Fabrik 4.0.....	8
1.4. Zielsetzung der Studie .....	9
1.5. Alleinstellungsmerkmal der Studie .....	10
2. Methodik der Studie .....	11
2.1. EFA 4.0-Stufenmodell.....	11
2.2. EFA 4.0-Unternehmenslandkarte.....	14
2.3. EFA 4.0-Nutzenmodell.....	15
3. Auswertung der Experteninterviews und Analyse.....	17
3.1. Allgemeines Verständnis von Industrie 4.0.....	17
3.2. EFA 4.0-Stufenmodell.....	22
3.3. EFA 4.0-Unternehmenslandkarte.....	23
3.4. EFA 4.0-Nutzenmodell.....	24
3.5. Vorstellung der Good-Practice-Beispiele .....	26
3.5.1. BIBA - Fabrik der selbststeuernden Produkte .....	27
3.5.2. BOSCH - Management komplexer Logistikketten durch den Einsatz von RFID .....	28
3.5.3. BOSCH Rexroth - Multiprodukt Montagelinie .....	29
3.5.4. B&R Industrie-Elektronik GmbH - APROL Produktionsleitsystem .....	30
3.5.5. Gaugler&Lutz OHG - Dynamische und echtzeitfähige Multiressourcenplanung .....	31
3.5.6. HBM - Messverstärkersystem für den Einsatz in der Produktionsüberwachung .....	32
3.5.7. Maschinenfabrik Reinhausen - MR-CM zentrale Datendrehscheibe .....	33
3.5.8. PEPPERL+FUCHS - SmartBridge - Ein Adapter als Brücke zwischen Sensor und Tablet .....	34
3.5.9. SmartFactoryKL - Die intelligente Fabrik der Zukunft .....	35
3.5.10. SmartFactoryOWL - Industrie 4.0 für den Mittelstand .....	36
3.5.11. TE connectivity - ARISO contactless connectivity .....	37
3.5.12. Weidmüller - Analog-Digital-Wandler mit Webservice .....	38
3.5.13. WETROPA GROUP - Online Konfiguration von 2D-CNC-Daten .....	39
3.5.14. WITTENSTEIN AG - Innovationsfabrik .....	40
3.5.15. WÜRTH Industrie - Direkte vernetzte Arbeitsplatzversorgung .....	41
4. Zusammenfassung der Studienerkenntnisse und Ausblick zur Effizienten Fabrik 4.0.....	42
5. Literaturverzeichnis .....	46

Es gibt aktuell kaum eine Veranstaltung, Diskussion oder ähnliches im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus, in welcher nicht über das Thema Industrie 4.0 gesprochen wird. Es gibt bereits zahlreiche Studien, in welchen Erwartungen, Herausforderungen, Chancen etc. abgefragt werden. Die Studien kommen zu der Erkenntnis, dass Industrie 4.0 enormes Chancenpotential für deutsche Unternehmen bietet.

Wozu also noch eine Studie über Industrie 4.0?

In der Vision Industrie 4.0 wird von cyber-physischen Systemen, dezentralen autonomen ad-hoc vernetzbaren Produktionsstrukturen, Internet der Dinge und Dienste, dem industriellen Kommunikationsprotokoll für Maschinen OPC UA usw. gesprochen. Doch sind all diese Begrifflichkeiten insbesondere den kleinen und mittelständischen Unternehmen bereits greifbar? Wo setzt das kleine und mittelständische Unternehmen an, um zur Vision Industrie 4.0 zu gelangen, ohne die Möglichkeit zu besitzen ein Produktionssystem von Grund auf neu zu planen?

Der Fokus dieser Studie ist das Aufzeigen konkreter Anwendungsfelder von „Industrie 4.0 Lösungen“ für die Praxis. Es wird gezeigt, dass bereits mit einfachen Informations- und Kommunikationstechnologien große Effizienzsteigerungen möglich sind. Industrie 4.0 muss nicht gleichbedeutend sein mit technologisch anspruchsvollen cyber-physischen Systemen. Entscheidend ist stets die Frage: Wie können die zentralen Unternehmenskennzahlen verbessert und bei welchen Stellhebeln muss angesetzt werden? Die in dieser Studie untersuchten Good-Practice-Beispiele zeigen sowohl die Unternehmensbereiche auf als auch die Technologien, die für erfolgreiche erste Umsetzungen notwendig sind. Im Rahmen des Projektes „Effiziente Fabrik 4.0“ werden aufbauend auf dieser Studie in Zusammenarbeit mit Unternehmen und einem Arbeitnehmerverband Anwendungsfälle von Industrie 4.0 entwickelt, praktisch umgesetzt und den Unternehmen zugänglich gemacht.

Eine zentrale zukünftige Herausforderung ist die Interdisziplinarität mit welcher Industrie 4.0 zu generieren ist. Hierfür sind sowohl entsprechend ausgebildete Fach- und Führungskräfte als auch ein agiler Mix aus Produktions- und Informationsverarbeitungskompetenz in Industrie, Wissenschaft und Beratung notwendig. Das Land Hessen erfüllt diese Voraussetzungen:

- Großer Mix von produzierenden Unternehmen aus den Bereichen Maschinen und Anlagenbau, Automobil- und Pharmaindustrie etc.
- Beratungs- und Planungsbüros
- Hervorragende IT-Landschaft
- Exzellente wissenschaftliche Einrichtungen mit Schwerpunkt Produktion und Informationsverarbeitung

Um die Stärke des hiesigen Wettbewerbsstandorts insbesondere gegenüber Schwellenländern, die den Vorteil haben einzelne Entwicklungsstufen überspringen zu können, aufrecht zu erhalten, müssen Unternehmen die Möglichkeiten von Industrie 4.0 verstehen und umsetzen. Zukünftig entscheidend ist die Abkehr von der aktuell sehr technologieorientierten zu einer lösungs- bzw. nutzenorientierten Sichtweise. Hierfür müssen praktische Anwendungsfelder weiter aufgezeigt und den hessischen Unternehmen erlebbar gemacht werden. Die in dieser Studie aufgezeigten Lösungen zeigen bereits erfolgreich umgesetzte Anwendungsfälle. Lassen Sie uns auf diesen ersten Erfolgen aufbauen und gemeinsam die Welt der Industrie 4.0 weiterentwickeln.

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele, Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl und Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich

---

## Management Summary

---

Knapp 90 Prozent der Betriebe des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus sind kleine und mittelständische Unternehmen. Ihnen kommt eine enorme wirtschaftliche Bedeutung zu. Aufgrund fehlender Fachkräfte wie auch bisher unzureichend publizierter Good-Practice-Realisierungen herrschen insbesondere in klein- und mittelständischen Unternehmen gegenüber den Entwicklungen der Industrie 4.0 noch Skepsis und Zurückhaltung.<sup>1</sup> Das von Mitteln des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (HMWEVL) sowie der Europäischen Union aus Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, vertreten durch die Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen (WIBank), kofinanzierte Forschungsprojekt „Effiziente Fabrik 4.0“ setzt bei den Herausforderungen der Werterhaltung bereits existierender Betriebsmittel und Ressourcen in bestehenden Produktionssystemen an. Die Besonderheit des hier verfolgten Ansatzes liegt darin, dass kein neues Produktionsumfeld erschaffen, sondern auf der bereits bestehenden Prozesslernfabrik „Center für industrielle Produktivität“ (CiP) an der TU Darmstadt aufgesetzt wird. Teil dieses Projektes bildet die vorliegende Studie, welche die Ermittlung und Darstellung von bereits existierenden Good-Practice-Beispielen in produzierenden Unternehmen umfasst.

Die Studie zielt darauf ab, basierend auf Experteninterviews und der Analyse von ausgewählten Industrie 4.0-Lösungen, dem deutschen Mittelstand, insbesondere der hessischen Industrie, eine nutzenorientierte Darstellung der Ergebnisse zur Verfügung zu stellen. Ferner gilt es, diesen Nutzen in den Gesamtkontext von Industrie 4.0 einzugliedern und den jeweiligen Unternehmensbereichen zuzuordnen.

Die zentralen Erkenntnisse der vorliegenden Studie, basierend auf der Analyse der Experteninterviews und Good-Practice-Betrachtungen, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

### **1. Die Deutsche Industrie, insbesondere die hessische Industrie, sieht großen Nutzen und riesige Chancen durch Industrie 4.0.**

Dass Industrie 4.0 bereits in den Unternehmen Einzug gefunden hat, zeigen die innerhalb dieser Studie gefundenen Good-Practice-Beispiele. Industrie 4.0 kann nach Meinung der befragten Experten als eine Initiative aufgefasst werden, welche die unterschiedlichsten Einrichtungen, Fachverbände und Unternehmen miteinander in Kontakt treten lässt. Industrie 4.0 wird in der öffentlichen Diskussion auch gelegentlich als „Hype“ bezeichnet. Eine solche Aussage kann mit den Ergebnissen dieser Studie nicht bestätigt werden. Die Unternehmen attestieren Industrie 4.0 ein reales Potential zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. Die aktuelle Diskussion stellt eine Art Impulsgeber für die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien in bestehende Produktionssysteme dar. Schon mit einfachen Lösungen können, nach Meinung der Experten, enorme Effizienzsteigerungen insbesondere bei kleinen und mittelständischen Unternehmen realisiert werden, was auch die analysierten Good-Practice-Beispiele bestätigen.

### **2. Kernpunkt ist die signifikante Erhöhung der Wertschöpfung durch Industrie 4.0-Lösungsansätze.**

Good-Practice-Beispiele im Kontext von Industrie 4.0 adressieren primär die Anpassung und Verbesserung unternehmerischer Kernprozesse. Zu diesen gehören, nach Definition der vorliegenden Studie, die Entwicklung, Produktionsplanung und Disposition, die Produktionsdurchführung, die Logistik sowie der Vertrieb. Knapp 60 % der untersuchten Lösungen setzen bei diesen wertschöpfenden Aktivitäten von Unternehmen an. Jener messbare Beitrag zur Wertschöpfung wird in den meisten Unternehmen durch eine Wertstromanalyse mit anschließender -gestaltung erreicht. Die Auswertung der Experteninterviews samt Good-Practice-Analyse bekräftigt diese Wertschöpfungs-

---

<sup>1</sup> Vgl. Kagermann et al., 2013

---

arbeit, da die Steigerung der Prozesseffizienz die größten Potentiale zur Verbesserung der unternehmerischen Zielgrößen Herstellungskosten, Qualität, Geschwindigkeit und Wandelbarkeit darstellt.

**3. Neue Geschäftsmodelle sind erforderlich und werden durch Industrie 4.0 hervorgerufen (innovative Produkte und Dienstleistungen).**

Die Diskussion über Industrie 4.0 und mögliche Lösungen in diesem Themenfeld führen zu einer Auseinandersetzung der Unternehmen mit den Herausforderungen der Zukunft und zur Überprüfung der eigenen Unternehmensstrategie. Industrie 4.0 ermöglicht den Zugang zu neuen Geschäftsmodellen und ggf. zu neuen innovativen Märkten. Anwenderunternehmen können beispielsweise durch den Aufbau von Kompetenzen und der Anwendung selbst zum Ausrüsterunternehmen werden. Die analysierten Industrie 4.0-Lösungsbeispiele zeigen darüber hinaus Potenzial für weitere innovative Geschäftsmodelle.

**4. Es besteht dringlicher Handlungsbedarf Forschungsergebnisse in die Praxis umzusetzen.**

Unternehmen differenzieren die durch Industrie 4.0 auftretenden Handlungsfelder in technische sowie organisatorische Handlungsfelder. Auffällig sind hier die Unterschiede zwischen den analysierten industriellen Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen in Form von Modell- bzw. Lernfabriken. Auf dem Weg zur Fabrik der Zukunft gilt es die bereits in Verbund- und Forschungsprojekten erarbeiteten Lösungen zur Bearbeitung der technischen sowie organisatorischen Handlungsfelder in die industrielle Praxis zu übertragen, um unternehmerische Zielgrößen zu verbessern.

**5. Bestätigung der Umsetzungsstrategie des Projektes „Effiziente Fabrik 4.0“ mit**

- a. Wertstromanalyse: Ist-Analyse des unternehmensspezifischen Wertstroms und Identifikation von Wertschöpfungspotentialen.
- b. Use Case Definitionen: Ableitung und Entwicklung von Anwendungsfällen sowie detaillierte Beschreibung der Flexibilisierung und Anpassung von Produktionsprozessen.
- c. Implementierung: Aufstellung einer Umsetzungsroadmap, Technologieauswahl sowie deren Implementierung und Einführung in die Produktionslandschaft.
- d. Validierung: Eigenschaftsabsicherung der gesamten Umsetzung zur erfolgreichen Einführung von Industrie 4.0-Lösungsansätzen.

Die Ableitung und Generierung der Erkenntnisse im Rahmen dieser Studie bestätigt die gewählte Umsetzungsstrategie des Projektes „Effiziente Fabrik 4.0“ (siehe Abbildung 4). Insbesondere der Bedarf an „Use Cases“ zur Umsetzung von Industrie 4.0-Lösungen trifft auf großes Interesse in der produzierenden Industrie.

Mithilfe der in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse wurden zusammen mit den Projektpartnern fünf Use Cases abgeleitet und entwickelt (siehe Abbildung 1). Sie stellen die Anknüpfungspunkte für die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien in das hier bestehende Produktionssysteme dar. Das geforderte Umsetzen von Forschungsarbeiten in die Praxis wird im Rahmen des weiteren Projektverlaufs in Form von hard- und softwaretechnischen Implementierungen dieser Use Cases in die Prozesslernfabrik erfolgen. Die Use Cases werden detailliert in Kapitel 4 beschrieben.

## UC 0: Einheitliches Datenmanagement / Bauteil als Informationsträger

UC 1:  
Papierlose und integrierte  
Qualitätssicherung

UC 2:  
Digitales Wertstromabbild

UC 3:  
Condition Monitoring

UC 4:  
Flexible intelligente  
Werkerassistenzsysteme



Abbildung 1: Übersicht Umsetzungskonzepte und Impressionen - Effiziente Fabrik 4.0<sup>2</sup>

Die erforderliche Quantifizierung des Nutzens der jeweiligen Industrie 4.0-Lösung wird mithilfe eines Kennzahlensystems in der Effizienten Fabrik 4.0 erarbeitet. Die aufgedeckten Erfordernisse und Handlungsbedarfe im Rahmen dieser Studie können dann überwiegend adressiert und erlebbar veranschaulicht werden. Der abschließende Wissenstransfer und die didaktische Aufbereitung der Ergebnisse decken den hervorgebrachten Bedarf an Informationen und Umsetzungsempfehlungen sowie -strategien für Unternehmen zusätzlich ab.

<sup>2</sup> Vgl. Abele et al. 2015

## 1. Ausgangssituation und Zielsetzung der Studie

Die vorliegende Studie ist Bestandteil des Projektes „Effiziente Fabrik 4.0“, welches an der TU Darmstadt ins Leben gerufen wurde. Abbildung 2 zeigt das Projektkonsortium dieses Vorhabens und deren Rollen. Es wird hier zwischen Anwender- und diversen Ausrüsterunternehmen differenziert. Das Projekt hat zum 15.05.2014 begonnen und wird bis zum 31.12.2015 finanziert.

TU Darmstadt	Projektpartner			
Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion   Institut für Produktions- management, Technologie und Werkzeug- maschinen  	IG Metall   Institution/ Arbeitnehmerverband	Heidelberger Druckmaschinen   Anwender	:em engineering methods AG   Ausrüster/Software	TE Connectivity   Ausrüster
	Rittal GmbH   Anwender	Software AG   Ausrüster/Software	Pepperl+Fuchs   Ausrüster	HBM Test and Measurement   Ausrüster
	ESR Pollmeier   Ausrüster	BR Automation   Ausrüster/Software	Östling   Ausrüster	memex GmbH   Ausrüster

Abbildung 2: Das Projektkonsortium der Effizienten Fabrik 4.0

Zur Einordnung der Studie in den Gesamtkontext sollen im Folgenden neben allgemeinen Projektinformationen auch aufgedeckte Handlungsbedarfe und die Beschreibung der einzelnen Projektphasen dargestellt werden. Hierauf aufbauend werden die Ziele und die Konzeption der Studie beschrieben.

### 1.1. Ausgangssituation

Unternehmen am Wirtschaftsstandort Deutschland sehen sich einem zunehmenden globalen Wettbewerb ausgesetzt. Vor allem der von den Niedriglohnländern ausgehende Kostendruck kann zu einer Verlagerung von Produktionsstätten sowie Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ins Ausland führen.<sup>3</sup> Gerade für den Standort Hessen ist die industrielle Produktion – mit einer Bruttowertschöpfung von 38,5 Mrd. € – ein wichtiger Wirtschaftszweig.<sup>4</sup> Dabei stellen nicht nur die Globalisierung sondern auch der effiziente Einsatz von Ressourcen sowie die Dynamisierung der Produktlebenszyklen eine Reihe von Herausforderungen an produzierende Unternehmen.

Ein wichtiger Hebel zur Sicherung und Stärkung der Position hessischer Unternehmen im internationalen Wettbewerb sowie gegenüber den genannten Herausforderungen liegt (siehe Abbildung 3) in einer umfassenden Steigerung der Effizienz. Eine nachhaltig erfolgreiche Produktion in Zeiten von Globalisierung, Ressourcenverknappung und Dynamisierungen von Produktlebenszyklen erfordert klare Vorstellungen von Zielgrößen und deren Umsetzung. Die Zielgrößen selbst, werden sich dabei in der „Fabrik von morgen“ jedoch nicht sonderlich ändern: Herstellungskosten und Qualität bleiben weiterhin ausschlaggebend. Allerdings werden die Faktoren Geschwindigkeit und Wandelbarkeit in der Produktionsgestaltung zunehmend an Bedeutung gewinnen. Dabei gilt es, neue Produkt- und Produktionstechnologien einzuführen, die Innovationsgeschwindigkeit zu steigern und Durchlaufzeiten zu minimieren, um flexible Produktionssysteme zu entwickeln, die es ermöglichen, kundenindividuelle Fertigungswünsche in Echtzeit herzustellen und Kapazitäten bei Bedarf anzupassen.<sup>5</sup>

<sup>3</sup> Vgl. Brecher 2011

<sup>4</sup> Vgl. Hessisches Statistisches Landesamt 2011

<sup>5</sup> Vgl. Abele und Reinhart 2011

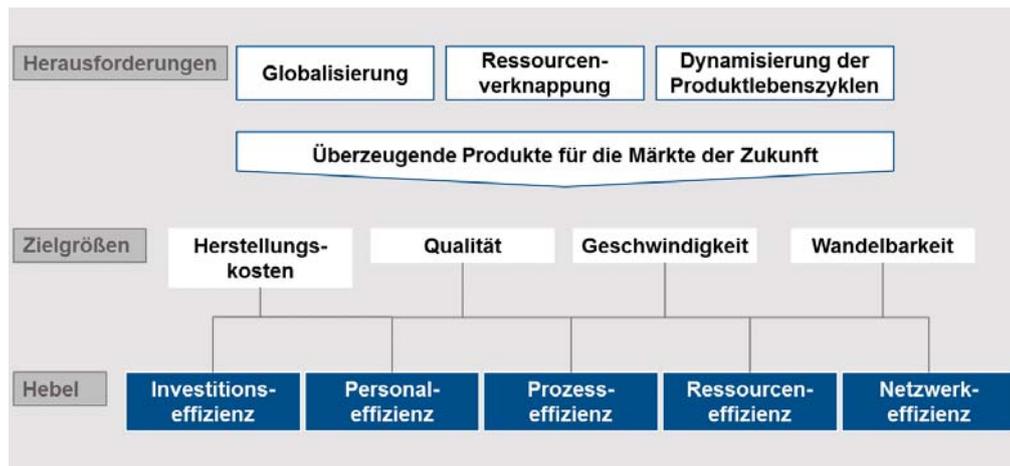


Abbildung 3: Zukünftige Herausforderungen, Ziele und Hebel produzierender Unternehmen<sup>6</sup>

Die Vision der Industrie 4.0 verfolgt einen radikalen Wandel der bisherigen Produktionsparadigmen. Die Durchdringung mit Informations- und Kommunikationstechnologien bietet im Hinblick auf eine umfassende Effizienzsteigerung vielfältige Chancen und Möglichkeiten für die fortschrittliche Produktion. Beispielsweise können neuartige Geschäftsmodelle und Dienstleistungen, insbesondere aber Optimierungspotenziale im Bereich der Produktion und Logistik entstehen und Anwendung finden.<sup>7</sup> Im Zuge deren Realisierung müssen sich insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) großen Herausforderungen stellen.<sup>8</sup> Dabei soll die IT-Durchdringung, bspw. in Form von intelligenten Maschinen, die zunehmende Komplexität für den Menschen beherrschbar machen.<sup>9</sup>

## 1.2. Handlungsbedarf

Akademische Ansätze fokussieren sich zumeist auf die Ausgestaltung einzelner Aspekte der Vision Industrie 4.0. Dabei liegt, aufgrund des Anspruches neuartige Lösungen zu entwickeln, die Übertragung der erarbeiteten Konzepte auf reale bestehende Produktionssysteme bisher nicht im Fokus.<sup>10</sup> Existierenden Analyse-Ansätzen fehlt bislang die prozessbezogene Sicht, um Lösungen und deren Potenziale in Bezug auf die Schnittstellenreduktion sowie die übergreifende Prozesseffizienz zu strukturieren und zu bewerten.<sup>11</sup> Lediglich in Bezug auf die Bewertung des Grades der Vernetzung und Verknüpfung von Informations- und Kommunikationstechnologien mit Produktionstechnologien kann auf die von Broy<sup>12</sup> aufgezeigte Systematisierung cyber-physischer Systeme aufgebaut werden.

Aus Perspektive der industriellen Produktion in Hessen besteht daher Bedarf an

- einer auf die Ausgangssituation der produzierenden Unternehmen bezogene Darstellung der Chancen und Potenziale im Hinblick auf eine umfassende Steigerung der Effizienz durch Industrie 4.0,
- Good-Practice-Beispielen als Orientierung und Motivationstreiber,
- einem realen Experimentierfeld, um neue Ansätze der Industrie 4.0 für Hochschulen, hessische Unternehmen sowie Unternehmens- und Arbeitnehmerverbände sichtbar und vor allem erlebbar zu machen und

<sup>6</sup> Vgl. Abele und Reinhart 2011

<sup>7</sup> Vgl. Kagermann et al. 2013

<sup>8</sup> Vgl. Billerbeck und Hartbrich 2014

<sup>9</sup> Vgl. Uhlmann et al. 2013

<sup>10</sup>Vgl. Uhlmann et al. 2013 und Jentsch et al. 2013

<sup>11</sup> Vgl. Jentsch et al. 2013

<sup>12</sup> Broy und Geisberger 2012

- erprobten Methoden, nach denen sich effizienzsteigernde Ansätze effektiv und nachhaltig in bestehende Produktionssysteme integrieren lassen.

Vor diesem Hintergrund und der bedeutenden Stellung der industriellen Produktion in Hessen wird deutlich, dass zur Sicherung des Produktionsstandortes und zur Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit eine anwendungsnahe Forschung zur Thematik der „Produktion von morgen“ notwendig ist.<sup>13</sup> Im Hinblick auf die in Abbildung 3 dargestellten Dimensionen der Effizienz sollen hessische Unternehmen im Rahmen des Projektes „Effiziente Fabrik 4.0“ dazu befähigt werden, insbesondere die Prozess-, Personal-, und Ressourceneffizienz mit den Methoden und Ansätzen der Industrie 4.0 nachhaltig zu steigern. Im Folgenden werden die einzelnen Projektphasen zur Einordnung der vorliegenden Studie kurz aufgegriffen, um darauf aufbauend die Methodik und die Ziele der Studie beschrieben. Ferner werden die gewonnenen Erkenntnisse sowie die analysierten Good-Practice-Beispiele aus der Praxis aufgezeigt.

### 1.3. Die Projektphasen der Effizienten Fabrik 4.0

Das Projekt besteht aus vier Arbeitsphasen, welche nachfolgend im Einzelnen erläutert werden.

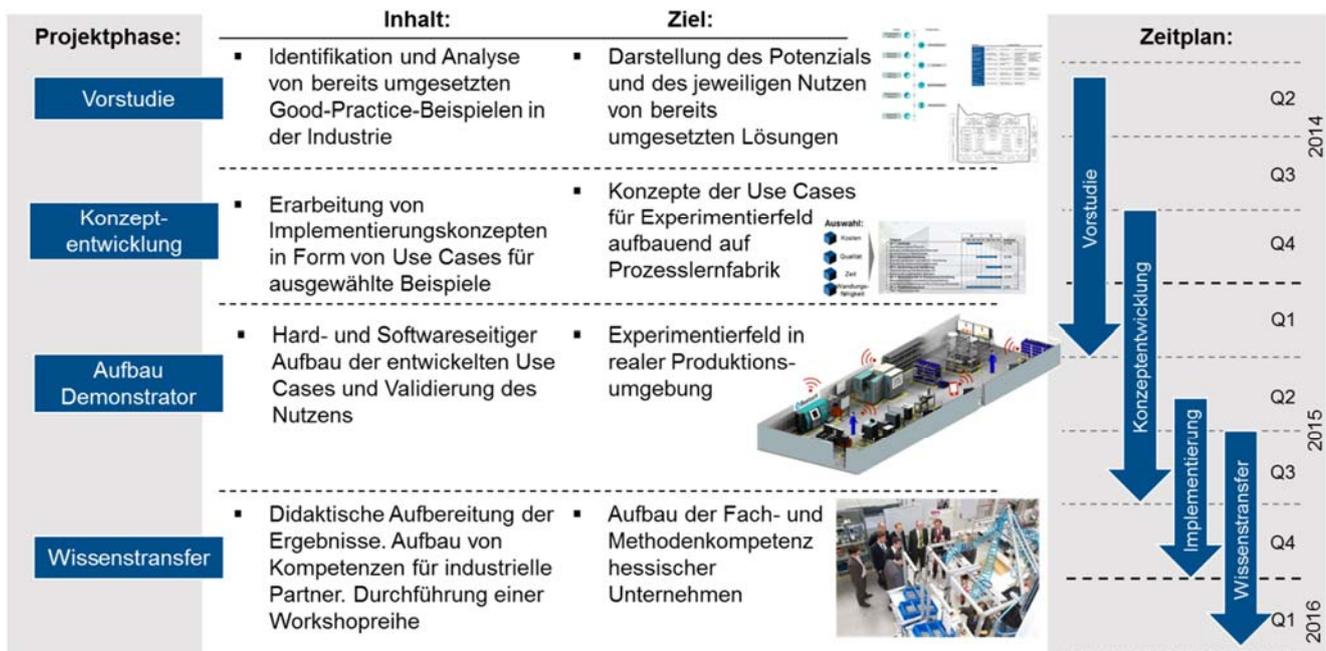


Abbildung 4: Übersicht der Projektphasen und deren Ziele

Die erste Projektphase, gekennzeichnet durch die Identifikation, Analyse und Strukturierung möglicher Good-Practice-Beispiele, erfolgt im Rahmen der vorliegenden Studie. Durch Experteninterviews sowie Unternehmensbesichtigungen werden Konzepte und Lösungen identifiziert, die mittels der intelligenten Verknüpfung von Produktions- mit Informations- und Kommunikationstechnologien eine Steigerung der Effizienz im Sinne der Industrie 4.0 unterstützen bzw. herbeiführen. Auch die Interaktion der Mitarbeiter mit Maschinen und weiteren Systemen ist für eine Bewertung der Good-Practice-Beispiele von besonderem Interesse. Zur weiteren Analyse wird hierzu ein Rahmenwerk entwickelt. Dieses Rahmenwerk wird im späteren Verlauf der Studie detailliert vorgestellt (siehe Kapitel 2) und soll es ermöglichen, die identifizierten Good-Practice-Beispiele systematisch zu strukturieren und Potenziale für weitere Aktivitäten zu identifizieren.

Aufbauend auf der durchgeführten Studie und den dort erzielten Erkenntnissen liegt der Fokus der zweiten Phase des Vorhabens auf der Erarbeitung von Implementierungskonzepten für ausgewählte Good-Practice-Beispiele in die Lernfabrik. Hierzu erfolgt zunächst in Kooperation mit den Projektpartnern auf

<sup>13</sup> Vgl. Abele und Reinhart 2011

---

Basis der Vorauswahl die Festlegung der weiterzuentwickelnden Good-Practice-Beispiele. Dieses Vorgehen mündet in der Entwicklung von Anwendungsfällen (sogenannten „Use Cases“). Unter einem Use Case wird die Beschreibung einer begrenzten Arbeitssituation im Anwendungsbereich verstanden. Es werden die grundlegenden Handlungen und Umstände benannt, welche erforderlich sind, damit ein Prozess erfolgen kann. Diese Use Cases stellen im Rahmen des Projektes die Anknüpfungspunkte dar, um Effizienzsteigerungen in das hier bestehende Produktionssystem durch die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien erzielen zu können. Im Anschluss daran folgt die Entwicklung der technischen wie auch organisatorischen Implementierungskonzepte, insbesondere die Vernetzungsstrategie ist hier von großer Relevanz. Dabei liegen die Schwerpunkte auf der Konzeptionierung der ganzheitlichen und umfassenden IT-Infrastruktur sowie in der Umsetzung und Verknüpfung von hardwaretechnischen Einzellösungen unter Berücksichtigung bestehender Produktionssysteme mit:

- eingefahrenen, fähigen Prozessen,
- bestehenden Betriebsmitteln und
- bestehenden Mitarbeiterkompetenzen.

Der Aufbau der Demonstratoren umfasst die hard- und softwareseitige Implementierung der entwickelten Use Cases in enger Kooperation mit den Projektpartnern. Daran schließt sich deren organisatorische und wirtschaftliche Evaluation an. Hierzu wird auf dem bereits in der Prozesslernfabrik CiP bestehenden Kennzahlensystem aufgesetzt. Einer Vorher-Nachher-Betrachtung der erzielten Kennzahlen schließt sich eine wirtschaftliche Betrachtung der implementierten Lösungen an.

Die Phase des Wissenstransfers sowie der Kompetenzentwicklung besteht zum einen aus einem projektbegleitenden Transfer von erarbeiteten Erkenntnissen und Ergebnissen im Rahmen von öffentlichen Veranstaltungen. Dieses Vorgehen bietet eine Plattform, um Erkenntnisse aus der Studie, Konzeptentwicklung und Umsetzung projektbegleitend interessierten Verbänden und Unternehmen zu präsentieren. Zum anderen werden die zuvor erarbeiteten Use Cases und umgesetzten Lösungen didaktisch aufbereitet.

Die didaktisch aufbereiteten Workshopinhalte werden zum Ende des Projektes in das bestehende Schulungscurriculum der Prozesslernfabrik aufgenommen. Das im Rahmen des Vorhabens erlangte Wissen über eine zielgerichtete Implementierung dieser Anwendungen in bestehende Produktionssysteme kann somit zur Kompetenzentwicklung und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit hessischen Unternehmen vermittelt werden. Eine hohe Präsenz der Ergebnisse wird durch Marktplatzveranstaltungen an der TU Darmstadt zum Ende des Projekts erfolgen, in deren Rahmen Ausrüster, Anwender und Verbände zusammengebracht und gleichermaßen informiert werden sollen.

#### **1.4. Zielsetzung der Studie**

Zielsetzung der vorliegenden Studie ist die Ermittlung und Darstellung von bereits existierenden Good-Practice-Beispielen in produzierenden Unternehmen. Zur besseren Einordnung der analysierten Lösungen bzw. Unternehmen werden zusätzlich das Verständnis über Industrie 4.0 sowie Erwartungen und Potentiale, welche hierdurch hervorgerufen werden, abgefragt. Anhand der analysierten Industrie 4.0-Lösungen sollen nutzenbringende Potenziale aufgezeigt werden. Ein weiteres Ziel ist die bereits beschriebene systematische Einordnung in das eigens entwickelte Rahmenwerk. Anhand dessen soll insbesondere der hessische Mittelstand dazu befähigt werden neue Lösungsansätze im Kontext von Industrie 4.0 auf seine eigene Produktionslandschaft zu adaptieren. Um diese Leistung im Rahmen des Projektes „Effiziente Fabrik 4.0“ zu erbringen gilt es im Rahmen der Studie folgende Forschungsfragen (siehe Abbildung 5) zu beantworten. Die Forschungsfragen lassen sich in zwei Kategorien eingliedern. Zum einen in einen allgemeinen Verständnisteil zum Terminus Industrie 4.0, welche insbesondere Erwartungen abfragt, sowie zum anderen in einen lösungsorientierten Fragenteil.

## Erwartungsorientierte Fragen

- Birgt Industrie 4.0 ein reales Potenzial oder ist es nur ein Hype und wird ein realer Nutzen durch Industrie 4.0 erwartet?
- Welche Herausforderungen sehen Unternehmen in Industrie 4.0 auf sich zu kommen?
- Was sind die ausschlaggebenden Treiber für die Einführung von Industrie 4.0 in Unternehmen?
- Wo liegen aus Sicht der Unternehmen Handlungsfelder auf dem Weg zur Fabrik der Zukunft?

## Lösungsorientierte Fragen

- Welche Good-Practice-Beispiele existieren im Themenfeld Industrie 4.0?
- Wie lassen sich bereits existierende Lösungen im Kontext Industrie 4.0 vergleichen?
- Wie können Industrie 4.0 Good-Practice-Beispiele unternehmensintern verankert und welchen Prozessen können diese zugeteilt werden?
- Welcher quantifizierbare Nutzen wird durch die Good-Practice-Beispiele hervorgerufen und welchen Einfluss haben diese auf die Investitions-, Personal-, Prozess-, Ressourcen- sowie Netzwerkeffizienz?

Abbildung 5: Zentrale Forschungsfragen der Studie zur Effizienten Fabrik 4.0

Im Folgenden wird der Aufbau und die Vorgehensweise der Studie dargestellt, bevor die durchgeführten leitfadengestützten Experteninterviews und deren Auswertungen vorgestellt werden. Über die Beantwortung der oben gezeigten Forschungsfragen hinaus, liegt ein primäres Ziel der Studie in der Bereitstellung von Good-Practice-Beispielen als Basis bzw. Grundlage für die Entwicklung der Use Cases für den weiteren Projektverlauf.

### 1.5. Alleinstellungsmerkmal der Studie

Seit der Begriff Industrie 4.0, noch vor der Gründung der Plattform Industrie 4.0, erstmals 2011<sup>14</sup> auf der Hannover Messe in die Öffentlichkeit getragen wurde, sind eine Vielzahl an Analysen, Untersuchungen und Studien zu diesem Themenkomplex durchgeführt worden. Diese adressieren die unterschiedlichsten Zwecke und Interessen. In den meisten Fällen ist das Ziel einer Studie Erwartungen aus Sicht der verschiedenen Unternehmen, beispielsweise differenziert in Anwender oder Ausrüster, darzustellen. Darüber hinaus werden in der Regel Potenziale und mögliche Auswirkungen abgefragt und ausgewertet. Das Hauptaugenmerk dieser Studie liegt demgegenüber auf der nutzenorientierten Darstellung der Ergebnisse, das heißt zum Beispiel „Wie kann mein Unternehmen die Zielgröße Qualität durch Industrie 4.0-Lösungsansätzen verbessern?“ oder „Welcher Nutzen wird durch das Verbessern der Prozesseffizienz mithilfe der eingesetzten Industrie 4.0-Lösung erreicht?“, siehe auch Abbildung 5. Die durchgeführte Studie basiert auf Experteninterviews, welche mittels eines eigens entwickelten Interviewleitfadens durchgeführt wurden. Komplettiert wurden die Experteninterviews durch Vor-Ort Begehungen der Good-Practice-Beispiele direkt im Unternehmen.



Abbildung 6: Alleinstellungsmerkmal der Studie "Effiziente Fabrik 4.0"

<sup>14</sup> Vgl. Kagermann et al. 2011

---

## 2. Methodik der Studie

---

Im Rahmen dieser Studie wurden insgesamt 15 Unternehmen bzw. Lernfabriken zu „ihrer“ Industrie 4.0-Lösung in mehrstündigen Experteninterviews befragt. Die Unternehmen stammen dabei aus verschiedenen Branchen und sind sowohl Anwender- als auch Ausrüsterunternehmen. An dieser Stelle möchten wir uns für die Unterstützung der Interviewpartner zur Anfertigung dieser Studie sehr herzlich bedanken!

Der Aufbau der Studie und die Analyse der Good-Practice-Beispiele orientieren sich an einem entwickelten Rahmenwerk. Dieses soll es ermöglichen, die identifizierten Good-Practice-Beispiele systematisch zu strukturieren. Es besteht aus drei Bausteinen:

- **EFA 4.0-Stufenmodell** - Welchen technischen Reifegrad hat die Lösung?
- **EFA 4.0-Unternehmenslandkarte** - Welche betrieblichen Bereiche bzw. Prozesse werden von der Lösung angesprochen?
- **EFA 4.0-Nutzenmodell** - Welche Stellhebel werden betätigt und welche Zielgrößen werden beeinflusst?

Die Strukturierung der Technologie bzw. der Reife der IKT-Integration baut hierbei auf den Evolutionsstufen eines Stufenmodells auf. Die Einordnung der Good-Practice-Beispiele erfolgt zudem auf Basis der primär unterstützten bzw. optimierten Unternehmensprozesse unter Zuordnung in einer Unternehmenslandkarte. Der erzielte Nutzen und die Manipulation der unternehmerischen Zielgrößen werden in einem Nutzenmodell eingegliedert. Diese drei Dimensionen des Rahmenwerkes werden im Folgenden näher beleuchtet.

### 2.1. EFA 4.0-Stufenmodell

Wegbereiter der Industrie 4.0 Vision bilden „cyber-physische Systeme“ (CPS). Diese Begrifflichkeit wird in Deutschland insbesondere durch die „agendaCPS“ geprägt.<sup>15</sup> Demnach umfassen CPS eingebettete Systeme, die<sup>16</sup>

- „mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken,
- Daten auswerten und speichern sowie auf dieser Grundlage aktiv oder reaktiv mit der physikalischen und der digitalen Welt interagieren,
- mittels digitaler Netze untereinander verbunden sind, und zwar sowohl drahtlos als auch drahtgebunden, sowohl lokal als auch global,
- weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen,
- über eine Reihe multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen, also für Kommunikation und Steuerung differenzierte und dedizierte Möglichkeiten bereitstellen, zum Beispiel Sprache und Gesten.“

Die Fähigkeiten von CPS übersteigen somit die ursprünglich nicht vernetzten, lokal agierenden Embedded Systems und können durch deren Zusammenschluss für eine begrenzte Zeit ein sogenanntes „System of Systems“ bilden, welches sich insbesondere durch eine Selbstkonfiguration auszeichnet.<sup>17</sup> Im Kontext der Produktion entstehen hierdurch „cyber-physische Produktionssysteme“ (kurz CPPS) und somit eine intelligente Fabrik. Mögliche Ausprägungen einer solchen visionären Fabrik äußern sich in zu fertigenden Produkten, welche jederzeit identifizierbar und lokalisierbar sind und alle zur Herstellung notwendigen Informationen mit sich tragen. Durch diese Informationen können Produktionsressourcen flexibel,

---

<sup>15</sup> Vgl. Fachausschuss 7.20 „Cyber-Physical Systems“ 2013

<sup>16</sup> Broy und Geisberger 2012

<sup>17</sup> Vgl. Broy und Geisberger 2012

autonom und unter Berücksichtigung der gesamten Wertschöpfungskette und Unternehmensziele Entscheidungen treffen. Der Mensch wird hierbei von Routinetätigkeiten entlastet und als Überwacher und interdisziplinärer Entscheider auch weiterhin in der Produktion fungieren.<sup>18</sup> Die Realisierung der genannten Vision wird einen Prozess über die nächsten Jahrzehnte darstellen, indem die Entwicklung der Systeme evolutionär und somit sukzessive voranschreiten wird. Mit dem „EFA 4.0-Stufenmodell“ werden verschiedene Evolutionsstufen aufgezeigt. Dieses Stufenmodell stellt keine Bewertung der einzelnen Lösungen dar, sondern eine technische Kategorisierung der Industrie 4.0-Lösungen. Diese erfolgt anhand von CPS-Merkmalen, welche aus dem aktuellen Stand der Literatur abgeleitet sind. Für eine umfassende Bewertung der jeweiligen Lösung ist zusätzlich eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchzuführen, da nicht für jedes Anwendungsgebiet eine CPS-Lösung mit höchstem Reifegrad notwendig ist.

Abbildung 7 zeigt die erarbeiteten Merkmale und deren Evolutionsstufen. Die Evolutionsstufen starten hierbei jeweils mit Stufe 0. Ab Stufe 1, der Grundstufe, wird das beschriebene Merkmal in einfachster Form verwendet. Diese definierten Merkmale beziehen sich dabei auf die betrachteten Systeme und sind so allgemein formuliert, dass sowohl physische als auch virtuelle Merkmale aufgenommen werden können. Im Anschluss an die Grafik werden die Merkmale erläutert.

Merkmale	Evolutionsstufen			
	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
<b>Lokalisierbarkeit</b>	Lokalisation digital nicht möglich	Diskrete Lokalisation	Kontinuierliche Lokalisation	
<b>Maschine-Maschine-Kommunikationsfähigkeit</b>	Kein direkter digitaler Datenaustausch möglich	Passiver Verbindungsaufbau	Aktiver Verbindungsaufbau und unidirektionaler Datenaustausch	Aktiver Verbindungsaufbau und bidirektionaler Datenaustausch
<b>Neue Formen der Mensch-Maschine-Kommunikation</b>	Keine digitale Mitarbeiterunterstützung	Mechanische Eingabe- und Ausgabegeräte	Vereinzelte Technologien von Gesten- oder Sprachsteuerung, Augmented Reality	Kombination verschiedener Technologien mit personenbezogener Aufbereitung der Daten
<b>Standardisierung</b>	Keine Standards vorhanden	Herstellerspezifische Standards	Herstellerübergreifender bzw. normierter Standard	
<b>Datenverarbeitungsfähigkeit</b>	Reine Datenspeicherung	Manuelle Datenmanipulation	Automatische aber fixe Datenmanipulation	Selbstoptimierende Datenmanipulation
<b>Datenverfügbarkeit</b>	Keine Daten vorhanden	Einfache Daten zur Identifizierung vorhanden	Produktions- und Auftragsdaten direkt mit Produkt verknüpft	Komplette Lebenszyklusdaten direkt mit Produkt verknüpft
<b>Vernetzung</b>	Objekt nicht vernetzt	Nahfelddirektverbindung	Werk-/Standortintern	Standortübergreifend
<b>Physische Interaktionsfähigkeit</b>	Objekt stationär und aktiv	Objekt ist mobil, auf Unterstützung angewiesen	Objekt ist mobil, kann eigenständig agieren	

Abbildung 7: Das EFA 4.0-Stufenmodell

### Lokalisierbarkeit

In der Vision von Industrie 4.0 verschmelzen die virtuelle und die reale Welt. Hierdurch entsteht die Möglichkeit eines virtuellen Abbilds der Produktion. Eine Voraussetzung für ein solches Abbild ist eine durchgängige Identifizierbarkeit und Lokalisierbarkeit der Produkte und Betriebsmittel.<sup>19</sup> Hierbei setzt eine Lokalisation bereits die Möglichkeit einer Identifizierung voraus. Stufe 0 bildet dabei eine manuelle Lokalisierung. Werden Objekte beispielsweise mit Papier und Stift beschriftet ist in den meisten Fällen ein Sichtkontakt des Arbeiters mit dem Objekt zur Lokalisierung notwendig. Die Grundstufe bildet eine

<sup>18</sup> Vgl. Wegener 2014

<sup>19</sup> Vgl. Kagermann et al. 2013

---

diskrete digitale Lokalisierung, bei der die Ortung über einzelne Lesegeräte erfolgt und durch die Reichweite des jeweiligen Lesegerätes beschränkt ist. Hierzu ist eine eindeutige Beschriftung zum Beispiel mittels Bar- oder QR-Codes oder mittels einer RFID-Technologie notwendig. In der letzten Ausbaustufe ist das Objekt durchgängig lokalisierbar und es entsteht ein echtzeitfähiges virtuelles Abbild. Die Echtzeitfähigkeit muss hierbei dem Anwendungsfall entsprechend definiert werden. Die durchgängige Lokalisierung ist beispielsweise durch eine GPS-Ortung realisierbar.

### **Maschine-Maschine-Kommunikationsfähigkeit**

In der Fabrik der Zukunft bestimmt das Produkt seinen Weg durch die Produktion. Hierzu ist eine Kommunikation zwischen den Systemen erforderlich. Der Verband deutscher Ingenieure hat hierzu bereits Einstufungen der Kommunikationsfähigkeit vorgenommen. In Anlehnung hieran wird im Folgenden die Kommunikationsfähigkeit skizziert.<sup>20</sup> In Stufe 0 ist das Objekt nicht kommunikationsfähig, das heißt es kann nicht mit anderen Objekten der Produktion in Verbindung treten, da keine Schnittstelle vorhanden ist. Die nächste Stufe stellt die passive Kommunikationsfähigkeit dar. Bei dieser ist das Objekt selbst passiv, zum Beispiel ein passiver RFID-Tag. Es kann über eine entsprechende Systemschnittstelle ausgelesen werden, wobei der Impuls jedoch nicht von dem Objekt selbst ausgeht. Demgegenüber liegt eine aktive Kommunikationsfähigkeit vor, wenn die jeweilige Komponente von sich aus im Netzwerk teilnimmt. Hierbei kann zwischen einem unidirektionalen und einem bidirektionalem Datenaustausch unterschieden werden. Während ein Buchscanner beispielsweise aktiv Daten in ein Netzwerk senden kann, ist der Datenfluss lediglich vom Scanner in Richtung des Netzwerks. Eine aktive Komponente mit bidirektionaler Anbindung kann z.B. durch ein Tablet ausgedrückt werden. Dieses ist in der Lage aktiv Daten zu empfangen und zu versenden.

### **Neue Formen der Mensch-Maschine-Kommunikation**

Es wird erwartet, dass die intelligenten Systeme der vierten industriellen Revolution in der Lage sind situationsabhängig Informationen zur Aufgabenerfüllung an den Menschen zu übermitteln und zu empfangen.<sup>21</sup> Bei den heutigen traditionellen industriellen Benutzerschnittstellen wird dem System in der Regel mittels mechanischer Eingaben, z.B. über eine Tastatur, ein Befehl übermittelt, während die Rückmeldung des Systems visuell, z.B. über einen Bildschirm erfolgt.<sup>22</sup> Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 werden nun eine Reihe von Technologien diskutiert, die teilweise schon im Consumer-Bereich eingesetzt werden. Hierfür können Gesten- oder Sprachsteuerungen oder auch Augmented-Reality-Technologien zum Einsatz kommen. Eine Kombination dieser Technologien mit der Weitergabe personenspezifischer Daten wird in dieser Studie als höchste Ausbaustufe der Mensch-Maschinen-Kommunikation angesehen.

### **Standardisierung**

Das Zusammenwirken von mehreren Komponenten in der Produktion erfordert die Einführung von standardisierten Schnittstellen.<sup>23</sup> Insbesondere für den horizontalen Datenaustausch entlang der Wertschöpfungskette und für den vertikalen Datenaustausch über die verschiedenen Unternehmenshierarchieebenen sind entsprechende Schnittstellen und semantisch beschriebene Daten eine Voraussetzung.<sup>24</sup> Aufgrund der Breite an Standardisierungsbereichen wird hier ein allgemeiner Ansatz zur Bestimmung der Standardisierung gewählt. Als Grundstufe sind herstellereigene Standards zu sehen. Insbesondere im Maschinen- und Anlagenbau verwenden die Hersteller eigene Standards für z.B. die Kommunikation ihrer Komponenten. Diese Lösungen sind jeweils herstellereigentlich durchgängig aber können nicht ohne Aufwand herstellerübergreifend agieren. Als Beispiel für einen herstellübergreifenden Standard kann das Maschinenprotokoll OPC-UA genannt werden. Die OPC Foundation hat hiermit einen übergreifenden Standard im Bereich der vertikalen Kommunikation entwickelt, der über alle Ebenen der Automatisierungspyramide für nicht-echtzeitkritische Anwendungen anzutreffen ist.<sup>25</sup>

---

<sup>20</sup> Vgl. VDI/VDE-GMA-Fachausschuss „Industrie 4.0“ 2014

<sup>21</sup> Vgl. Schlick et al. 2014

<sup>22</sup> Vgl. Gorecky et al. 2014

<sup>23</sup> Vgl. Bürger und Tragl 2014

<sup>24</sup> Vgl. Kagermann et al. 2013

<sup>25</sup> Vgl. Hoppe 2014

---

## Datenverarbeitungsfähigkeit

Unter Datenverarbeitungsfähigkeit wird die Auswertung gesammelter Daten und die Gewinnung relevanter Informationen verstanden.<sup>26</sup> Durch zahlreiche Sensoren werden in Zukunft große Datenmengen gesammelt, diese können direkt ausgewertet oder zumindest gespeichert werden.<sup>27</sup> Insbesondere die Fähigkeit zur semantischen Aufbereitung ist von entscheidender Bedeutung, damit das System mit der Umgebung interagieren kann. Das vorhandene Wissen von Mitarbeitern gilt es zu formalisieren und mit weiteren Diensten zu verknüpfen. In der Grundstufe können Daten manuell manipuliert werden. Eine höhere Evolutionsstufe ist eine automatische Datenmanipulation durch fix vorgegebene Strukturen. Am Beispiel Microsoft Excel kann eine VBA-Programmierung als eine solche Evolutionsstufe gesehen werden mit welcher Daten automatisch nach vorgegebenem Algorithmus verarbeitet werden können. In der letzten Stufe ist das System in der Lage, Handlungsempfehlungen aus den gegebenen Daten abzuleiten bzw. selbstständig zu lernen und damit den eigenen Algorithmus zu optimieren.

## Datenverfügbarkeit

Voraussetzung autonomer Prozesse ist das Vorhandensein von dezentralisiertem Wissen. In der Grundstufe sind lediglich Daten für eine Identifizierung vorhanden. So ist es beispielsweise möglich über die Seriennummer eine Identifizierung des Objektes vorzunehmen. Eine höhere Evolutionsstufe stellt die Möglichkeit dar, direkt über das Produkt bzw. Betriebsmittel erweiterte Informationen wie zum Beispiel Produktions- und Auftragsdaten zu erhalten. Die Endausbaustufe ist die unternehmensübergreifende Verfügbarkeit von Daten des gesamten Produktlebenszyklus. So können zum Beispiel Informationen über Design, Produktion und Gebrauch für ein fachgerechtes Recycling des Produktes am Ende des Lebenszyklus helfen. Die Endausbaustufe kann als ein digitales Bauteildatenmodell gesehen werden.

## Vernetzung

Voraussetzung einer intelligenten Umgebung ist ebenso die Vernetzung der Datenflüsse, sodass im Idealfall die Prozesse global mit entsprechenden Stakeholdern im Sinne der Unternehmensziele abgestimmt werden. In der Grundstufe sind die Objekte nur im Nahfeld direkt miteinander verbunden. Die Vernetzung kann beispielsweise mittels Bluetooth erfolgen. Eine weitere Stufe ist eine standortinterne Netzwerkfähigkeit. Die Endausbaustufe ist eine Vernetzung über die Unternehmensgrenze hinaus, zum Beispiel weltweit mit weiteren Produktionsstandorten oder auch mit Lieferanten und Kunden.

## Physische Interaktionsfähigkeit

Die Mobilität der Produktionsressourcen ist mitbestimmend für die Interaktionsfähigkeit der Produktionssysteme. Insbesondere in der innerbetrieblichen Logistik haben sich mobile Transportsysteme entwickelt, die eigenständig Aufgaben wahrnehmen und sich frei in der Fabrik bewegen können. Die Grundstufe ist ein stationäres System, welches aktiv Aufgaben durchführt, dies kann zum Beispiel eine Werkzeugmaschine sein. Ein mobiles System kann als eine höhere Entwicklungsstufe gesehen und im Grad der Selbständigkeit unterschieden werden. Als eine Endausbaustufe könnte ein Roboterarm mit mobilem Transportsystem zur Mensch-Roboter-Kollaboration beschrieben werden, der selbstständig und interaktiv mit dem Mensch agiert.

## 2.2. EFA 4.0-Unternehmenslandkarte

Zur funktionalen Einordnung der gefundenen Good-Practice-Beispiele wird eine Unternehmenslandkarte verwendet. Eine solche Unternehmenslandkarte hat zum Ziel die Prozessarchitektur eines Unternehmens übersichtlich darzustellen. Durch das Eintragen der gefundenen Good-Practice-Lösungen bietet dies die Möglichkeit Bereiche abzuleiten, in welchen Industrie 4.0 bereits Einzug gefunden hat und in welchen noch Nachholbedarf besteht. Für eine solche Einteilung wird die in Abbildung 8 entwickelte Unternehmenslandkarte verwendet. In Anlehnung an das neue St. Galler Management-Modell werden die Unternehmensprozesse in Führungs-, Kern- und Unterstützungsprozesse aufgeteilt.<sup>28</sup>

---

<sup>26</sup> Vgl. Jentsch et al. 2013

<sup>27</sup> Vgl. Broy und Geisberger 2012

<sup>28</sup> Vgl. Rüegg-Stürm 2005

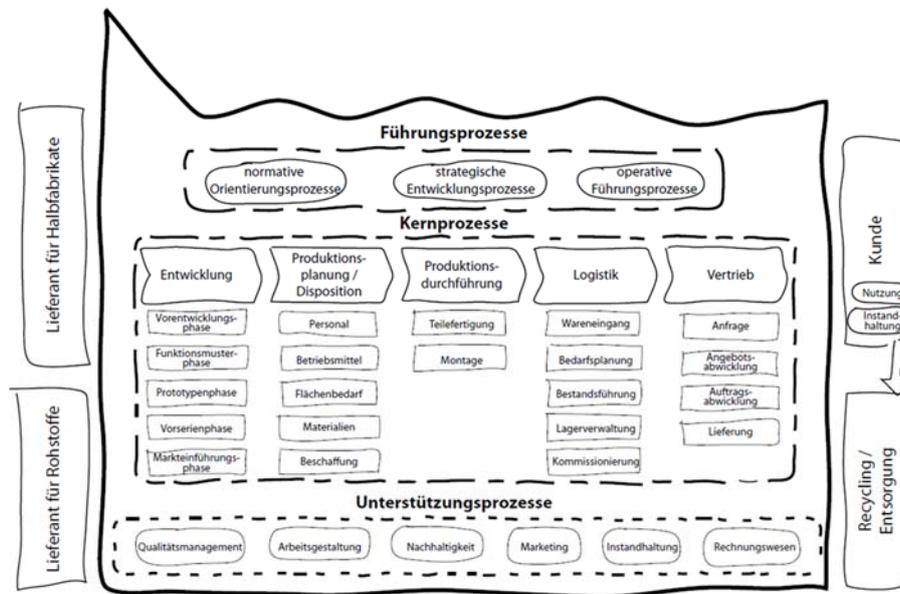


Abbildung 8: EFA 4.0-Unternehmenslandkarte

Im Zentrum der Ablauforganisation stehen dabei die Kernprozesse, die sich unmittelbar aus den Kernkompetenzen eines Unternehmens ableiten. Sie zeichnen sich primär durch einen direkten Kundennutzen und einen messbaren Beitrag zur Wertschöpfung des Unternehmens aus und sind damit besonders erfolgskritisch. In Anlehnung an die chronologischen unternehmensinternen Abläufe sind die Kernprozesse in entsprechender Reihenfolge von links nach rechts angeordnet und umfassen die Entwicklung, die Produktionsplanung und -durchführung, die Logistik sowie den Vertrieb. Alle diese an der Wertschöpfung des Unternehmens direkt beteiligten Prozesse sind zudem in ihre zugehörigen Teilprozesse aufgegliedert. Der Bereich Entwicklung ist in die verschiedenen Phasen der Entwicklung, bestehend aus Vorentwicklungsphase, Funktionsmusterphase, Prototypenphase, Vorserienphase und Markteinführungsphase unterteilt. Dem Prozess der Produktionsplanung bzw. Disposition unterstehen die Teilbereiche Personal, Betriebsmittel, Flächenbedarf, Materialien und Beschaffung. Teilfertigung und Montage sind Teilprozesse der Produktionsdurchführung. Des Weiteren lässt sich die Logistik in den Wareneingang, die Bedarfsplanung, die Bestandsführung, die Lagerverwaltung und die Kommissionierung aufteilen. Den letzten Kernprozess stellt der Vertrieb dar und wird in die Teilprozesse Anfrage, Angebotsentwicklung, Auftragsabwicklung und Lieferung unterteilt.

Den Kernprozessen übergeordnet sind die Management- bzw. Führungsprozesse, welche sich nach dem neuen St. Galler Managementmodell in normative Orientierungsprozesse (normativer Handlungsrahmen in Form von z.B. Verhaltensprinzipien gegenüber bestimmter Interessensgruppen), strategische Entwicklungsprozesse (langfristige Zukunftssicherung einer Unternehmung durch marktgerichtete Handlungsorientierung) und operative Führungsprozesse (Mitarbeiterführung, finanzielle Führung und Controlling) kategorisieren lassen.

Des Weiteren sind unterhalb der wertschöpfenden Prozesse die Unterstützungsprozesse aufgeführt, deren Aufgabe die Sicherstellung der Betriebsbereitschaft von Management- und Kernprozessen darstellt. Diese werden durch die Bereiche Qualitätsmanagement, Arbeitsgestaltung, Nachhaltigkeit, Marketing, Instandhaltung und Rechnungswesen dargestellt. Schließlich lassen sich noch vier externe Anspruchsgruppen, die alle internen Prozesse beeinflussen und mit ihnen in Verbindung stehen, identifizieren. Dazu zählen Lieferanten von Rohstoffen und Halbfabrikaten, Kunden bzw. Anwender und der Bereich Recycling bzw. Entsorgung.

### 2.3. EFA 4.0-Nutzenmodell

Um Aussagen über den Nutzen der analysierten Good-Practice-Beispiele treffen zu können, wird ein Nutzenmodell für eine objektive Einordnung verwendet. Dieses Nutzenmodell baut auf den in Abbildung 9 dargestellten Zusammenhängen zwischen Herausforderungen, Zielgrößen und Hebeln aus Sicht von

Unternehmen auf. Erste Lösungsstrategien im Kontext von Industrie 4.0 stellen die im späteren Verlauf vorgestellten Good-Practice-Beispiele dar. Zur Identifizierung des jeweiligen Nutzens dient die Einordnung der Lösungen in das in Abbildung 9 gezeigte Nutzenmodell. Ziel des Nutzenmodells ist es darzustellen, welche Hebel in Form einer Verbesserung der jeweiligen Effizienz durch das Good-Practice-Beispiel betätigt werden und welche Zielgrößen hierdurch positiv beeinflusst werden. Hierzu werden prozentuale Angaben in die Tabelle der Grafik eingetragen. Diese stellen dar, welche Hebel und in welchem Umfang zur Verbesserung der unternehmerischen Zielgrößen beitragen. Grundlegend für das Verständnis und die Einordnung der analysierten Lösungen dieser Darstellung ist die Definition der einzelnen Hebel und Zielgrößen. Diese sollen nachstehend erläutert werden.

Im Allgemeinen wird unter der Effizienz das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand verstanden und im Sinne der Wirtschaftlichkeit das Verhältnis von Ertrag zu Aufwand.

Die **Investitionseffizienz** beschreibt das Verhältnis des Barwerts von zusätzlichen Zahlungsbereitschaften zum Barwert der Kosten. Somit dient das Verhältnis als Entscheidungskriterium über Erweiterungsinvestitionen. Übersteigt der Barwert der zusätzlichen Zahlungsbereitschaften den Barwert der Kosten, so wird eine Erweiterungsinvestition befürwortet.

Die **Personaleffizienz** beschreibt die Effizienz des Personals eines Unternehmens. Dabei wird die Effizienz mit Hilfe der erbrachten Leistungen der Mitarbeiterschaft ins Verhältnis mit den durch sie entstehenden Kosten gebracht ( $\text{Personaleffizienz} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Personalaufwand}}$ ). Je höher der wirtschaftliche Ertrag bei gleichbleibendem Personalkosten, desto effizienter die Arbeitsweise und größer das Personalpotential.

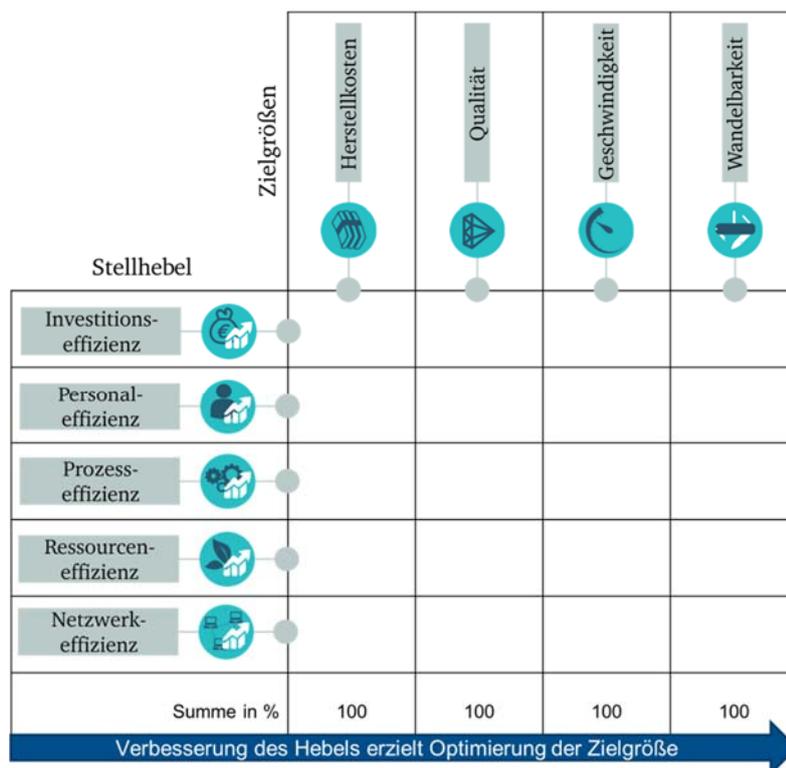


Abbildung 9: EFA 4.0-Nutzenmodell

Die **Prozesseffizienz** beschreibt den Grad der möglichst optimalen Prozessgestaltung in Hinblick auf bedarfsgerechte Ressourcenbereitstellung und -nutzung. Ziel ist es, mit einer Prozessoptimierung das Verhältnis von Ertrag zu Aufwand möglichst optimal auszunutzen. Möglichkeiten zur Steigerung der Prozesseffizienz sind Minimierungen der Materialhandhabung, der notwendigen Materialentfernungen oder der Mitarbeiterbelastung bei gleichzeitiger maximaler Auslastung des Prozesses und maximaler Flexibilität mit Rücksicht auf eine Optimierung des Prozessflusses.

---

Die **Ressourceneffizienz** beschreibt das Verhältnis von Nutzen eines Gutes oder einer Dienstleistung zum dafür aufgewendeten und erforderlichen Einsatz an natürlichen Ressourcen. Allgemein gilt, je geringer der notwendige Einsatz der natürlichen Ressourcen, desto ressourcenschonender das Produkt und desto ressourceneffizienter. Mit der Ressourceneffizienz gehen auch wichtige Aspekte der Nachhaltigkeit und der Vermeidung von Umweltbelastungen einher. Mit einer hohen Ressourceneffizienz kann eine dauerhafte hohe Lebensqualität gesichert werden.<sup>29</sup>

Unter **Netzwerkeffizienz** versteht man den Ausbau von Netzwerken eines Unternehmens mit dem Ziel, eigene Effizienzen zu steigern. Netzwerke dienen der Innovation, dem Wissensaustausch oder auch dem Güteraustausch.

Die in Abbildung 9 dargestellten unternehmerischen Zielgrößen sind wie folgt definiert.

Die **Herstellkosten** umfassen alle Kosten und Aufwendungen die bezüglich der Herstellung eines Produktes anfallen und dienen als Maßstab für die Bewertung von Wirtschaftsgütern.

Die **Qualität** beschreibt die Güte eines Objektes, Systems oder Prozesses und kann sich dabei auf die Beschaffenheit, den Zustand, charakteristische Eigenschaften oder auch die Verarbeitung und das Material beziehen.

Die **Geschwindigkeit** gibt die durchschnittliche gefertigte Ausbringungsmenge pro Zeiteinheit oder die Dauer eines Dienstleistungsauftrages an. Beispiele für die Verbesserung der Geschwindigkeit können die Verkürzung von Durchlaufzeiten oder die Minimierung von Standzeiten sein.

Die **Wandelbarkeit** beschreibt die Möglichkeit der Veränderung innerhalb vorgegebener Rahmenbedingungen. Dabei zeichnet sich die Wandelbarkeit durch das Vermögen, auf ungeplante nicht vorhersehbare Ereignisse selbständig reagieren zu können, aus.<sup>30</sup>

---

### 3. Auswertung der Experteninterviews und Analyse

---

In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse der Expertenbefragungen aufgegriffen und die Analyse dieser untersuchten Good-Practice-Beispiele dargestellt.

#### 3.1. Allgemeines Verständnis von Industrie 4.0

Dass Industrie 4.0 bereits in den Unternehmen Einzug gefunden hat, zeigen die innerhalb dieser Studie gefundenen Good-Practice-Beispiele. Industrie 4.0 kann nach Meinung der befragten Experten als eine Initiative aufgefasst werden, welche die unterschiedlichsten Einrichtungen, Fachverbände und Unternehmen miteinander in Kontakt treten lassen.

Industrie 4.0 wird in der öffentlichen Diskussion auch gelegentlich als Hype bezeichnet. Eine solche Aussage kann mit den Ergebnissen dieser Studie nicht bestätigt werden. Die Unternehmen attestieren Industrie 4.0 ein reales Potential zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. Die aktuelle Diskussion stellt eine Art Impulsgeber für die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien in bestehende Produktionssysteme dar. Schon mit einfachen Lösungen können, nach Meinung der Experten, enorme Effizienzsteigerungen insbesondere bei kleinen und mittelständischen Unternehmen realisiert werden.

Dennoch herrscht bei Unternehmen bezüglich der Begrifflichkeit „Industrie 4.0“ und bei Schlagwörtern wie „cyber-physisches System“ noch ein Informationsdefizit bzw. eine gewisse Skepsis. Zur Konkretisierung solcher Schlagwörter und Fragestellungen müssen nach Meinung der Experten weitere Forschungsergebnisse sowie Anwendungsfelder in die Praxis umgesetzt werden. Ebenso müssen die Wegbereiter zur Vision Industrie 4.0 stärker betrachtet und zielorientierend verfolgt werden. Bereits die Diskussion über Industrie 4.0 führt zu einer Auseinandersetzung der Unternehmen mit den Herausforderungen der Zukunft und somit zu einer Überprüfung der Unternehmensstrategie. Industrie 4.0 ermöglicht den Zugang zu neuen Geschäftsmodellen und somit zu neuen Märkten.

Unabhängig davon, wie man der Diskussion über die Vision Industrie 4.0 gegenübersteht, nach dem Zitat eines Interviewpartners besteht „kein Grund damit nicht anzufangen“. Die innerhalb dieser Studie

---

<sup>29</sup> Vgl. BMUB 2015

<sup>30</sup> Vgl. Günthner 2002

veröffentlichten Good-Practice-Beispiele geben viele Ansatzpunkte, um teilweise mit einfachen Mitteln Effizienzen zu steigern.

## Die Deutsche Industrie, insbesondere die hessische Industrie, sieht großen Nutzen und riesige Chancen durch Industrie 4.0.



Das allgemeine Verständnis von Industrie 4.0 ist sehr stark von den jeweiligen Interviewpartnern abhängig. Ausrüster und Anwenderunternehmen haben bezüglich Industrie 4.0, entsprechend ihrer Anwendungsfälle, unterschiedliche Vorstellungen. Aus der Vielzahl der Antworten konnten dennoch gemeinsame Aspekte herausgearbeitet werden, welche im Folgenden aufgeführt sind. Auffällig bei den Antworten der Interviewpartner ist der anfängliche Fokus auf die Technologien. Zur Abkehr von einer solchen technologieorientierten Sichtweise muss der Nutzen von Industrie 4.0 noch stärker fokussiert und in praktischen Anwendungsfeldern aufgezeigt werden.

### Allgemeines Verständnis Industrie 4.0

In der Fabrik der Zukunft können die Produktionsprozesse von den Bauteilen ausgehend gesteuert werden, das heißt die Bauteile werden als Informationsträger eingesetzt und mit Informationen, zum Beispiel über ihren Fertigungsablauf, ausgestattet. Die Intelligenz des Bauteils kann hierbei „onboard“ oder „offboard“ realisiert werden. Entweder ist die Intelligenz im Bauteil integriert oder sie wird durch eine Kennzeichnung auf dem Bauteil mit diesem verknüpft. Durch die Kommunikation mit Produktionsressourcen können optimale und flexible Prozesse gewährleistet werden. Die hierfür notwendige Produktidentifizierung und Informationsübermittlung kann zum Beispiel mittels RFID-Technologie ermöglicht werden. Für einen solchen zunehmend autonomen und dezentralen Informationsaustausch sind intelligente Sensoren und das Internet der Dinge und Dienste von besonderer Bedeutung. Die Lokalisierung und Identifizierung erfolgt mit IPv6-Adressen versehenen Objekten. Intelligente bzw. integrierte Sensorik vereinen neben der Messgrößenerfassung auch die Signalaufbereitung und Signalverarbeitung. Ebenso unterscheiden sich diese von aktueller Sensorik unter anderem durch die zusätzliche Erfassung möglicher Störgrößen über sekundäre Sensoren. Durch entsprechende Algorithmen kann somit ein optimiertes störungsfreies Signal generiert werden.

Anhand einer solchen echtzeitnahen Datenverfügbarkeit kann eine Verschmelzung der realen und der virtuellen Welt und ein permanent aktualisiertes Abbild der Wertschöpfungskette geschaffen werden. Wertschöpfungsnetzwerke lassen sich somit in Echtzeit steuern und überwachen. Komplexe Produktionsumgebungen können durch Dezentralität und Autonomie abgeschwächt werden. Zwar werden Kernaspekte weiterhin auf der Unternehmensleitebene behandelt, allerdings können mehr Entscheidungen durch intelligente Objekte auf Steuerungs- bzw. Feldebene getroffen werden. Der Umgang mit den neu entstehenden Daten kennzeichnet sich durch ein „einheitliches Datenmanagement“ und der Transformation von „Big Data“ zu „Smart Data“. Dies ermöglicht eine medienbruchfreie Vernetzung von Daten in horizontaler und vertikaler Richtung, auch über Unternehmensgrenzen hinweg. Unter horizontaler Vernetzung ist dabei die Verknüpfung aller Prozessschritte der Produktion sowohl unternehmensintern als auch -extern zu verstehen. Vertikale Vernetzung bezieht sich dagegen auf die unterschiedlichen Hierarchieebenen der Produktion (Feldebene bis Unternehmensleitebene). Für die Kommunikation aller am Produktionssystem beteiligter Betriebsmittel und Akteure werden standardisierte Schnittstellen eingesetzt. Auf diese Art kann ein homogener Informationsaustausch zwischen Produktionselementen und -modulen gewährleistet und Interoperabilität aller Komponenten untereinander erzeugt werden. Ebenso kann hierdurch „Plug&Produce“ realisiert werden, das heißt eine Selbstkonfiguration der Produktionsanlage für die teilautomatisierte Einbindung eines Moduls mit möglichst geringem Aufwand. Des Weiteren können die Daten rollenspezifisch aufbereitet, entsprechend der Akteure in einer Produktion, und interaktiv auf mobilen Endgeräten dargestellt werden. Die Menschen können von Routinetätigkeiten entlastet werden und treffen interdisziplinäre Entscheidungen. Im Kontext auftretender Konflikte zwischen vernetzten Objekten kann der Mensch weiterhin operativ eingreifen.

## Handlungsfelder auf dem Weg zur Fabrik der Zukunft

Im Folgenden werden die von den Interviewpartnern erwarteten konkreten Handlungsfelder der Unternehmen auf dem Weg zur Fabrik der Zukunft vorgestellt. Die Handlungsfelder lassen sich in technische und organisatorische Handlungsfelder unterscheiden. Technische Handlungsfelder sind im weitesten Sinne physisch umsetzbar, während organisatorische Handlungsfelder eher Handlungsanweisungen, Verfahrens- oder Vorgehensweisen umfassen. Abbildung 10 zeigt übersichtlich die aus der Studie herausgearbeiteten erwarteten technischen Handlungsfelder für die Unternehmen.



Abbildung 10: Von den Interviewpartnern erwartete technische Handlungsfelder auf dem Weg zur Fabrik der Zukunft

**Voraussetzungen für Vision Industrie 4.0 müssen in den Unternehmen erst noch geschaffen werden. Verstärkte Forschung basierend auf „Brownfield“-Ansätzen notwendig.**



Bei den technischen Handlungsfeldern kann zwischen denen von Unternehmen (praktische Perspektive) und wissenschaftlichen Einrichtungen (wissenschaftliche Perspektive) unterschieden werden. Die Unternehmenspraxis setzt zum einen in der Digitalisierung der Prozesse an und steht vor Fragestellungen des Erfassens, Auswertens und Weiterleitens von Daten. Wie können Daten, insbesondere von alten Produktionssystemen, digitalisiert werden? Wie können diese Daten ausgewertet werden? Welche Möglichkeiten bestehen, Daten sicher, stabil und individuell zu übertragen? Wie können Produkte „personalisiert“ werden? Wie kann eine wertstromorientierte Produktionsgestaltung realisiert werden? Hierbei sind vor allem auch Fragestellungen zur Standardisierung bzw. zur semantischen Beschreibung von Daten zu klären. Während Cloudlösungen in den Unternehmen bislang nahezu keine Präsenz haben, gibt es hierzu bereits Ansätze in der Wissenschaft. Zudem werden auf der wissenschaftlichen Seite Möglichkeiten zur Selbstoptimierung wandelbarer dezentraler Produktionssysteme fokussiert.

Organisatorische Handlungsfelder sehen Unternehmen insbesondere in der Arbeitsorganisation, siehe Abbildung 11. Die Handlungsfelder können hierbei in normativ, strategisch und operativ unterschieden werden, siehe hierzu auch die EFA-4.0 Unternehmenslandkarte (Kapitel 5.3).

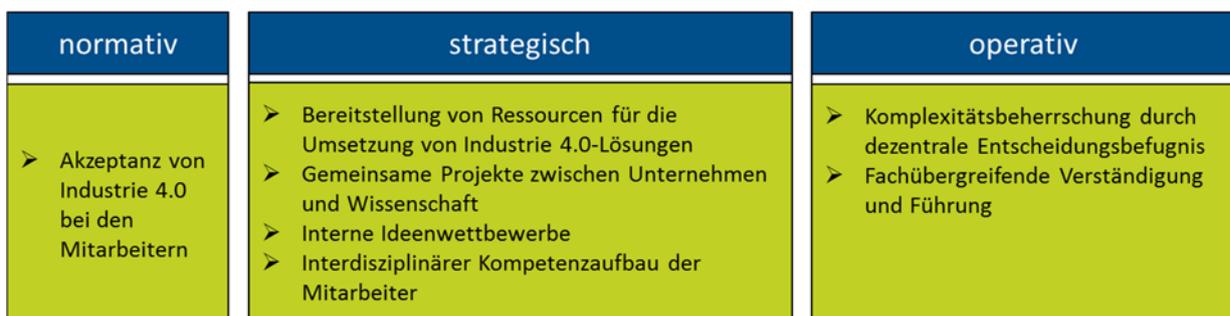


Abbildung 11: Von den Interviewpartnern erwartete organisatorische Handlungsfelder auf dem Weg zur Fabrik der Zukunft

Industrie 4.0-Lösungen bedingen interdisziplinäre Themenstellungen und somit den Bedarf an fachübergreifender Verständigung und Führung. Es wird zukünftig ein interdisziplinäres Grundverständnis von den Mitarbeitern gefordert. Hiervon sind sowohl der Werker im Werkstattbereich als auch die Mitarbeiter auf der Führungsebene betroffen. Die Kommunikation zwischen verschiedenen Fachabteilungen kann auf Grund des unterschiedlichen Problemverständnisses von Ingenieuren und IT-Experten zu Problemen führen. Hierfür sind sowohl effiziente Kommunikationswerkzeuge erforderlich als auch die entsprechende Infrastruktur im Unternehmensumfeld. Ein weiteres Handlungsfeld ist das Aufbringen unternehmensinterner Ressourcen für die Bearbeitung von Industrie 4.0-Lösungen. Hierfür müssen entsprechende Sachmittel, entsprechendes Personal und die notwendigen Anreize für die Unternehmen bereitgestellt werden. Zudem ist die Sensibilisierung der Mitarbeiter für Informations- und Kommunikationstechnologien ein weiteres Handlungsfeld. Mitarbeiter dürfen den Einsatz solcher Technologien nicht als Kontrolle empfinden und müssen sich von ihrer gewohnten Arbeitsweise abkehren. Die Aufbereitung von Daten für die jeweiligen Anspruchsgruppen stellt eine weitere organisatorische Herausforderung dar. Zur Generierung von Ideen für Industrie 4.0-Lösungen führen die befragten Unternehmen sowohl interne Ideenwettbewerbe als auch Verbundprojekte durch. Die bereits in Verbund- und Forschungsprojekten erarbeiteten Lösungen zu den technischen sowie organisatorischen Handlungsfeldern gilt es in die industrielle Praxis zur Verbesserung der unternehmerischen Zielgrößen zu übertragen.

**Es besteht dringlicher Handlungsbedarf Forschungsergebnisse in die Praxis umzusetzen.**



### Treiber zur Einführung von Industrie 4.0-Lösungen und erwarteter Nutzen

Neben diesen Wegbereitern und Herausforderungen bezüglich Industrie 4.0 sollen im Folgenden die Treiber zur Einführung von Industrie 4.0-Lösungen genannt werden. Das heißt, welchen strategischen und operativen Nutzen versprechen sich die Unternehmen hiervon? Hierzu wurde zunächst abgefragt, inwiefern Industrie 4.0 zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, ausgedrückt in typischen Unternehmenskennzahlen, beiträgt. Abbildung 12 zeigt die durchschnittlichen Erfolgsfaktoren der Unternehmen und die erwarteten bewerteten Nutzenpotentiale von Industrie 4.0 bezogen auf die jeweilige Kennzahl.

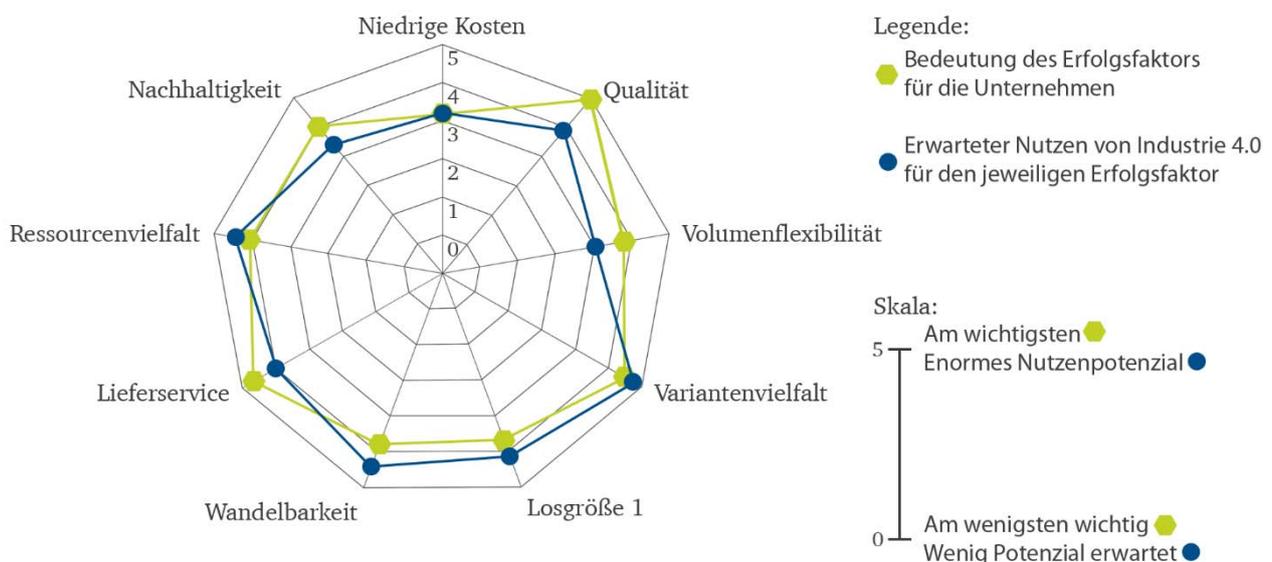


Abbildung 12: Erwarteter Nutzen von Industrie 4.0 für die Unternehmensstrategie

Die hellgrüne Linie zeigt die von den Interviewpartnern bewerteten Unternehmenskennzahlen. Die blaue Linie stellt das von den Experten erwartete Nutzenpotential von Industrie 4.0 bezogen auf die jeweilige Kennzahl dar. Daraus ist ersichtlich, welche Chance die Experten in Industrie 4.0 für die Unternehmen

sehen. Bei allen abgefragten Unternehmenskennzahlen wird erwartet, dass Industrie 4.0 zu einer Verbesserung der jeweiligen Kennzahl führt. Im Bereich Qualität besteht der größte Bedarf, konkrete Potenziale von Industrie 4.0 zu erforschen bzw. praktisch umzusetzen. Im Folgenden wird auf Nutzenpotentiale weiter eingegangen. Bei der Frage, in welchen Unternehmensbereichen große Effizienzgewinne zu erzielen sind, werden insbesondere die Kernprozesse Produktionsplanung, -durchführung und die Logistik genannt. Bei den Unterstützungsprozessen werden vordergründig das Qualitätsmanagement, die Instandhaltung und die Arbeitsgestaltung thematisiert. Im späteren Verlauf der Studie wird sich zeigen, dass die gefundenen Good-Practice-Beispiele in genau diesen Bereichen ansetzen (siehe Kapitel 5.4).

Zu den bedeutendsten erwarteten Nutzeneffekten zählen Effizienzsteigerungen in Produktion und Logistik auf Basis transparenter und vernetzter Wertströme. Hierdurch können Ressourcen effizient und im Sinne des Gesamtprozesses eingesetzt werden. Durch dezentrale und automatisierte Anomalien- und Schadenserkennungen können Betriebsmittel, Prozesse und Produkte echtzeitfähig überwacht werden. Zudem führt die digitale Durchgängigkeit der Prozesse zu einer Erhöhung der Prozesssicherheit durch die Abkehr von einer papierorientierten Arbeitsweise, vor allem bei manuellen Arbeitsabläufen. Die angestrebte Vernetzung auch über Unternehmensgrenzen hinweg ist ein Schlüssel für die Berücksichtigung kundenspezifischer Kriterien in den Bereichen Design, Konfiguration, Bestellung etc. Die Rentabilität von Kleinstmengen und Einzelstücken kann durch die Nähe zum Kunden und wandelbare Produktionsprozesse erreicht werden. Weitere Nutzeneffekte werden insbesondere für den Faktor Mensch erwartet. Diese werden in einer verbesserten Arbeitsergonomie, einer rollenspezifische Datenaufbereitung, einer Entlastung von Routinetätigkeiten und einer gestiegenen Verantwortung gesehen. Abbildung 13 zeigt eine Ansammlung der von den Experten am häufigsten genannten Nutzenpotentiale, die entsprechend der verschiedenen Unternehmensbereiche aufgeteilt werden.

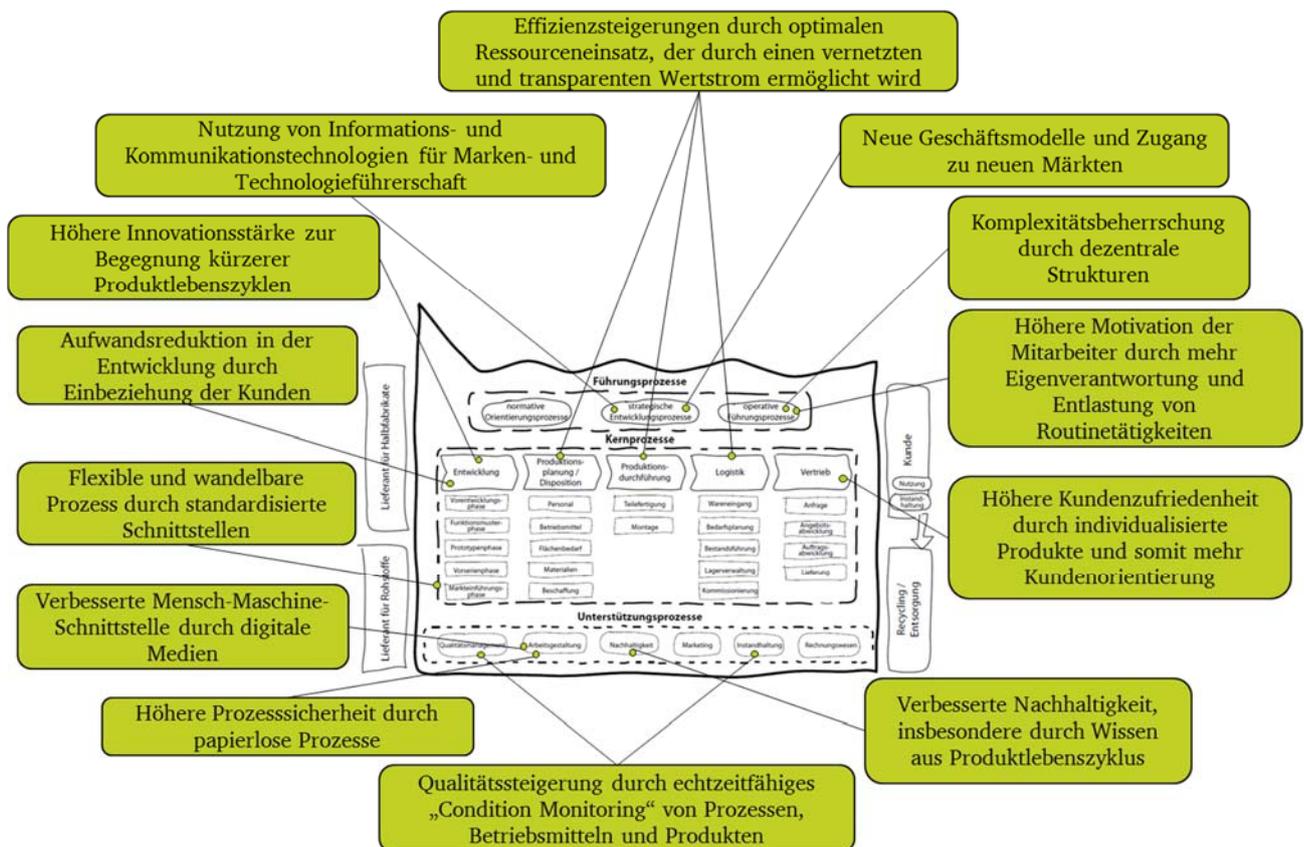


Abbildung 13: Erwarteter operativer und strategischer Nutzen von Industrie 4.0 für die Unternehmensbereiche

### 3.2. EFA 4.0-Stufenmodell

Abbildung 14 zeigt eine Zusammenfassung der gefundenen Good-Practice-Beispiele im Stufenmodell. Die dargestellten Linien repräsentieren die jeweiligen untersuchten Good-Practice-Beispiele, gegliedert in Anwender, Ausrüster und Forschungseinrichtungen.

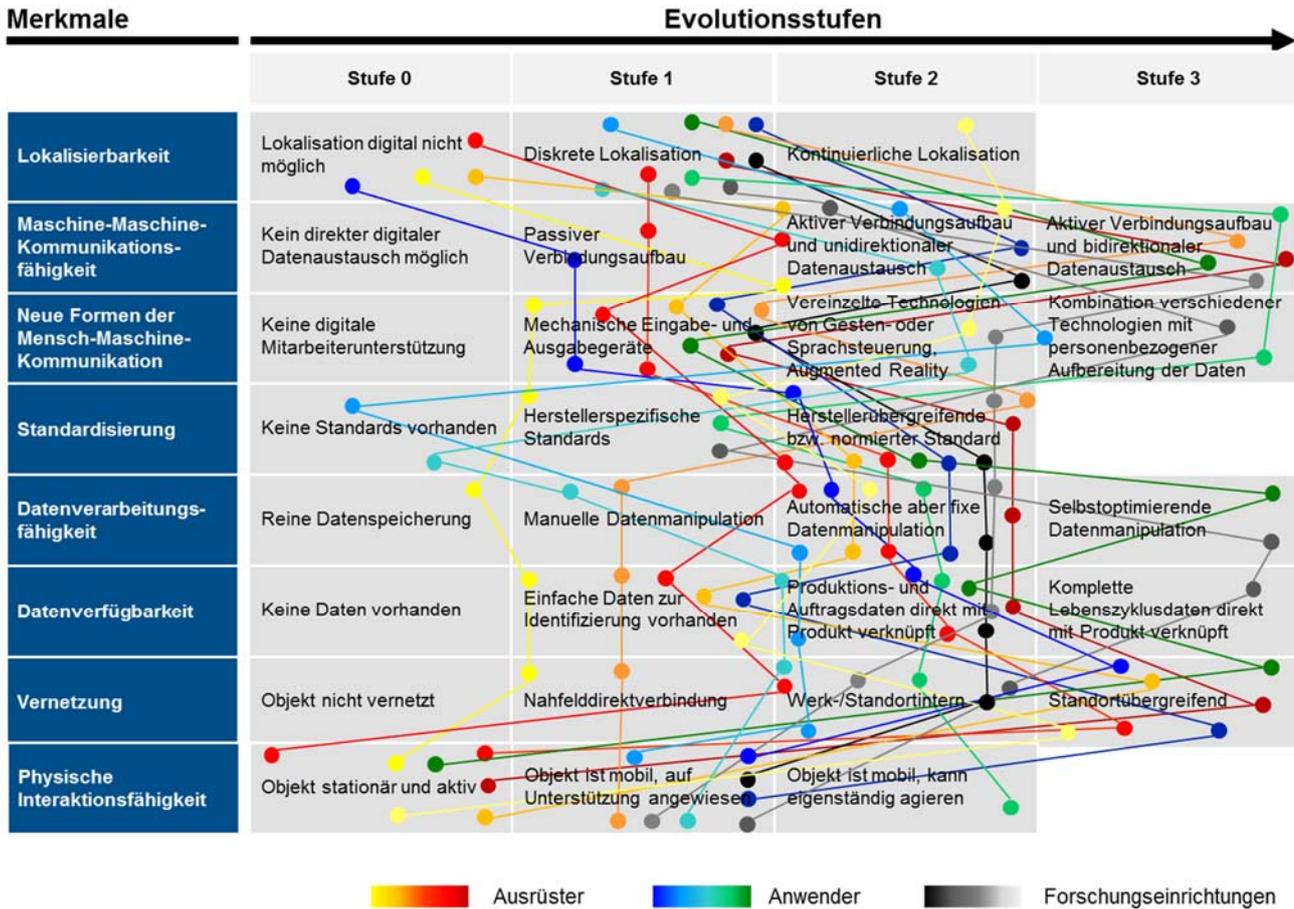


Abbildung 14: Übersicht der Good-Practice-Beispiele im Stufenmodell

Aus Abbildung 14 kann abgeleitet werden, dass bereits technologisch anspruchsvolle Lösungen praktisch umgesetzt wurden. Von der Vision Industrie 4.0 ist man jedoch noch weit entfernt, das heißt von global agierenden sich selbst optimierenden Systemen. Jedoch ist hier zu betonen, dass nicht für jedes Unternehmen bzw. für jede Lösung die jeweilige Endstufe der Merkmale anzustreben ist. Auch geringere Evolutionsstufen führen zu erfolgreich umgesetzten Industrie 4.0-Lösungen.

Im Bereich der Lokalisierbarkeit werden hauptsächlich diskrete Lokalisierungen eingesetzt. Es sind noch wirtschaftliche und praktikable Lösungen zu entwickeln, welche eine kontinuierliche Lokalisation als Voraussetzung für ein echtzeitfähiges Abbild ermöglichen. Außerdem bedienen sich die Systeme vordergründig eines unidirektionalen Informationsaustausches, das heißt das meistens nur einzelne Komponenten im CPS-System aktiv im Netzwerk agieren.

Großer Handlungsbedarf besteht noch bei der Mensch-Maschine-Kommunikation. Hier werden bislang typische mechanische Eingabe- und Ausgabegeräte verwendet, wie zum Beispiel eine Tastatur. Es besteht Bedarf an konkreten Lösungen sowohl für Gesten- oder Sprachsteuerungen als auch für eine rollenspezifische Datenaufbereitung entsprechend der Akteure in einem Produktionssystem. Viele Technologien sind aus dem privaten Bereich bereits bekannt, deshalb muss das Potential des Einsatzes solcher Technologien im Produktionsbereich herausgearbeitet werden. Insbesondere die Ausrüsterunternehmen setzen bei neuen CPS-Systemen auf normierte bzw. herstellerübergreifende Standards. Allerdings gibt es eine Fülle an Standards, welche nicht alle abgedeckt werden können. Dementsprechend bedarf es

internationaler Gremien, um international genormte Standards zu bestimmen. Selbstlernende Systeme bzw. Algorithmen sind bislang hauptsächlich in der Wissenschaft vertreten. Innerhalb der CPS sind vor-dergründig einzelne Bereichsdaten mit dem Produkt verknüpft, das heißt dass die wertstromorientierte Vernetzung bzw. die Möglichkeit zur wertstromorientierten Vernetzung noch weiter zu erforschen ist. Dennoch besitzen einige Lösungen bereits integrierte Web-Services und damit die Möglichkeit sich unternehmensübergreifend zu vernetzen. Ferner ist eine Vielzahl der Systeme bislang stationär bzw. auf die Unterstützung des Menschen angewiesen.

Abbildung 15 zeigt gegenüber Abbildung 14 den gebildeten Durchschnitt aller Good-Practice-Beispiele. Hier ist deutlich zu erkennen, dass sich die umgesetzten Lösungen überwiegend in den Stufen eins und zwei bewegen.

Merkmale	Evolutionsstufen			
	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
<b>Lokalisierbarkeit</b>	Lokalisation digital nicht möglich	Diskrete Lokalisation	Kontinuierliche Lokalisation	
<b>Maschine-Maschine-Kommunikationsfähigkeit</b>	Kein direkter digitaler Datenaustausch möglich	Passiver Verbindungsaufbau	Aktiver Verbindungsaufbau und unidirektionaler Datenaustausch	Aktiver Verbindungsaufbau und bidirektionaler Datenaustausch
<b>Neue Formen der Mensch-Maschine-Kommunikation</b>	Keine digitale Mitarbeiterunterstützung	Mechanische Eingabe- und Ausgabegeräte	Vereinzelte Technologien von Gesten- oder Sprachsteuerung, Augmented Reality	Kombination verschiedener Technologien mit personenbezogener Aufbereitung der Daten
<b>Standardisierung</b>	Keine Standards vorhanden	Herstellerspezifische Standards	Herstellerübergreifende bzw. normierter Standard	
<b>Datenverarbeitungsfähigkeit</b>	Reine Datenspeicherung	Manuelle Datenmanipulation	Automatische aber fixe Datenmanipulation	Selbstoptimierende Datenmanipulation
<b>Datenverfügbarkeit</b>	Keine Daten vorhanden	Einfache Daten zur Identifizierung vorhanden	Produktions- und Auftragsdaten direkt mit Produkt verknüpft	Komplette Lebenszyklusdaten direkt mit Produkt verknüpft
<b>Vernetzung</b>	Objekt nicht vernetzt	Nahfelddirektverbindung	Werk-/Standortintern	Standortübergreifend
<b>Physische Interaktionsfähigkeit</b>	Objekt stationär und aktiv	Objekt ist mobil, auf Unterstützung angewiesen	Objekt ist mobil, kann eigenständig agieren	

Abbildung 15: Übersicht der Good-Practice-Beispiele im Stufenmodell - Durchschnitt aller Lösungen

### 3.3. EFA 4.0-Unternehmenslandkarte

Abbildung 16 zeigt die gefundenen Good-Practice-Beispiele in der anfänglich beschriebenen Unternehmenslandkarte. Hierbei werden die betroffenen Unternehmensbereiche der untersuchten Good-Practice-Lösungen aufgezeigt, gegliedert in Anwender, Ausrüster und Forschungseinrichtungen. Dabei verknüpft eine Industrie 4.0-Lösung jeweils mehrere Bereiche und wird durch eine durchgängige Linie dargestellt. Die Übersicht zeigt, dass zu 55% Kernprozesse von den Industrie 4.0-Lösungen betroffen sind. Hierbei werden alle von den Lösungen adressierten Bereiche hinzugerechnet. Über die Hälfte der Lösungen setzen somit bei den primären Aktivitäten von Unternehmen an. Innerhalb der Kernprozesse werden zu jeweils ca. 35% die Produktionsplanung und Produktionsdurchführung adressiert. Es gilt aufzuzeigen, welche Möglichkeiten explizit möglich und in der Praxis - hier in der Effizienten Fabrik 4.0 - von Nutzen sind. Wobei der Fokus auf der Wertschöpfungsarbeit liegt.

Kernpunkt ist die signifikante Erhöhung der Wertschöpfung durch Industrie 4.0-Lösungsansätze.  
(Instrumentarium: Wertstromanalyse, und -gestaltung)

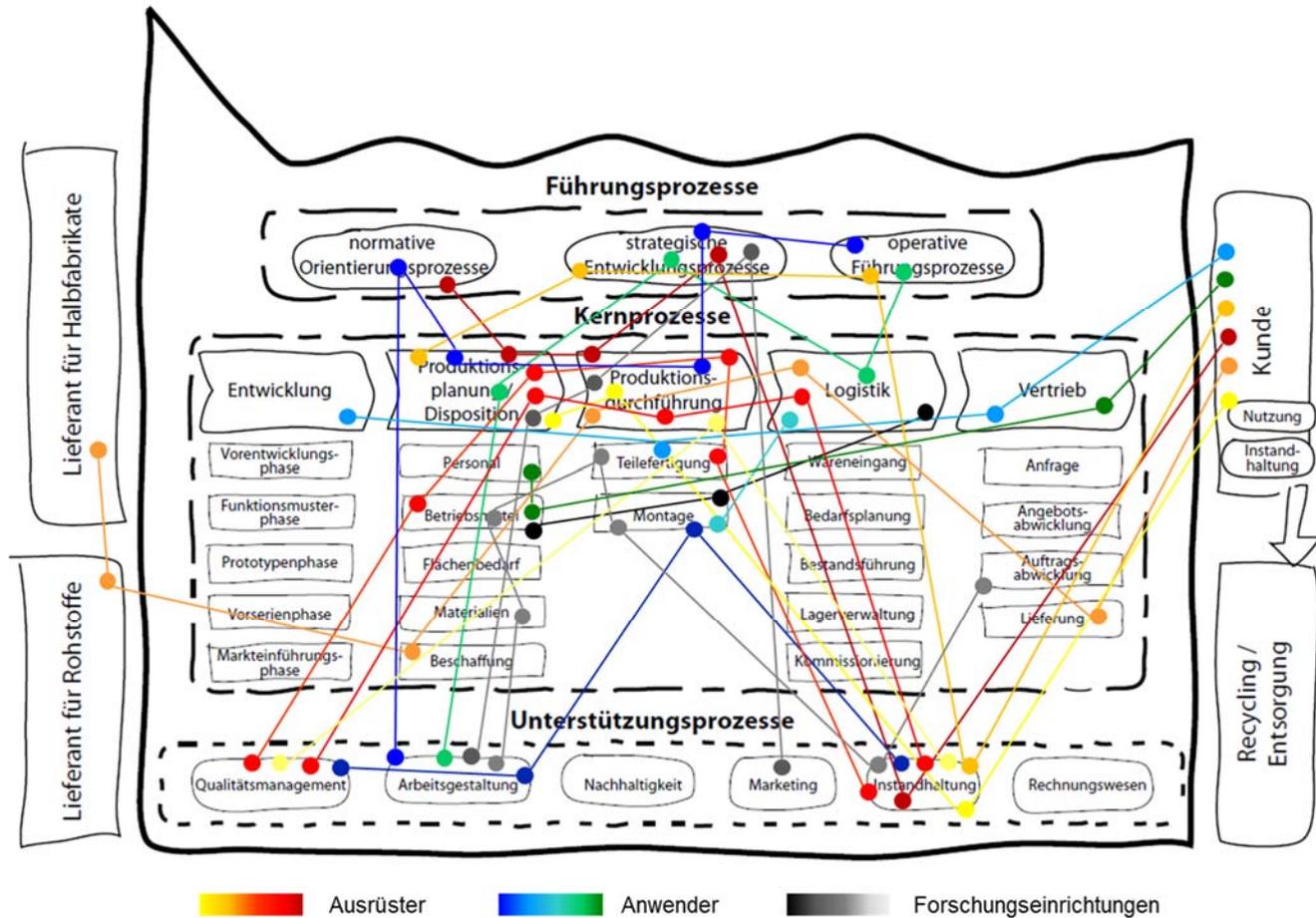


Abbildung 16: Übersicht der Good-Practice Beispiele in der Unternehmenslandkarte

Konkrete Good-Practice-Beispiele für den Unternehmensbereich Entwicklung haben bislang wenig Verbreitung gefunden. Bei den Unterstützungsprozessen sind zu 44% Instandhaltungsprozesse, zu 28% die Arbeitsgestaltung, zu 22% das Qualitätsmanagement und zu 7% das Marketing betroffen. Letztlich lassen sich diese Bereiche sowohl zum Themenfeld Condition Monitoring von Produkten, Betriebsmitteln und Prozessen zusammenfassen als auch zum Themenfeld Arbeitsorganisation. Die Lösungen weisen insgesamt ein hohes Maß an Interdisziplinarität auf. 86% der gefundenen Lösungen betreffen vier oder mehr Unternehmensbereiche. Daraus lassen sich die oben erwähnten Erwartungen der Interviewpartner bezüglich der steigenden Notwendigkeit interdisziplinären Wissens bestätigen. Zur Entwicklung von Industrie 4.0-Lösungen müssen interdisziplinäre Experten zusammen arbeiten. Da Unternehmen, insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen, selten solche Kompetenzen gebündelt vorzuweisen haben, ist eine entsprechende unternehmensexterne Infrastruktur entscheidend, die das Zusammenbringen von Experten aus Wissenschaft, Praxis und Verbänden ermöglicht.

### 3.4. EFA 4.0-Nutzenmodell

Abbildung 17 zeigt die prozentualen Anteile, welche Antworten auf die Fragen „Welche Hebel werden zur Verbesserung der Zielgrößen in Unternehmen bewegt?“ und „Welche Zielgrößen werden durch Unternehmen durch diese Stellhebel gezielt verbessert?“ geben. Ferner ist basierend auf den Analysen die

Frage zu beantworten „Welche Zusammenhänge liegen zwischen der Art der Effizienz bzw. des Stellhebels und der beeinflussten Zielgröße?“. Dieser Zusammenhang ist ebenso in nachstehender Abbildung dargestellt.

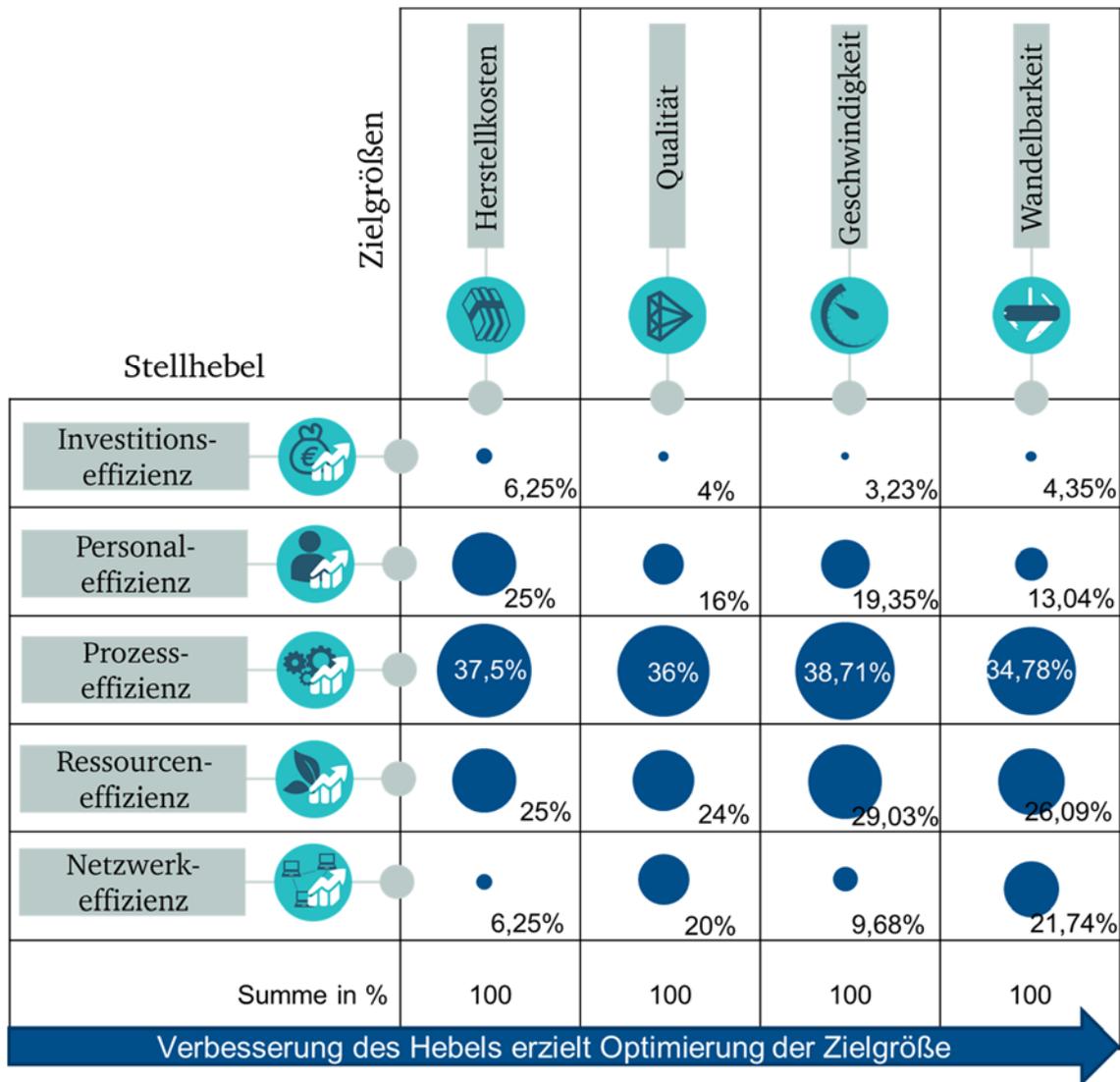


Abbildung 17: Verbesserung der Zielgrößen durch Stellhebel

Das gezeigte Diagramm ist beispielhaft wie folgt zu lesen. Die Zielgröße Herstellungskosten wird bei 25 % der Good-Practice-Beispiele durch den Stellhebel Personaleffizienz verbessert oder bei 26 % der Good-Practice-Beispiele führt die optimierte Ressourceneffizienz durch den Einsatz der entwickelten Industrie 4.0-Lösung zur Verbesserung der Wandelbarkeit. Die Größe der aufgezeigten Kreise entspricht den prozentualen Anteilen zur Verbesserung der Zielgrößen durch die jeweiligen Hebel.

Bei 38% der Industrie 4.0-Good-Practice-Lösungen stellt die Verbesserung der Prozesseffizienz in Unternehmen die größten Potentiale zur Verbesserung der Zielgrößen dar. Diese Verbesserung der Prozesseffizienz wirkt sich positiv auf alle unternehmensinternen Zielgrößen aus. Jeweils 34% oder mehr der Industrie 4.0-Lösungen beeinflussen jene Zielgrößen positiv. Die Investitionseffizienz spielt demgegenüber mit 3 bis 6% keine große Rolle in Unternehmen zur Verbesserung der Zielgrößen. Ebenfalls ist auffällig, dass der Faktor Mensch bei der Zielgröße Wandelbarkeit keine große Bedeutung erfährt.

**Erfolgreich umgesetzte Good-Practice-Beispiele  
im Kontext von Industrie 4.0 zeigen realen Nutzen zur  
Verbesserung der unternehmerischen Zielgrößen auf.**



Über die Eingliederung des Nutzens hinsichtlich der Stellhebel Investitions-, Personal-, Prozess-, Ressourcen- und Netzwerkeffizienz (siehe Abbildung 17) lässt sich dieser ferner in der Entwicklung neuer Märkte und Vertriebsmodelle der Unternehmen beobachten. Aus den Good-Practice-Beispielen und den zugehörigen Auswertungen wird deutlich, dass gänzlich neue Möglichkeiten zur Schaffung von Geschäftsmodellen bestehen. Anwenderunternehmen können beispielsweise durch den Aufbau von Kernkompetenzen selbst zum Ausrüsterunternehmen werden, siehe hierzu das Good-Practice-Beispiel der Maschinenfabrik Reinhausen, von WÜRTH Industrie oder die Industrie 4.0-Lösung des Unternehmens WETROPA.

**Neue Geschäftsmodelle sind erforderlich und werden  
durch Industrie 4.0 hervorgerufen  
(innovative Produkte und Dienstleistungen).**



### **3.5. Vorstellung der Good-Practice-Beispiele**

Nachfolgend werden die analysierten Good-Practice-Beispiele in alphabetischer Reihenfolge vorgestellt. Die Erfassung und Analyse der nachfolgenden Good-Practice-Beispiele ist im Zeitraum Juli 2014 bis Februar 2015 entstanden.

Zu den jeweiligen Good-Practice-Beispielen existieren neben der gezeigten Kurzzusammenfassung Steckbriefe welche nach den Experteninterviews angefertigt wurden. Diese können über den QR-Code zu jedem Beispiel online abgerufen werden.

### 3.5.1. BIBA - Fabrik der selbststeuernden Produkte



Standort: Bremen

Mitarbeiter: 135

Schwerpunkte: Intelligente Produktions-/ Logistiksysteme sowie Informations- und kommunikationstechnische Anwendungen in der Produktion

Forschungseinrichtung

*„Die Lösung ist für Anwendungsfälle, die ein gewisses Maß an Flexibilität fordern, aber im Voraus definiert werden können“*

Am BIBA, dem Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, wird in der Fabrik der selbststeuernden Produkte die Montage von PKW-Rücklichtern abgebildet. Die Produkte finden ihren Weg selbst durch die Logistik nach einem vorgegebenen „Produkt-Varianten-Korridor“. Der „Produkt-Varianten-Korridor“ ist ein Variantenbaum, welcher alle möglichen Varianten der Montage des Produkts abbildet. Das System ist in der Lage, flexibel auf Störungen, wie zum Beispiel dem Wechsel eines Kundenauftrags oder dem Engpass einer Montagestation, zu reagieren. Hierbei optimiert das Produkt die Montagereihenfolge in Abhängigkeit vorgegebener Kennzahlen. Die Werkstückträger, auf welchen die Produkte transportiert werden, nutzen zur selbstständigen Fortbewegung ein Schienensystem. Die Kommunikation der Produkte bzw. Werkstückträger erfolgt über RFID-Technologie. Im übergeordneten System ist jedem Werkstückträger ein Softwareagent zugeordnet. Der Demonstrator zeigt eine automatische Vernetzung von Montage, Logistik und der Produktionssteuerung bzw. -planung und ist somit in der Lage autonome Entscheidungen im Rahmen der Zielvorgaben zu treffen. Bei der Entwicklung und dem Aufbau der Fabrik der selbststeuernden Produkte war der größte Aufwand zunächst die Ausarbeitung eines virtuellen Modells mit einer entsprechenden Entscheidungslogik. Die Entwicklung und Umsetzung erfolgte über einen Zeitraum von ca. 2 Jahren. Die Lösung ist für Anwendungsfälle geeignet, welche ein gewisses Maß an Flexibilität fordern, aber die im Voraus zur Ausgestaltung eines virtuellen Modells beschreibbar sind. Die Lösung ist insbesondere für Kleinserienfertigung oder sich wiederholende Auftragsfertigung geeignet.

Bei der Eingliederung der Lösung in die Unternehmenslandkarte wird deutlich, dass insbesondere die Kernprozesse Montage, Logistik sowie die Betriebsmittel in der Produktionsplanung adressiert werden. Hierdurch werden aktiv die Hebel Personal- und Prozesseffizienz bewegt, was in der Fabrik der selbststeuernden Produkte zur Reduzierung der Herstellungskosten und zur Erhöhung der Geschwindigkeit in Form der Durchlaufzeit führt.

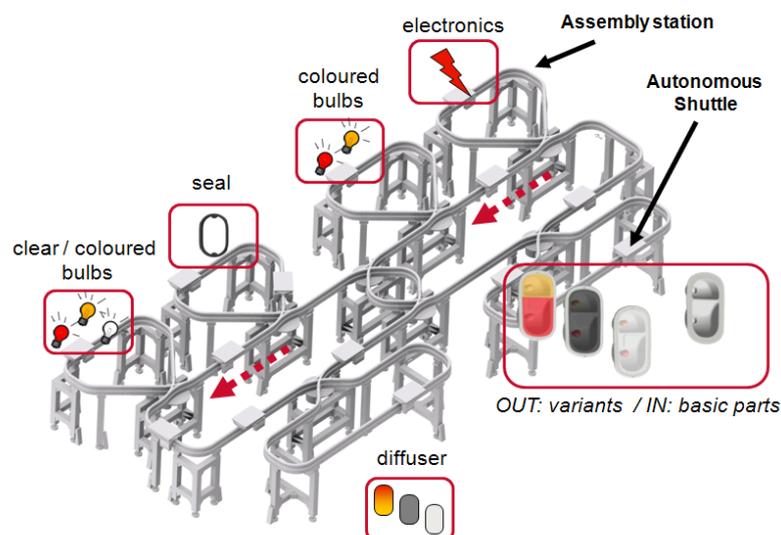


Abbildung 18: Die Montagelinie - Fabrik der selbststeuernden Produkte (Quelle: Bremer Institut für Produktion und Logistik)

### 3.5.2. BOSCH - Management komplexer Logistikketten durch den Einsatz von RFID



Branche: Kraftfahrzeugtechnik Diesel Systems (DS)

Produkte: Common Rail-Systeme, Pumpen

Standorte: Weltweit, hier Homburg/Saar

Umsatz (2013): 46,1 Mrd. EUR (Robert Bosch GmbH weltweit)

Mitarbeiter: 281.000 weltweit; 4.560 Homburg/Saar (DS)

 Anwender

*„Wertstromarbeit auf Basis der Prinzipien eines schlanken Produktionssystems bilden den Ausgangspunkt für Verbesserungen auch im Hinblick auf die Evolution im Rahmen der Industrie 4.0“*

Die in einem Produktionsnetzwerk anfallenden Informationen und deren Informationsflüsse müssen effizient gestaltet werden. Die hier betrachtete Lösung beschreibt die Steuerung der Logistikprozesse durch den Einsatz der UHF-Technologie (Ultra-High-Frequency). Primär ist dies die Übermittlung in Echtzeit von Verbrauchsinformationen in KANBAN-Kreisläufen. KANBAN beschreibt hierbei eine Methode zur Produktionsprozesssteuerung und es werden interne sowie externe Kreisläufe zu Lieferanten und Kunden unterhalten. Die dem Material bzw. den Produkten beigefügte KANBAN-Karte ist dabei mit einem UHF-Chip bestückt. Bei Entnahme der KANBAN aus dem Behälter wird diese nicht mehr nur physisch zurückgeführt, sondern auch an einer RFID-Leseinheit identifiziert, welche die Information der Entnahme bzw. des Verbrauchs der jeweiligen Materialien an den entsprechend vorgelagerten Prozess weiterleitet. Bestellungen und Buchungen in der Produktion erfolgen dabei teil- oder vollautomatisiert. Bei der teilautomatisierten Variante besteht die Notwendigkeit, den getaggten KANBAN manuell an einer Leseinheit vorbeizuführen. Demgegenüber laufen die Behälter bei der vollautomatisierten Version über Rollenbahnen an Leseinheiten vorbei. Zur Lösungsumsetzung war die Integration der KANBAN-Kreisläufe in übergeordnete IT-Systeme durch eine Anbindung der RFID-Lesegeräte sowie die Interpretation der RFID-Signale erforderlich. Mit dem Management komplexer Logistikketten durch den Einsatz von RFID werden insbesondere die unternehmerischen Kernprozesse Montage sowie Logistik angesprochen. Der daraus resultierende Nutzen zeigt sich in der Beschleunigung der Verbrauchs- und Entnahmeeinformationen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, was letztendlich die Zielgrößen Qualität und Geschwindigkeit positiv beeinflusst. Bei strikter Integration der von BOSCH entwickelten Lösungen können bis zu 25% verkürzte Durchlaufzeiten erreicht werden. Die Verbesserung der Wandelbarkeit wird durch den entwickelten Standard zur Interpretation der RFID-Events entlang der unternehmensübergreifenden Wertschöpfungskette erzielt. Die werksübergreifende Verknüpfung der Logistikprozesse steigert die Transparenz zwischen den einzelnen Akteuren und beeinflusst somit die Zielgröße Qualität positiv.

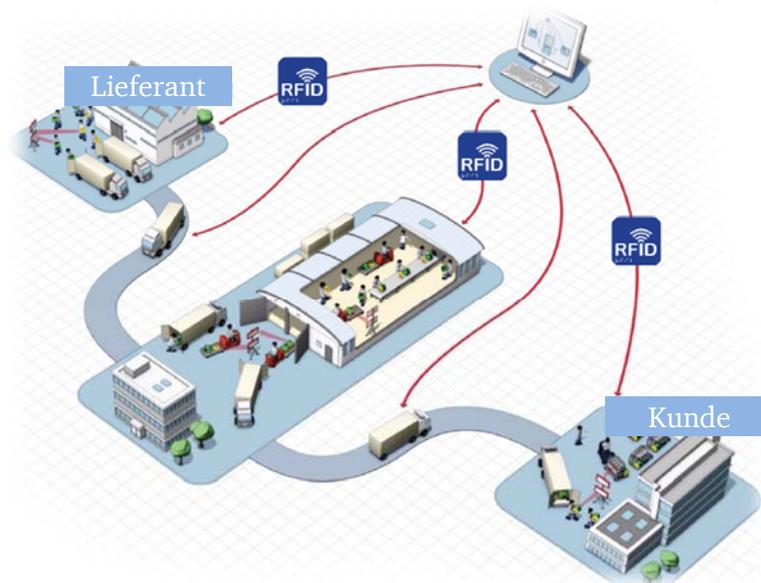


Abbildung 19: RFID@BOSCH - Management komplexer Logistikketten durch den Einsatz von RFID (Quelle: Bosch)

### 3.5.3. BOSCH Rexroth - Multiprodukt Montagelinie



Branche: Steuerungs- und Antriebs-Technologien

 Anwender

Produkte: Hydraulische Steuerungen mit Elektronikeinheiten für mobile Anwendungen

Standorte: Weltweit, hier Homburg

Umsatz: 5,7 Mrd. EUR (Gesamt)

Mitarbeiter: 740 am Standort Homburg (36.700 Gesamt)

*„Industrie 4.0 bedeutet Vernetzung. Ein riesiges Potenzial bietet uns Industrie 4.0, wenn es uns gelingt, die Vernetzung aus unserem privaten auf das professionelle Leben zu übertragen“*

Die als Multiproduktlinie ausgeführte Produktionslinie erlaubt die Montage von Hydraulikventilen in bis zu 200 unterschiedlichen Varianten. Re- und Konfigurationen der Montagelinie können auf Grund der Modularität der einzelnen Linienelemente durch standardisierte Schnittstellen und eine Beschreibung dieser über XML in kürzester Zeit vorgenommen werden. Kernaspekt der Linie ist jedoch die Vernetzung von Mensch, Maschine und Prozess. Über verschiedene Technologien wie RFID oder Bluetooth kommunizieren und agieren die einzelnen Akteure der Montagelinie untereinander. Anfallende Produktionsdaten werden in Echtzeit aufgenommen und über ein der Linie zugehöriges KVP-Board (Anzeige des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses) visualisiert und analysiert. Neben der horizontalen Vernetzung besteht zudem die Möglichkeit, Informationen vertikal zu aggregieren und zu verteilen. In der vorliegenden Lösung steuert sich das Produkt selbst. Auf den Werkstückträgern aufgebrachte RFID-Tags führen die Produktionsinformationen der jeweiligen Produkte mit. Die Identifikation dieser ruft die entsprechenden Montageinformationen an den jeweiligen Stationen auf. Diese werden dem Mitarbeiter über Ausgabedispays und weiterer Montageunterstützungssysteme, wie Pick-by-Light, visualisiert. Mitarbeiter melden sich an der Station an indem sie einen Bluetooth-Tag mit sich führen, der mitarbeiterspezifische Informationen bzgl. Qualifikation, Sprache sowie individuellen Bedürfnissen trägt. Durch die Vernetzung der Mitarbeiter mit dem jeweiligen Arbeitsplatz stellt sich dieser auf die individuellen Bedingungen der Mitarbeiter ein. Entsprechend der Qualifikation können unterstützende Informationen angezeigt werden. Die digitalen KVP-Boards an den Linien ermöglichen eine Visualisierung und Analyse der anfallenden Produktionsdaten in Echtzeit. Primärer Einfluss der Multiprodukt Montagelinie von BOSCH Rexroth wird auf den Kernprozess der Montage ausgeübt. Zusätzlich werden durch diesen Industrie 4.0-Lösungsansatz die Unterstützungsprozesse Qualitätsmanagement, Arbeitsgestaltung sowie Instandhaltung tangiert. Der daraus resultierende Nutzen lässt sich durch die Steigerung der Personal-, Prozess- und Ressourceneffizienz benennen. Durch die schnellere Reaktion auf etwaig anfallende Produktionsprobleme wird die Zielgröße Wandelbarkeit optimiert. Die variantenreiche Fertigung bis hin zur Losgröße 1 lässt sich durch den Lösungsansatz effizient hinsichtlich der Prozesse und der Qualität realisieren. Eine mitarbeiterfreundliche Arbeitsgestaltung insbesondere vor der Hintergrund des demografischen Wandels sowie die Möglichkeit der In-Line-Qualifizierung der Mitarbeiter steigern zusätzlich die Personaleffizienz.



Abbildung 20: BOSCH Rexroth - Multiprodukt Montagelinie (Quelle: Bosch Rexroth)

### 3.5.4. B&R Industrie-Elektronik GmbH - APROL Produktionsleitsystem



Branche: Automatisierungstechnik

Standorte: Österreich (Eggelsberg), Deutschland (Essen, Bad Homburg)

Produkte: Steuerungs-/Produktionsleit-/Antriebstechnik, IO-Systeme, Visualisieren und Bedienen, Sicherheitstechnik, Software

Mitarbeiter: 2650

Umsatz: 535 Mio. EUR / Jahr (2014)



Ausrüster

*„Maschinen und Anlagen müssen zukünftig so flexibel sein, dass sie individuelle Produkte zu den Kosten von Massenprodukten herstellen können.“*

Das APROL Produktionsleitsystem dient zur Automatisierung von kleinen Laboranlagen bis hin zur Automatisierung komplexer Großanlagen in einer Vielzahl von Branchen. Alle wichtigen Grundfunktionen wie Anlagensteuerung und -überwachung, Trendsystemen sowie Alarmmanagement sind in diesem System vereint. Neben einem Grundsystem besteht die Möglichkeit zur Implementierung zusätzlicher Solution-Pakete, durch die eine branchenspezifische Gesamtlösung generiert werden kann. Hierzu zählen die Pakete "EnMon" (Energiemonitoring), "ConMon" (Condition Monitoring) und "APC" (Optimierung des Anlagenbetriebs). Die Prozessdatenreicherung umfasst unter anderem die Aufbereitung der generierten Daten zur Online-Performancekontrolle und der Überwachung der Produktionsebene. Neben dieser Visualisierung erfolgt eine Aufbereitung von Alarmen, Ereignissen und sonstigen Daten kombiniert im TrendViewer zur optimierten Analyse von Ursache-/ Wirkungszusammenhängen. In diesem Kontext unterstützt APROL auch die korrelative Datenbetrachtung durch Berücksichtigung beliebiger anderer Datenbanken. Weiterhin wird durch die Anbindung an ERP-/ und MES-Systemen eine integrierte Business Intelligence geschaffen, die zu einer optimierten Entscheidungsfindung führt. Zudem wird die mobile Prozessüberwachung durch den Zugriff über eine Smartphone-App ermöglicht. Das Produktionsleitsystemsystem umfasst flexible Reportoptionen und Analysefunktionen zur Entscheidungsunterstützung. Des Weiteren erfolgt eine Datenverarbeitung bzw. -anreicherung durch die Erstellung von Trendanalysen zur weiteren Ursachenanalyse. Außerdem kann eine Datenanreicherung durch korrelative Betrachtung von Daten durch Einbezug weiterer Datenbanken erfolgen. Durch den Einsatz des Produktionsleitsystems APROL werden mithilfe der rollenspezifischen Datenaufbereitung die Personaleffizienz und durch das echtzeitfähige Prozessabbild die Prozesseffizienz erfolgreich verbessert. Die Zielgrößen Qualität, Geschwindigkeit und Wandelbarkeit können durch parallel zum Prozess laufende Qualitätsmeldungen und einer ad-hoc Optimierung, welche auf dem echtzeitfähigen Systemabbild basiert, verbessert werden.

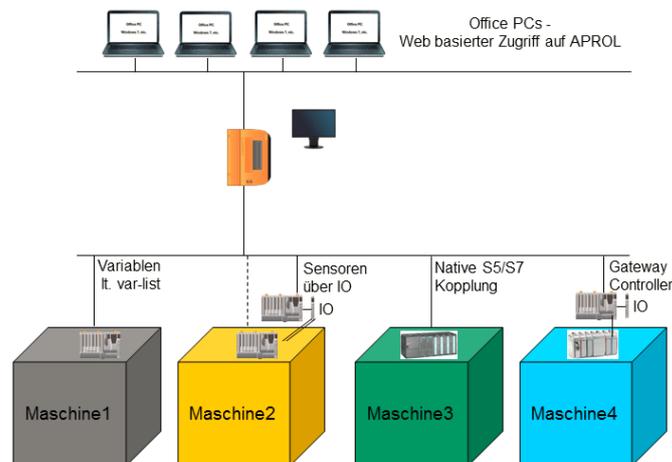


Abbildung 21: Produktionsleitsystem APROL (Quelle: B&R Industrie-Elektronik GmbH)

### 3.5.5. Gaugler&Lutz OHG - Dynamische und echtzeitfähige Multiressourcenplanung



Branche: verarbeitendes Gewerbe/  
Herstellung von Waren; Handel  
Fertigungstyp: Losgröße 1 bis Serienfertigung  
Produkte: Materialien für den Leicht- & Sandwichbau; Produkte für Sport/ Reha/  
Freizeit  
Fertigungstiefe: Zukauf von Rohstoffen; Produktion; Handel; Dienstleistung  
Mitarbeiter: 260

 Anwender

*„Ziel ist möglichst alle Maschinen und Arbeitsplätze zu vernetzen, dabei möglichst wenige Schnittstellen zu verwenden, keine redundanten Daten zu schaffen und Daten nur dann anzureichern wenn notwendig.“*

Das Ziel der Gaugler&Lutz oHG sind durchgängige, redundante, flexible und skalierfähige Systeme, Prozesse und Ressourcen. Bereits heute ist sie in der Lage per Mausklick eine echtzeitfähige Feinplanung durchzuführen, d.h. die Planung von Kunden-/Fertigungsaufträgen, Arbeitsgängen und Ressourcen. Hierfür wurde ein „Advanced Planning System“ der Firma software4production umgesetzt. Hierdurch können Anlagen entsprechend der Kapazität und Mitarbeiter entsprechend der Fähigkeiten in Echtzeit eingeplant werden. Anlagen und Betriebsmittel sind mittels Betriebsdatenerfassung und mithilfe einer Maschinendatenerfassung an das System angeschlossen. Zusammen mit dem ERP-System, der Multiressourcenfeinplanung, CAD/PLM und weiteren Systemen wurde somit eine integrierte Informationsverarbeitung geschaffen. Dadurch kann der aktuelle Stand der Fertigung in Echtzeit verfolgt werden und dem Kunden kann bereits bei Auftragseingang eine verbindliche Aussage zum Liefertermin gemacht werden. Die aufgezeichneten Daten können zusätzlich für eine präventive Instandhaltung und für ein Energiemanagement eingesetzt werden. Letztlich soll die Einbindung der gesamten Organisation in die digitale Welt erfolgen. Das System ist in der Lage, die notwendigen Anforderungen des Fertigungsauftrags mit Fähigkeiten der Mitarbeiter und der Ressourcenkapazität abzugleichen. Zudem können verschiedene Szenarien simuliert werden, um Personal und Ressourcen nach bestimmten Kriterien optimal einzusetzen. Der Einbezug externer Parameter, z.B. in Form von Kundenanforderungen und –informationen, ist der nächste Schritt der Entwicklung.

Insbesondere im Rahmen der Produktionsplanung werden die Kernprozesse Personal und Betriebsmittel durch die eingeführte Lösung beeinflusst. Über den Vertrieb wird ein Hauptnutzen beim Kunden selbst erzielt. Das Good-Practice-Beispiel von Gaugler&Lutz OHG optimiert signifikant die Prozesseffizienz, indem durch den optimalen Einsatz von Betriebsmitteln eine höhere Auslastung geschaffen wird. Dies wirkt sich auf die Zielgrößen Herstellungskosten und Geschwindigkeit aus, da die Betriebsdaten durch die Maschinendaten validiert werden und eine verbesserte Feinplanung die vorliegenden Durchlaufzeiten verkürzt.

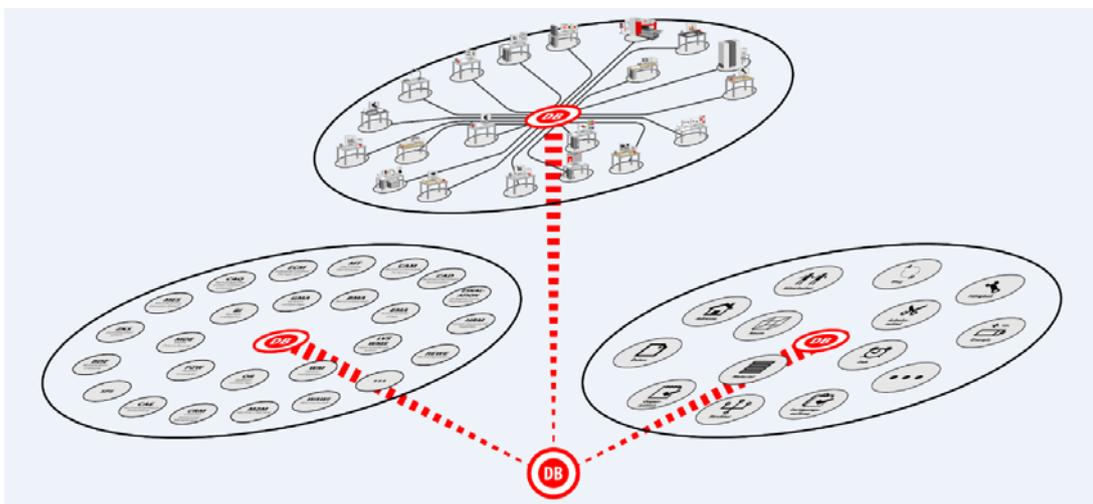


Abbildung 22: Angestrebte Vernetzung bei Gaugler&Lutz (Quelle: Gaugler&Lutz)

### 3.5.6. HBM - Messverstärkersystem für den Einsatz in der Produktionsüberwachung



Branche: Lösungsanbieter für komplette Messkette (Sensorik, Messelektronik, Auswertesoftware)



Ausrüster

Standorte: weltweite Tochtergesellschaften, Hauptsitz in Darmstadt

Produkte: Aufnehmer, Verstärker und Messdatenerfassungssysteme, Test- und Analysesoftware

Fertigungstiefe: Mehrkanal-Messverstärkersystem mit integrierter Steuerung und Smart-Functions

Mitarbeiter: ca. 1600 weltweit

*„Industrie 4.0 ist ein globaler Business-Treiber. Deutschland bzw. Europa wird nur durch seine Innovationskräfte überleben.“*

Das Messverstärkersystem PMX der Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (HBM) kann als ein Wegbereiter für Industrie 4.0 gesehen werden. Produktionsanlagen können durch einen integrierten Industrial-Ethernet-Anschluss für eine durchgängige Produktionsüberwachung in Echtzeit miteinander vernetzt werden. Dank integrierten TEDS (Transducer Electronic Data Sheet), d.h. elektronischen Datenblättern, erkennt PMX Aufnehmer automatisch und ermöglicht somit eine „Plug&Measure“-Technologie. Das bedeutet, dass beim Installieren oder Austausch von TEDS-Sensoren, der Messverstärker automatisch die Messkette parametriert und damit sofort wieder einsatzbereit ist. Zudem können so zum Beispiel defekte Sensoren erkannt werden bzw. auf redundante Messkanäle umgeschaltet werden. Der Einsatz aktueller Browser- und Serverstandards ermöglichen sowohl schnelle Serviceeinsätze durch Fernwartung als auch eine schnelle Inbetriebnahme. Außerdem können durch zahlreiche Schnittstellen (z.B. TCP/IP, Ether-Cat) Daten sowohl vertikal über die gesamte Messkette als auch horizontal z.B. mit dem Produkt und dessen Wertstrom verknüpft werden.

Die Lösung eignet sich für eine durchgängige Vernetzung der Produktion bzw. Fertigung. Die gesamte Messkette der Fertigung kann mit der PMX-Lösung überwacht und gesteuert werden. So können Anomalien, Sensordefekte und Redundanzen identifiziert, gemeldet und umgangen werden. Das Messverstärkersystem umfasst einzelne „smart functions“, auf deren Basis verschiedene Funktionalitäten angeboten werden. Ziel ist es, dass das System selbstständig dazu lernt und letztlich eine Selbstoptimierung anhand vorgegebener Kennzahlen durchführt. Zielgruppen sind Systemintegratoren und Endkunden im Bereich Produktionsanlagen, Sondermaschinen und Condition-Monitoring. Vor allem die Unterstützungsprozesse Qualitätsmanagement und Instandhaltung werden durch das Messverstärkersystem PMX nachhaltig verbessert. Durch webbasierte Datenaufbereitung können Mitarbeiterinformationen gezielt weitergegeben werden. Darüber hinaus ist der Messverstärker mit seiner "integrierten Intelligenz" in der Lage qualitätsbestimmende Algorithmen und Berechnungen bei der Produktionsüberwachung selbst durchzuführen. Diese beiden Verbesserungen münden in einer verbesserten Personal- und Prozesseffizienz. Letztendlich führt dies zu einer Optimierung von Qualität, Geschwindigkeit sowie Wandelbarkeit.



Abbildung 23: Plug and Measure mit TEDS-Modul (links) und PMX Messverstärker (rechts) (Quelle: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH)

### 3.5.7. Maschinenfabrik Reinhausen - MR-CM zentrale Datendrehscheibe



Branche: Energietechnik

Standorte: Weltweit, Hauptsitz Regensburg/Deutschland

Produkte: Stufenschalter und Umsteller, Prüf- und Messtechnik, Verbundholisolatoren, Aktivfilter und Kompensationsanlagen

Umsatz: 650 Mio. EUR

Mitarbeiter: 2800



Ausrüster

*„Industrie 4.0 kann automatisieren, visualisieren und analysieren, damit der Mensch die Prozesse perfektionieren kann.“*

Die Vernetzung aller am Prozess beteiligten Maschinen und Anlagen sowie Personen erfolgte bisher über singuläre Verbindungen. Die Programmierung der Schnittstellen verschiedener Systeme zueinander zeichnete sich durch einen hohen manuellen Aufwand sowie eine hohe Fehleranfälligkeit aus. Als zentrale Datendrehscheibe vernetzt der MR-CM des Unternehmens Maschinenfabrik Reinhausen alle am Prozess beteiligten Maschinen und Personen automatisch und selbstständig. Die selbstständige und Automatische Vernetzung erfolgt über die zu konfigurierenden Konnektoren. Diese werden jeweils zum MR-CM-System hin konfiguriert und weisen nicht wie vorherige Schnittstellen eine 1:n-Beziehung auf. Initial sind hierbei die vorhandenen Schnittstellen bzw. Konnektoren über ein standardisiertes XML-Protokoll zu beschreiben. Im Einsatz unterscheiden sich die grundlegenden Funktionen des MR-CM in eine „Datenanreicherung“, die über eine Board-Intelligenz Daten verschiedener Quellen aufnehmen sowie diese zu an weiteren Stellen im Prozess benötigten Informationen anreichern kann. Diese Datenanreicherung erlaubt so, Informationsbedarfe aus unterschiedlichen Systemen durch Abfrage und Interpretation verteilter Daten verschiedener Systeme zu befriedigen. Hierdurch werden Roh- bzw. Stammdaten zu kontextspezifischen Informationen angereichert. Daneben verfügt der MR-CM über eine sogenannte „Datenpumpe“ die zyklisch alle anfallenden Produktionsdaten dem Produktionscontrolling zur Verfügung stellt und so die Transparenz durch ein Echtzeitabbild der Produktion steigert. Der Aufwand zur Implementierung des MR-CM in weiteren Produktionen liegt primär in der Bereinigung von Datenlücken und Datenschwächen im vorhandenen Proessablauf und sekundär in der Konfiguration der Konnektoren über das standardisierte XML-Protokoll.

Die zentrale Datendrehscheibe verknüpft die Kernprozesse Produktionsplanung und -durchführung mit den Unterstützungsprozessen Qualitätsmanagement und Instandhaltung. Der hier erzielte Nutzen lässt sich primär in der Verbesserung der Prozess- und Ressourceneffizienz begründen. Denn Informationen und Daten können schnell und medienbruchfrei an den Maschinen und Anlagen bereitgestellt werden. Darüber hinaus werden diese beiden Hebel positiv beeinflusst, indem die kontext- und einsatzspezifische Interpretation der Daten zu Informationen automatisch und erst bei Bedarf der Informationen erfolgt. So wird eine hohe Flexibilität bspw. in der Ressourcenbelegungsplanung gewährleistet. Was die Zielgröße Wandelbarkeit quantitativ und nachhaltig verbessert.

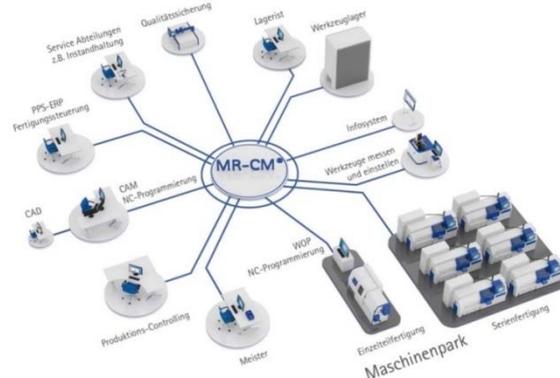


Abbildung 24: MR-CM – zentrale Datendrehscheibe (Quelle: Maschinenfabrik Reinhausen)

### 3.5.8. PEPPERL+FUCHS - SmartBridge - Ein Adapter als Brücke zwischen Sensor und Tablet



Branche: Fabrik- und Prozessautomation



Ausrüster

Standorte: Mannheim

Produkte: Fabrik- und Prozessautomatisierung, Entwicklung und Herstellung industrieller Sensoren und Prozess-Interfaces

Fertigungstiefe: Entwicklung und Fertigung

Fertigungstyp: Klein- und Mittelserie

Mitarbeiter: 5.600 (weltweit)

Umsatz: 500 Mio. EUR

*„Für Pepperl+Fuchs stellt Industrie 4.0 eine riesige Chance und Herausforderung dar. Mit Industrie 4.0 entstehen Funktionalitäten, die ähnlich revolutionär sein werden wie Dampfmaschine und Fließband.“*

Ein kompakter Adapter, welcher zukünftig in die Sensoren integriert werden soll, ermöglicht einen Verbindungsaufbau vom Sensor zum Smartphone oder Tablet, ohne die Verbindung zwischen Sensor und Steuerung zu stören oder gar aufzutrennen. Die damit neu entstandene Kommunikationsfähigkeit wird benutzt, um während des Betriebs rückwirkungsfrei auf den Sensor zuzugreifen und so ein In-Line-Sensor-Management zu ermöglichen. Verwendet werden kann diese Verbindung, welche von dem Unternehmen Pepperl+Fuchs unter dem Namen SmartBridge entwickelt wurde, zum Austausch von Daten für die Inbetriebnahme, Diagnose und Fehlersuche. Die hierfür gewählte Bluetooth-Technologie lässt aufgrund der ortsgebundenen Verbindung keine Sicherheitslücke entstehen und selbst ein virenbefallener Tablet-Computer könnte keinen Schaden anrichten, da eine Übertragung vom Sensor in die Steuerung nicht möglich ist. Die Schnittstellen stellen einen I/O-Link-Master und ein Bluetooth 4.0 Modul dar. Dabei handelt es sich bei dem per Bluetooth versandten Datenpaket um ein Pepperl+Fuchs-spezifisches Protokoll. Die Daten die auch auf der MicroSD-Karte gespeichert werden, sind jedoch als csv-Datei gespeichert und beispielsweise mit Microsoft Excel auswertbar. Der Einsatz der SmartBridge befindet sich primär in der Parametrisierung, Diagnose und Fehlersuche (Instandhaltung und Wartung). Die Intelligenz des Good-Practice-Beispiels besteht insbesondere aus dem Transport von Daten zwischen zwei Prozessoren und der Übersetzung von einem Standard in einen anderen. Die Lösung lässt sich als Zugriff auf Stücklisten oder Einbauanleitungen von Sensor, Funktionseinheit und Maschine erweitern. Ferner könnten Diagnosedaten aus dem Sensor kontinuierlich aufgezeichnet und ausgewertet werden. Zum erfolgreichen Einsatz der SmartBridge sind smarte Industriesensoren mit IO-Link Schnittstelle sowie ein Tablet PC oder Smartphone für die Arbeit mit den Sensoren erforderlich.

Mit Blick auf die Unternehmenslandkarte sind insbesondere die Unternehmensprozesse Produktionsplanung und Instandhaltung mit dieser Lösung verknüpft. Die optimierte Instandhaltung beim Kunden verbessert die Personaleffizienz, da die SmartBridge durch einfache Fehlersuche und Diagnose enorme Zeiterparnisse erzielen kann, dies führt zu einer verbesserten Geschwindigkeit. Komplettiert wird die Lösung durch eine Bluetoothverbindung, welche eine sichere Verbindung zwischen mobilem Endgerät und Sensorik ermöglicht.



Abbildung 25: SmartBridge-Konzept mit mobilem Endgerät (Tablet) (Quelle: Pepperl+Fuchs)

### 3.5.9. SmartFactoryKL - Die intelligente Fabrik der Zukunft



Standorte: Kaiserslautern

Mitarbeiter: 32

Schwerpunkte: Forschungseinrichtung, Demonstrations- und

Forschungsplattform, Schwerpunkt: Informations- und Kommunikationstechnik

■ Forschungseinrichtung

*„Industrie 4.0 führt zur Transformation der heutigen Fabriken in Smart Factories.“*

Die Demonstrationsfabrik setzt sich aus verschiedenen Modulen differenter Unternehmen zusammen. Im Verbund mit Partnern aus Industrie, Wirtschaft und Forschung werden innovative Fabrikssysteme, in denen die Vision von Industrie 4.0 zur Realität wird entwickelt. Als Beispielbauteil wird ein Visitenkartenhalter, welcher personalisiert produziert werden kann, verwendet. Der entwickelte Demonstrator setzt sich aus einer end-to-end Architektur, einem Modul für Bodengravieren, einem Baustein für Deckelverprägen, einem Modul zum Deckelgravieren und einem Modul zum Federeinsetzen sowie die notwendige IT-Sicherheit zusammen. Ferner findet eine Qualitätskontrolle und ein Handarbeitsplatz Anwendung. Komplettiert wird die Anlage durch ein Industrie 4.0 fähiges ERP-System. Durch die zahlreichen Bausteine und Module (siehe auch Abbildung) lässt sich eine Industrie 4.0-Modellfabrik veranschaulichen, im Mittelpunkt stehen hier:

- Durchgängiges digitales Engineering; Plug & Play in der Produktion
- Horizontale sowie vertikale Integration der Daten
- Vernetzte Sensorik und Produktionssysteme
- Automatisierte und gleichzeitig wandlungsfähige Produktionsanlagen
- Einsatz mobiler Endgeräte
- Augmented Reality

Die Ansätze und Lösungen der Demonstrationsanlage liegen primär im Bereich der Produktionsplanung und -durchführung. Als mögliche Stellhebel zur Verbesserung der Zielgrößen von Unternehmen werden die Personal-, Prozess- sowie Netzwerkeffizienz adressiert. Wenn beispielsweise eine Instandhaltung der einzelnen Module von Nöten ist, so werden dem Mitarbeiter über einen rollenspezifischen Zugang alle erforderlichen Informationen zur Verfügung gestellt. Dabei wird der gesamte Produktionsprozess mithilfe von Kameras in Form eines Livestreams auf qualitätssichernde Merkmale geprüft. Im Vordergrund der SmartFactoryKL steht die Wandelbarkeit von Produktionsanlagen, was letztendlich nur über standardisierte Schnittstellen erreicht werden kann.



Abbildung 26: Die Modellfabrik - smartFactoryKL (Quelle: Lapp Kabel/Maiwolf)

### 3.5.10. SmartFactoryOWL - Industrie 4.0 für den Mittelstand



Standorte: Lemgo/Ostwestfalen-Lippe

Forschungseinrichtung

Sponsoren: >40

Schwerpunkte: Die SmartFactoryOWL ist eine Forschungsfabrik, welche gemeinsam vom Fraunhofer IOSB-INA und dem Institut für Industrielle Informationstechnik der Hochschule OWL (Lemgo) mit den Schwerpunkten Intelligente Automation und Industrial IT betrieben wird.

*„Das so genannte „Internet der Dinge“ hält Einzug in alle Lebensbereiche des Menschen. Produktionsanlagen werden selbstständiger agieren, als sie es heute tun.“*

In der SmartFactoryOWL werden die wichtigsten Handlungsfelder der intelligenten Fabrik, wie Wandlungsfähigkeit, Ressourceneffizienz und Mensch-Maschine-Interaktion adressiert. Dazu wurde u.a. ein fortschrittliches Produktionssystem aufgebaut, das aus einzelnen Produktionszellen besteht. Diese haben standardisierte Abmessungen und Anschlussmöglichkeiten, um eine flexible Anordnung zu ermöglichen. Dabei steht das mechatronische Produktionssystem nicht im Vordergrund der Forschung. In erster Linie wird der Fokus auf die Steuerung des Gesamtprozesses und die Algorithmen zur Selbstoptimierung und Selbstkonfiguration gelegt. Die Kommunikation findet über Echtzeit-Ethernet und OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) statt und ermöglicht einen dienstorientierten Gesamtprozess.

Dazu ist jede Produktionszelle so entworfen, dass sie eine abgeschlossene Funktionalität besitzt, die im Produktionsprozess angeboten werden kann. Es besteht jedoch keine logische Verbindung zwischen den Bearbeitungszellen, sondern ein zentrales virtuelles Abbild der gesamten Anlage. Neu angeschlossene Bearbeitungszellen ordnen sich dabei selbst in die Produktionslinie ein. Mithilfe eines RFID-Chips erhält jeder Werkstückträger ein sogenanntes „Produktgedächtnis“. Dieses wird durch das übergeordnete MES (Manufacturing Execution System) initial erzeugt und enthält den Arbeitsplan und damit die notwendigen Bearbeitungsschritte, die anschließend als Service von den entsprechenden Bearbeitungszellen ausgeführt werden. Dadurch entsteht eine lose Koppelung dieser autonomen Systeme. Komplettiert wird die Anlage durch die Einbindung des ERP-Systems und einen Montagearbeitsplatz mit Augmented Reality Unterstützung.

In ihrer Gesamtheit, ermöglicht die Anlage die Demonstration folgender Punkte:

- Horizontale sowie vertikale Integration der Daten
- Vernetzte Sensorik und Produktionssysteme
- Wandlungsfähige Produktionsanlage mit anpassbarem Automatisierungsgrad
- Mensch-Maschine Interaktion mit Augmented Reality

Die Ansätze und Lösungen der Demonstrationsanlage liegen primär im Bereich der Produktfertigung und Montage. Gerade hier können Unternehmen Visionen und bereits umgesetzte Industrie 4.0-Lösungen erleben, um diese auf ein reales Produktionsumfeld zu adaptieren. Ein wichtiger weiterer Punkt des Demonstrators ist die Auftragsabwicklung durch die Einbindung des ERP-Systems. Durch diese wird eine automatisierte Abwicklung zur Verfügung gestellt und die Netzwerkeffizienz erhöht. Neben der Verbesserung der Netzwerkeffizienz werden besonders die Personal- und Prozesseffizienz optimiert.



Abbildung 27: SmartFactoryOWL - Industrie 4.0 für den Mittelstand (Quelle: SmartFactoryOWL)

### 3.5.11. TE connectivity - ARISO contactless connectivity



Branche: Industrial Automation Technology

 Ausrüster

Standorte: Insgesamt 9 Produktionsstandorte (Deutschland, Frankreich, Polen, Mexiko, USA, Neuseeland und Tschechien)

Produkte: Elektrische Steckverbinder, Komponenten und Systemlösungen

Fertigungstiefe: Entwicklung und Fertigung

Fertigungstyp: Großserien

Mitarbeiter: 96.000 (weltweit)

Umsatz: 14,8 Mrd. USD (Gesamtkonzern)

*„Industrie 4.0 bedeutet große Datenmengen, die zuverlässig in kürzester Zeit übertragen und kommuniziert werden müssen. Industrie 4.0 ist eine enorme Chance, sich neu auszurichten und seine Wertschöpfung zu verändern.“*

ARISO ist ein hybrides Verbindungssystem, basierend auf berührungsloser Energie und kontaktloser Datenübertragung. Das Verbinden und Trennen erfolgt über kurze Distanzen und ohne Verwendung von mechanischem Kontakt. Die Anwendungsgebiete von ARISO contactless connectivity sind vielfältig. Wenn herkömmliche Verbindungen durch ihre Lebenszykluszeit, hoher Rotationsgeschwindigkeiten oder anderer rauer Umgebungsbedingungen z.B. mit Schleifringen oder Spiralkabeln an ihre Grenzen stoßen eröffnet ARISO neue Möglichkeiten. Ein weiterer Vorteil liegt insbesondere bei Verbindungen, bei denen Wände oder Materialien überbrückt werden müssen. Da die Koppelpaare beliebig austauschbar sind ist ein dynamisches Zusammenspiel im Sinne der Wandelbarkeit möglich. Durch einen Überhitzungs- und einen Verpolungsschutz wird das Produkt bei zu hoher Temperatur oder einer falsch verbundenen Eingangsspannung automatisch abgeschaltet. Der kontaktlose Stecker ARISO wird primär in der Produktionsplanung und -durchführung eingesetzt, da er fester Bestandteil von Produktionsanlagen ist und hier die Modularität und Wandelbarkeit fördert. Ebenfalls zeigt die kontaktlose Verbindung Vorteile in der einfachen Wartung und Instandhaltung.

Im Rahmen von Industrie 4.0 ist besonders die Wandelbarkeit von Anlagen oder Prüfeinrichtungen beachtenswert. Hier fallen aufwendige Steckvorgänge weg, da mittels Plug and Play Prinzip gearbeitet wird. Größere Flexibilität wird durch die hohe Bewegungs- und Rotationsfreiheit (>360°) erreicht, wodurch eine schnellere Wartung ermöglicht wird. ARISO kann genauso wie ein normaler Steckverbinder eingesetzt werden. Die anfänglichen höheren Beschaffungskosten, lassen sich im Rahmen eines Gesamtkostendenkens und somit einem Total Cost of Ownership Ansatzes rechtfertigen, da Wartungsaufwendungen genauso wie unplanmäßige Stopps, durch das zuverlässigere System (in Bezug z.B. auf Steckzyklen, Vibration, Dichtungsproblematiken) vermindert werden.

Die unlimitierten Steckzyklen und Verwendung unter rauen Umgebungsbedingungen verbessern die Prozess- und Ressourceneffizienz. Die Anbindung „on the fly“ ermöglicht eine Verbindung ohne den Prozess zu stoppen. Hierdurch werden die Zielgrößen Geschwindigkeit und Qualität positiv beeinflusst.



Abbildung 28: ARISO - Contactless connectivity (Quelle: TE connectivity)

### 3.5.12. Weidmüller - Analog-Digital-Wandler mit Webservice



Branche: Elektrische Verbindungstechnik, Interfacetechnik und Elektronik  
Standorte: Detmold  
Fertigungstiefe: Vom Granulat bis zur fertigen Komponente  
Fertigungstyp: Großserie, Auftragsfertigung  
Produkte: elektrische Verbindungstechnik (Elektronik und Verbindungstechnik, Geräteanschlussstechnik, Gehäusesystem, Werkzeuge, Markierungssystem)  
Mitarbeiter: 4.400 (weltweit)  
Umsatz: 621 Mio. EUR



*„Industrie 4.0 ist in allen Köpfen angekommen. In den Köpfen der Forscher, in den Köpfen der Entwickler, in den Köpfen der Anwender und in den Köpfen der Medien. Ziel muss es jetzt sein, dass die Industrie 4.0 konkret in der Realität genutzt wird.“*

Als eines der ersten Produkte im Bereich der Industrie 4.0 hat Weidmüller den Analog-Signalwandler ACT20C entwickelt. Der Signalwandler erfasst kontinuierlich Signale und Daten über über Maschinen und den Fertigungsprozess, um diese an vernetzte Steuerungssysteme und übergeordnete Anwendungen (z.B. MES, SCADA, etc.) weiterzuleiten. So können Maschinen und Prozesse diagnostiziert, Störungen frühzeitig erkannt und rechtzeitig und schnell behoben werden. Ferner können die Daten genutzt werden um die Fertigungsprozesse nach verschiedenen Gesichtspunkten zu optimieren. Die Daten können dauerhaft gespeichert und auf Anfrage verfügbar gemacht werden. Der Implementierungsaufwand für die Komponente ist gering, da bereits vorhandene Sensoren genutzt werden können, um die Signale zu digitalisieren und im Netzwerk bereit zu stellen. Eine Integration in den laufenden Betrieb ist möglich, sowie eine cloudbasierte Aggregation von Sensor- und daraus abgeleiteten Prozessdaten. Da die Kommunikation auf etablierten Standards basiert (z.B. Ethernet, OPC-UA), ist die Einbindung in weitere, ggf. auch unternehmensexterne Systeme technisch möglich, wobei natürlich Aspekte der IT-Security umgesetzt werden müssen.

Mithilfe der Industrie 4.0 unterstützenden Lösung von Weidmüller werden besonders die Qualität durch selbstkorrigierende Produktionsprozesse und die Wandelbarkeit durch schnelles und universelles Implementieren der Signalwandler sowie einem geringen Kalibrierungsaufwand gefördert. Diese Optimierungen der Zielgrößen werden im Wesentlichen durch die Verbesserung der Stellhebel Investitions-, Prozess-, Ressourcen- und Netzwerkeffizienz erreicht.



Abbildung 29: Weidmüller - Analog-Digital-Wandler (Quelle: Weidmüller)

### 3.5.13. WETROPA GROUP - Online Konfiguration von 2D-CNC-Daten



Produkte: Verpackungsentwicklung,  
Schaumstoffverarbeitung  
Fertigungstyp: Klein- und Mittelserien  
Standorte: Mörfelden, Feldkirchen  
Mitarbeiter: 90-110  
Fertigungstiefe: Reine Verarbeitung  
Umsatz: 14 Mio. EUR

 Anwender

*„Der Konstruktionsaufwand konnte durch unsere Lösung um 75% reduziert werden“*

Mittels einer Webapplikation können die Kunden von Wetropa in wenigen Schritten und zu jeder Zeit ihre Schaumstoffeinlagen selbst konfigurieren und bestellen. Über eine mobile App zur Konturerkennung werden die Konturen des zu verpackenden Werkzeugs abfotografiert und innerhalb kurzer Zeit in die Web-Applikation „FoamCreator“ geladen. Vom „FoamCreator“ besteht eine direkte Anbindung an ein E-Commerce System und an die Produktion. Die mobile App dient zur Bildverarbeitung und ist in der Lage die Kontur bzw. die Größe der Gegenstände zu Erkennen. Zusätzlich ist der anschließende „FoamCreator“ in der Lage eine automatische Prüfung der Fräsbarkeit durchzuführen und die Fräskontur zu optimieren. Die Lösung wurde zusammen mit dem Software- Lösungsanbieter „BrightSolutions“ implementiert. Die Idee CAD-Systeme durch JavaScript als Webservice anzubieten ist auch auf die metallverarbeitende Industrie übertragbar. Hierdurch entstehen hohe Einsparungen bei den Lizenzkosten und beim Konstruktionsaufwand. Die Lösung ist insbesondere für Kleinserie oder sich wiederholende Auftragsfertigungen geeignet.

Durch die implementierte Lösung steigert sich die Service-Verfügbarkeit um ca. 100%, was zu einer hohen Personaleffizienz seitens WETROPA führt. Dieses neue Geschäftsmodell, welches nach den Ansätzen der Industrie 4.0 entwickelt wurde, entlastet besonders die Entwicklung. Beispielsweise können bei der Onlinebestellung und -konfiguration durch den Kunden 100% des Konstruktionsaufwandes für die Werkzeug- und Koffereinlagen eingespart werden. Sehr interessant ist dieser Aspekt unter Betrachtung der Fertigung von Losgröße 1. Auch werden hierdurch Ressourcen gespart, da kein aufwendiges Verschicken von Werkzeug zur Entwicklung seitens des Kunden mehr von Nöten ist. Was letztendlich in der Verbesserung der Zielgröße Geschwindigkeit mündet.

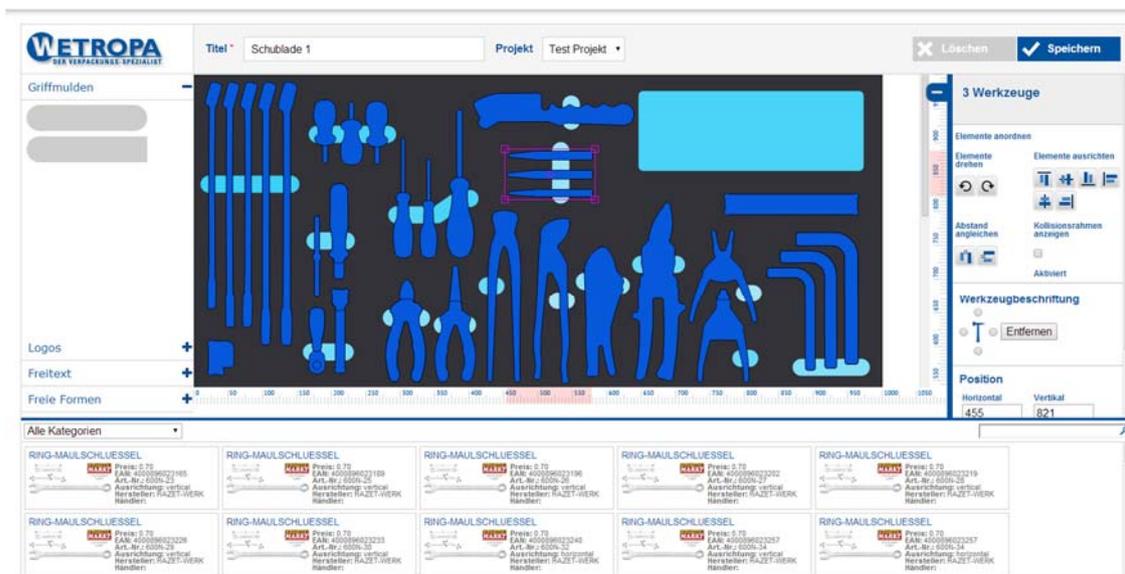


Abbildung 30: Online-Konfiguration von 2D-CNC-Daten - FoamCreator (Quelle: Wetropa Group)

### 3.5.14. WITTENSTEIN AG - Innovationsfabrik



Branche: Mechatronische Antriebslösungen

 Anwender

Standorte: Igersheim(-Harthausen), Fellbach und  
in Summe rund 40 weitere Standorte weltweit

Produkte: Servogetriebe; Servoantriebssysteme; Medizintechnik; Miniatur-Servo-  
einheiten; Innovative Verzahnungstechnologie; Leistungsstarke Aktuatorsysteme;  
Nanotechnologie; Intelligente Elektroniklösungen

Fertigungstiefe: Teilefertigung und Montage

Fertigungstyp: Klein- und Mittelserie

Mitarbeiter: 1.685 (2014)

Umsatz: 241 Mio. EUR (2013/2014)

*„Technik ist nicht der Fokus sondern deren Integration in organisatorische Abläufe.“*

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden nachstehend zwei Good-Practice-Beispiele der WITTENSTEIN AG vorgestellt.

#### **Mit Apps auf dem Milkrun - Optimierung der Intralogistik**

Bisher erfolgte der physische Warentransport zwischen differenten Liefer- und Abholflächen per „Milkrun“. Ein Logistikmitarbeiter fuhr stündlich mit einem Elektrozug durch die Fabrik. Dieser unflexible Turnus reflektiert nur bedingt die realen Erfordernisse einer optimalen Materialversorgung, denn bei Fahrtbeginn ist unklar, welche Fertigungsaufträge sich in welchem Zustand an welchem Ort befinden. Dieser aktuelle Stand wurde im Rahmen der Ansätze und Lösungen der Industrie 4.0 in eine bedarfsorientierte Materialversorgung weiterentwickelt. Mittels Tablets und Scannern können die Mitarbeiter ein transparentes Abbild von Materialien in der Produktion darstellen. Hierzu wurden ein Produktionsplanungs- wie auch das Unternehmensleitsystem integriert und Schnittstellen aufgelöst. Der Logistikmitarbeiter liest per Scanner und Tablet-Applikation die QR-Codes auf den Begleitpapieren der zu bewegenden Fertigungsaufträge in das Planungssystem ein. Ebenfalls werden Codierungen der Abhol- und Lieferflächen erfasst. Systemseitig entsteht im Hintergrund ein virtuelles Abbild des erforderlichen Materialflusses. Dieses wird in einem zweiten Schritt in eine Fahrtroute mit Abfahrtszeiten und Haltepunkten umgesetzt und dem Milkrun-Fahrer auf dem Tablet angezeigt. Aktuell befindet sich ein intelligenter Planungsalgorithmus im Testlauf – er berechnet die optimalen Fahrzeiten aus dem virtuellen Abbild des erforderlichen Materialflusses und der Menge von Fahraufträgen für einen Tag.

#### **Mobiler Informationszugriff für die Produktionsdarstellung**

Ziel ist hier die Optimierung der organisatorischen Prozesse in der Produktionsplanung und -steuerung. Hierbei werden die physischen und datentechnischen Realitäten harmonisiert und zusammengeführt. Der bisherige Medienbruch zwischen den steckkartenbasierten Plantafelsystemen auf Shop-Floor-Ebene und der bereits implementierten Produktionsplanung per EDV hatte inhaltliche und zeitliche Ungleichheiten zwischen beiden „Welten“ zur Folge, was in der Realität zu Abstimmungsschwierigkeiten und damit zu organisatorischen Verlusten aufgrund nicht vorhandener oder nicht aktueller Informationen führte. Den Mittelpunkt der Lösung bildet eine digitale Plantafel, diese ist mit der Planungssoftware wie auch mit mobilen Tablets vernetzt. Der Medienbruch wird dadurch geschlossen, kein geplanter Auftrag wird mehr im Prozess übersehen oder unbemerkt verschoben und mit einer anderen Priorität versehen. Die vernetzte digitale Plantafel ermöglicht ein Arbeiten von Planern und Maschinenbedienern mit konsistenten und aktuellen sowie mit identischen Daten. Anstehende Aufträge können mobil an der Maschine aufgerufen und dargestellt werden. Per Tablet und App kann der Bediener Informationen zur Bearbeitung von Fertigungsaufträgen abrufen und eventuelle Probleme bei der Auftragsabarbeitung, z.B. aufgrund eines nicht einsatzbereiten Werkzeugs, melden und multimedial dokumentieren.

Diese beiden Good-Practice-Beispiele steigern besonders die Personal- und Prozesseffizienz. Es findet eine Weiterentwicklung und -qualifizierung des Personals durch neue arbeitnehnergerechte Arbeitsgestaltung statt. Dies mündet in dem optimalen Einsatz von Personal in den Bereichen Intralogistik und

Produktion. Der effiziente Einsatz von Ressourcen wird durch die intelligente Vernetzung bekräftigt. Diese Vernetzung kann die Anzahl tatsächlich gefahrener Transportzyklen und Wegstrecken zur Teileversorgung in der Zahnradfertigung um bis zu 50 Prozent reduzieren.



Abbildung 31: WITTENSTEIN AG - Mobiler Informationszugriff (Quelle: Wittenstein AG)

### 3.5.15. WÜRTH Industrie - Direkte vernetzte Arbeitsplatzversorgung



Produkte: Logistik- & Prozessdienstleistungen  
 Standorte: Bad Mergentheim  
 Mitarbeiter: Ca. 1.300  
 Schwerpunkte: Logistik- & Prozessdienstleistungen



*„Industrie 4.0 wird Prozesse weiter verschlanken und ein hohes Maß an Sicherheit und Schnelligkeit ermöglichen. Es werden innovative Systeme in Deutschland erzeugt, die sich weltweit einsetzen lassen und vor Ort einen hohen Systemnutzen generieren werden.“*

Bei der Lösung von WÜRTH Industrie sind die Lagerbehälter beim Kunden vor Ort mit sogenannten iBin-Modulen ausgerüstet. Das iBin-Modul erfasst Inhalt und Stückzahl des Behälterinneren über eine Kamera und übermittelt diese Daten kabellos. Eine Bestellauslösung bei definierter Restmenge und Lagerbeständen ist in Echtzeit einsehbar. Dabei sind die Lagerbehälter mit RFID und einer menschenlesbaren Beschriftung ausgestattet. Eine Bestellung wird automatisch an Würth Industrie Service übermittelt, sobald ein Lagerbehälter auf eine Stellfläche oder Box für leere Behälter gestellt wird.

Durch die autonome und permanente Erfassung sowie Identifizierung der Teile im Behältnis sowie dem parallelen Zählen der Teile und das Auslösen von Bestellungen bei definierter Restmenge erhöht sich die Ressourcen- und Prozesseffizienz, denn Kunden von WÜRTH Industrie benötigen mithilfe des Good-Practice-Beispiels weniger Flächenbedarf in der Produktion zu Lagerzwecken und erhalten trotzdem eine hohe Versorgungssicherheit. Die Auswertung der erfassten Daten ermöglicht das Erstellen von Verbrauchsverhalten und Prognosen, was eine höhere Prozesseffizienz begünstigt.



Abbildung 32: Würth Industrie - iBin Leistungsspektrum (Quelle: Würth Industrie)

#### 4. Zusammenfassung der Studienerkenntnisse und Ausblick zur Effizienten Fabrik 4.0

Die vorliegende Studie wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Effiziente Fabrik 4.0“ durchgeführt. Das vorliegende Dokument wird als Zwischenbericht des Projektes vorgestellt und wird bis zum Ende der Projektlaufzeit, das heißt Ende 2015, mit weiteren Erkenntnissen ergänzt. Die Studie grenzt sich von den bisherigen Studien durch den Praxisbezug und durch das detaillierte Aufzeigen von Good-Practice-Beispielen von bisherigen Studien ab. Tabelle 1 zeigt wesentliche Erkenntnisse und Empfehlungen der Studie auf.

Tabelle 1: Erkenntnisse und Empfehlungen für hessische Unternehmen bzw. die hessische Industrie

Erkenntnis	Empfehlungen
Der Nutzen von Industrie 4.0 wird bereits in der Unternehmenspraxis in Form von ersten Good-Practice-Beispielen bestätigt, auch wenn dies teilweise nur qualitativ nachweisbar sind.	Für Unternehmen besteht kein Grund länger mit der Umsetzung erster Industrie 4.0-Lösungen zu warten, da bereits kleine Schritte in Richtung Industrie 4.0 große Potenziale bergen und diese auch bereits in Form von Good-Practice-Beispielen dokumentiert sind.
Es gibt kein generelles Kochrezept für Industrie 4.0. Die Vielfalt ist genauso groß wie die Vielfalt der Unternehmenslandschaft. Das Verständnis der Terminologie ist abhängig von der Art des Unternehmens sowie davon, ob es sich bspw. um ein Anwender- oder Ausrüsterunternehmen handelt.	Bei der Diskussion und Befassung mit dem Thema Industrie 4.0 in Unternehmen ist es wichtig, dass anfänglich klare Definitionen zum gemeinsamen Verständnis erarbeitet werden.
Good-Practice-Beispiele zeigen, dass Industrie 4.0 nicht direkt in seiner höchsten Evolutionsstufe in Form eines cyber-physischen Systems oder cyber-physischen Produktionssystems vorliegen muss. Geringer ausgeprägte Merkmale adressieren durch eine intelligente Vernetzung ebenfalls die Initiative Industrie 4.0. Der ganzheitliche Gedanke von Industrie 4.0 ist noch nicht in der Industrie angekommen oder gar umgesetzt.	Der Nutzen von ersten, niedrig ausgeprägten Industrie 4.0-Lösungen muss unternehmensspezifisch diskutiert und demonstriert werden. Erste Empfehlungen liegen in Form dieser Studie vor.
Interdisziplinäres Wissen der Mitarbeiter ist auf allen Hierarchiestufen zukünftig entscheidend (besonders auf Führungsebene).	Auf allen Unternehmensebenen gilt es Fachkräfte aller Disziplinen zusammenzuführen.
Die befragten und analysierten Unternehmen sehen die Digitalisierung von Prozessen und die Verarbeitung von Daten als erste zentrale Handlungsfelder an. Besonders Fragen wie „Welche Daten fließen in der Fabrik der Zukunft zur Erreichung transparenter Prozesse?“ oder „Wie erhält man benötigte Daten, wie beschreibt man diese und wie können diese sicher übermittelt werden?“ gilt es für Unternehmen zu beantworten.	Die Digitalisierung und Vernetzung der physischen Welt durch Informations- und Kommunikationstechnologien sollten Teil der Unternehmensstrategie werden. Mitarbeiter müssen für dieses Thema sensibilisiert werden.
Herstellung der Akzeptanz von Mitarbeitern bzgl. Industrie 4.0 in Unternehmen bislang nicht thematisiert.	Mitarbeitern sollte die Angst vor Industrie 4.0 genommen werden. Dies kann durch erste unternehmensinterne Demonstrationen und Informationsveranstaltungen zum Thema Industrie 4.0 erreicht werden.

Bei Betrachtung der zusammengefassten Erkenntnisse wird deutlich, dass die gewählte Umsetzungsstrategie des Projektes „Effiziente Fabrik 4.0“ bestätigt wird. Die praxisorientierte Auslegung des Projektes bietet für klein- und mittelständische Unternehmen eine Möglichkeit erste Schritte hin zum ganzheitlichen Einsatz von Industrie 4.0-Lösungen kennen zu lernen. Vor allem der abschließende Wissenstransfer

und die didaktische Aufbereitung der Ergebnisse decken den hervorgebrachten Bedarf an Informationen und Umsetzungsempfehlungen sowie -strategien für Unternehmen.

**Bestätigung der Umsetzungsstrategie des Projektes „Effiziente Fabrik 4.0“ mit Wertstromanalyse, Use Case Definitionen, Implementierung und Validierung.**



Die Auswertung der durchgeführten Experteninterviews und die Kategorisierung gefundener Good-Practice-Beispiele bilden eine fundierte Grundlage zur Analyse und Identifikation von Best-Practices. Darauf aufbauend werden in der zweiten Projektphase ausgewählte Industrie 4.0-Anwendungen betrachtet und ihre Anwendungsmöglichkeiten in der bestehenden Prozesslernfabrik, in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern, herausgearbeitet. Dieses Vorgehen mündet in der Entwicklung von Anwendungsfällen (so genannten „Use Cases“) und schließlich der Ableitung von konkreten Umsetzungskonzepten für die bestehende Prozesslernfabrik, siehe Abbildung 33. Grundsätzlich ist unter einem Use Case die Beschreibung einer begrenzten Arbeitssituation im Anwendungsbereich zu verstehen. Es werden die grundlegenden Handlungen und Umstände benannt, welche erforderlich sind, damit ein Prozess erfolgen kann. Diese definierten Anwendungsfälle stellen im Rahmen des Projektes die Anknüpfungspunkte dar, um das Potential von Industrie 4.0 zur Effizienzsteigerung zu erforschen.

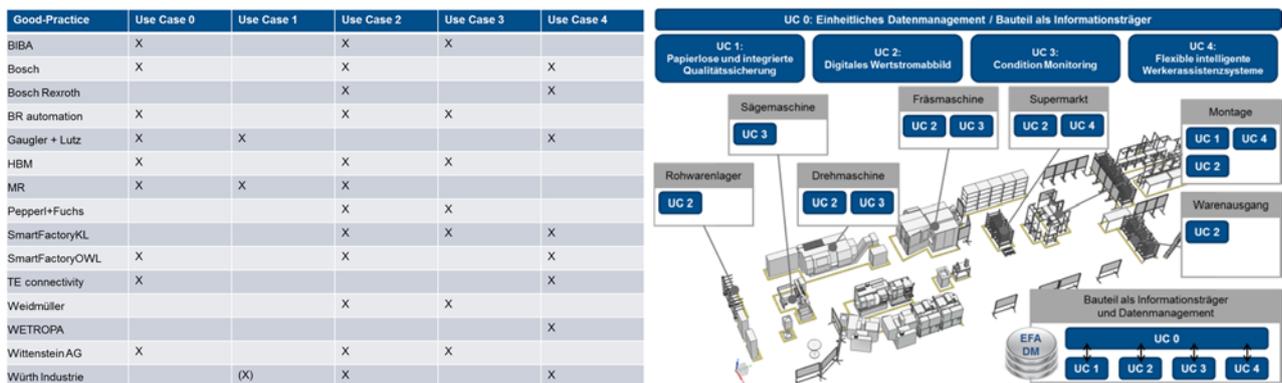


Abbildung 33: Ableiten von Use Cases für die Prozesslernfabrik durch Kategorisierung der Good-Practice-Beispiele<sup>31</sup>

Die erarbeiteten Umsetzungskonzepte werden in der dritten Phase anhand der vorliegenden Produktionslandschaft validiert.

Der **zentrale Use Case (Use Case 0)** beschäftigt sich mit dem Datenmanagement und dem Bauteil als Informationsträger<sup>32</sup>, da zur Realisierung einer effizienten und zukunftsorientierten Produktion im Sinne von Industrie 4.0 die Erfassung und die Verarbeitung der Daten, die während der Wertschöpfung anfallen, als besonders wichtig zu sehen sind. Für die Umsetzung einer medienbruchfreien, digitalen und idealerweise automatischen Datenerfassung ist neben der Integration notwendiger Sensoren in die Produktion auch die Kommunikation zwischen allen beteiligten Systemen und Betriebsmitteln notwendig. Dabei kommt neben der Übermittlung und Speicherung der Signale insbesondere deren Verarbeitung und Anreicherung zu vollwertigen Informationen eine entscheidende Bedeutung zu. Dieses Umsetzungskonzept strebt daher die eindeutige Identifikation von Bauteilen und Betriebsmitteln und die Bereitstellung eines einheitlichen Kommunikationssystems an. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf der horizontalen und vertikalen Integration verschiedener IT-Systeme zu einer durchgängigen Lösung. Mittels der oben beschriebenen Vernetzung soll als ein weiterer Use Case (**Use Case 1**) eine **papierlose, prozesssichere und automatisierte Qualitätssicherung** in der manuellen Montage demonstriert werden. Dazu wird die zu montierende Baugruppe vollständig identifiziert und alle enthaltenen Bauteile

<sup>31</sup> Abele et al. 2015

<sup>32</sup> Vgl. Anderl et al. 2014



---

von Workshopreihen und Informationsveranstaltungen zur Verfügung, wodurch Verbesserungen der unternehmerischen Zielgrößen erreicht werden können.

---

## 5. Literaturverzeichnis

---

- Abele, Eberhard; Anderl, Reiner; Metternich, Joachim; Wank, Andreas; Anokhin, Oleg; Arndt, Alexander et al. (2015): Effiziente Fabrik 4.0. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* (03), S. 150–153. Online verfügbar unter [https://www.wiso-net.de/document/ZWF\\_\\_93B4A5ABD8575FC547007954545757C6](https://www.wiso-net.de/document/ZWF__93B4A5ABD8575FC547007954545757C6).
- Abele, Eberhard; Reinhart, Gunther (2011): *Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen*. München: Hanser, Carl.
- Anderl, Reiner; Strang, Daniel; Picard, André; Christ, Alexander (2014): Integriertes Bauteildatenmodell für Industrie 4.0. Informationsträger für cyber-physische Produktionssysteme. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)* 109 (1 – 2), S. 64–69.
- Billerbeck, Jens D.; Hartbrich, Iestyn (2014): Industrie 4.0: In kleinen Schritten zur Revolution. In: *VDI NR. 05 VOM 31.01.2014 SEITE 3*, S. Industrie 4.0 (VDI nachrichten-Beilage). Online verfügbar unter [https://www.wiso-net.de/document/VDIN\\_\\_579626](https://www.wiso-net.de/document/VDIN__579626).
- BMUB (2015): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess). Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Online verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/progress\\_broschuere\\_de\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_broschuere_de_bf.pdf), zuletzt geprüft am 10.09.2015.
- Brecher, Christian (2011): *Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer* [Elektronische Resource]. herausgegeben von Christian Brecher. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch).
- Broy, Manfred; Geisberger, Eva (2012): agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Hg. v. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Online verfügbar unter [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Material\\_fuer\\_Sonderseiten/Cyber-Physical-Systems/acatech\\_STUDIE\\_agendaCPS\\_Web\\_20120312\\_superficial.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Cyber-Physical-Systems/acatech_STUDIE_agendaCPS_Web_20120312_superficial.pdf), zuletzt geprüft am 21.10.2014.
- Bürger, Thomas; Tragl, Karl (2014): SPS-Automatisierung mit den Technologien der IT-Welt verbinden. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 559–569.
- Fachausschuss 7.20 „Cyber-Physical Systems“ (2013): *Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. Thesen und Handlungsfelder*. Hg. v. Verein deutscher Ingenieure e.V., zuletzt geprüft am 26.02.2015.
- Gorecky, Dominic; Schmitt, Mathias; Loskyll, Matthias (2014): Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 525–542.
- Günthner, Willibald (2002): Anforderungen an automatisierte Materialflusssysteme für wandelbare Logistikstrukturen. In: *Dokumentation Wissenschaftssymposium Logistik der BVL 2002*. München: Huss-Verl, S. 335–346.
- Hessisches Statistisches Landesamt (Hg.) (2011): *Statistisches Jahrbuch Hessen 2011/12. Band 1 - Wirtschaft, Erwerbstätigkeit und Umwelt*. 1 Band. Wiesbaden: Hessisches Statistisches Landesamt.
- Hoppe, Gerd (2014): High-Performance Automation verbindet IT und Produktion. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 249–275.
- Jentsch, David; Riedel, Ralph; Jäntsche, André; Müller, Egon (2013): *Fabrikaudit Industrie 4.0. Strategischer Ansatz zur Potenzialermittlung und schrittweisen Einführung einer Smart Factory*. In: *ZWF* 108 (9), S. 678–681.

---

Kagermann, Henning; Lukas, Wolf-Dieter; Wahlster, Wolfgang (2011): Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. In: *VDI NR. 13 VOM 01.04.2011 SEITE 2*. Online verfügbar unter [https://www.wiso-net.de/document/VDIN\\_\\_476866](https://www.wiso-net.de/document/VDIN__476866).

Kagermann, Henning; Wahlster, Wolfgang; Helbig, Johannes (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. Berlin.

Rüegg-Stürm, Johannes (2005): Das neue St. Galler Management-Modell. Grundkategorien einer integrierten Managementlehre ; der HSG-Ansatz. 8. Nachdr. d. 2. durchgesehenen u. korr. Aufl. Bern: Haupt.

Schlick, Jochen; Loskyll, Matthias; Lappe, Dennis (2014): Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 57–102.

Uhlmann, Eckart; Hohwieler, Eckhard; Kraft, Manfred (2013): Selbstorganisierende Produktion Agenten intelligenter Objekte koordinieren und steuern den Produktionsablauf. In: *Industrie Management* (1), S. 57–61. Online verfügbar unter [https://www.wiso-net.de/document/IM\\_\\_352F8CA5442D0180EE2FB045F4FC9573](https://www.wiso-net.de/document/IM__352F8CA5442D0180EE2FB045F4FC9573).

VDI/VDE-GMA-Fachausschuss „Industrie 4.0“ (2014): *Industrie 4.0. Gegenstände, Entitäten, Komponenten*. Hg. v. Verein deutscher Ingenieure e.V. ohne Angabe.

Wegener, Dieter (2014): Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen für einen Global Player. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 343–358.